ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА

(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве)

XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

25 – 26 апреля 2019 г.

СБОРНИК ТРУДОВ

ТОМ 1

СЕКЦИИ 1,2,3

СМОЛЕНСК
2019

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38
И74

Р е ц е н з е н т ы :
Доктор технических наук, профессор Кавченков В.П.
Доктор технических наук, профессор Михайлов В.А.
Кандидат технических наук, доцент Рожков В.В.
Старший преподаватель Гаврилов А.И.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве). Сб трудов XVI-ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т 1. – 2019. – 364 с.

ISBN 978-5-91412-413-4

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», состоявшейся 25 – 26 апреля 2019 г. в филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области электроэнергетики, электротехники и теплоэнергетики, математического моделирования и информационных технологий в производстве.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в данных научных областях.

ISBN 978-5-91412-413-4

©Авторы
©«Универсум»
© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2019

СЕКЦИЯ 1
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

А.Н. Александров, студ.; рук. В.Ф. Киселев, к.т.н.
(Филиал ФГБОУ ВО «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цель: Исследование структурных схем автоматического управления для упрощения способов их преобразования.

Чаще всего гораздо нагляднее, легче и быстрее составлять математическое представление систем автоматического управления с применением аппарата передаточных функций систем автоматического управления, а не с использованием уравнений звеньев.

Структурная схема САУ наглядно демонстрирует, из каких динамических звеньев складывается система и как эти звенья оказывают друг на друга влияние. На структурных схемах звенья как правило представляются в форме квадратов, которые подписываются передаточными функциями (рис. 1).

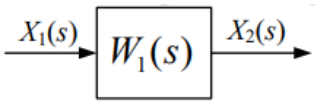


Рис. 1. Условное изображение динамического звена

Линиями со стрелочками, показывающими направление перехода воздействий, выполняются соединения между звеньями. Внешние воздействия опять же демонстрируются стрелочками. Ниже представлен возможный вариант структурной схемы (рис. 2):

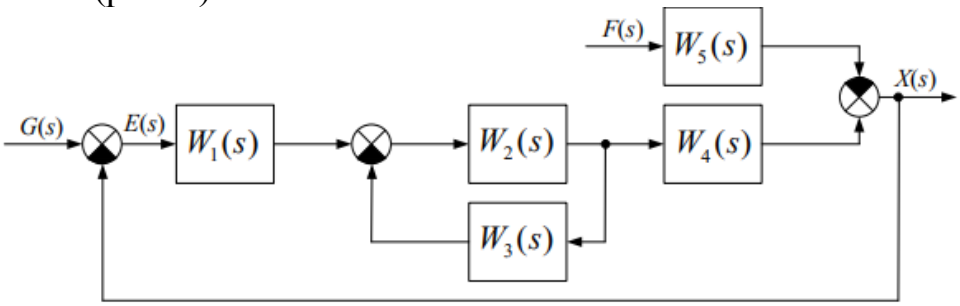


Рис. 2. Вариант структурной схемы присоединения динамических звеньев между друг другом

При такой постановке структурная схема САУ интерпретируется графической иллюстрацией системы дифференциальных уравнений, демонстрирующих правильную работу систем автоматического управления и регулирования.
Графическое описание уравнений звеньев более приоритетно естественной математической записи этих уравнений, так как дает возможность с легкостью и по унифицированным нормам проводить «свертывание» этих уравнений.

Путем последовательных изменений любой сложности структурную схему имеется возможность представить, как эквивалентное динамическое звено. Эквивалентное звено идентично исходной схеме, если оно определяет такую же взаимозависимость конечных координат от начальных.

Изменение структурной схемы должно реализовываться в соответствии с назначенными правилами.

Замещение стандартных присоединений звеньев эквивалентным звеном.

Во-первых, каждое типовое соединение, имеющееся в схеме звеньев следует поменять на эквивалентное звено.

- Последовательное присоединение звеньев.

Последовательным присоединением является соединение, при котором вход всякого последующего звена присоединен к выходу предшествующего (рис. 3).

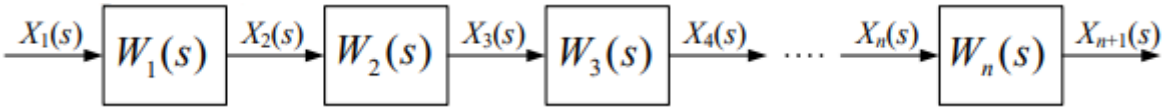


Рис. 3. Последовательное присоединение звеньев

Запишем:

$$X_2(s) = W_1 X_1(s),$$
$$X_3(s) = W_2 X_2(s),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$X_{n+1}(s) = W_n X_n(s).$$

Исключив промежуточные координаты, получим:

$$X_{n+1}(s) = [W_1(s) W_2(s) \ldots W_n(s)]\, X_1(s) = W(s) X_1(s).$$

Передаточная функция последовательного присоединения звеньев есть произведение передаточных функций единичных звеньев, формирующих это соединение (рис. 4):

$$W(s) = \prod_{i=1}^{n} W_i(s).$$

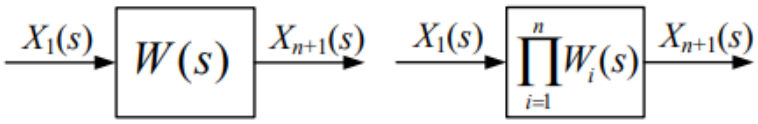


Рис. 4. Передаточная функция последовательного присоединения звеньев

- Параллельное присоединение звеньев.

Параллельным является, присоединение, в котором входное значение всех звеньев одинаково, и находится сумма выходных значений всех звеньев (рис. 5).

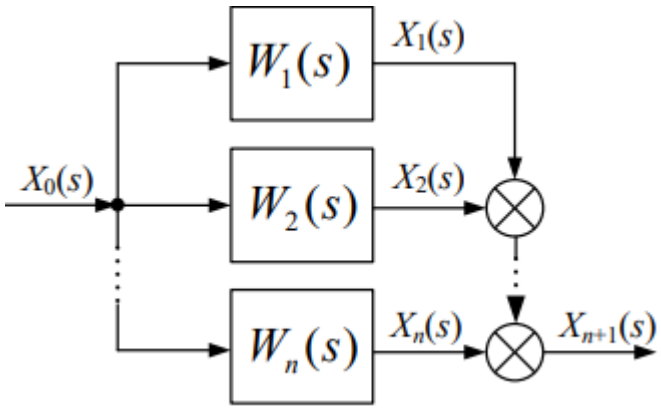


Рис. 5. Параллельное присоединение звеньев

Тогда:

$$X_1(s) = W_1(s)X_0(s),$$
$$X_2(s) = W_2(s)X_0(s),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$X_{n+1}(s) = X_1(s) + X_2(s) + \ldots + X_n(s) = W_1(s)X_0(s) + W_2(s)X_0(s) + \ldots +$$
$$+W_n(s)X_0(s) = [W_1(s) + W_2(s) + \ldots + W_n(s)]X_0(s) = W(s)X_0(s).$$

Передаточные функции единичных звеньев, формирующих это соединение, есть сумма передаточной функции параллельного присоединения звеньев.

$$W(s) = \sum_{i=1}^{n} W_i(s).$$

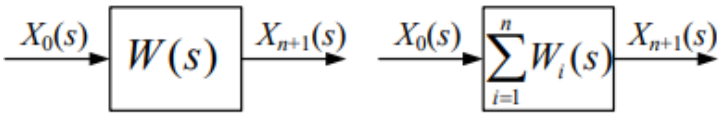


Рис. 6. Передаточная функция параллельного присоединения звеньев

- Звено, охваченное обратной связью (рис. 7, 8).

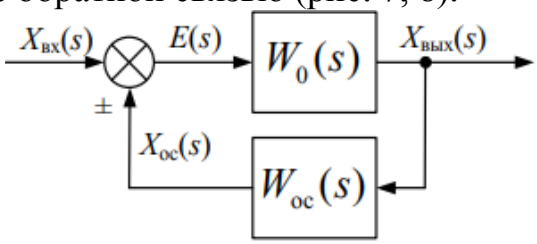


Рис. 7. Звено, охваченное обратной связью

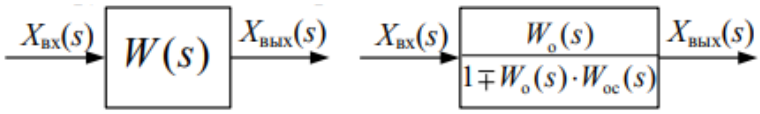


Рис. 8. Передаточная функция звена, охваченного обратной связью

$$X_{вых}(s) = W_o(s)E(s);$$
$$X_{вых}(s) = W_o(s)\left[X_{вх}(s) \pm X_{ос}(s)\right];$$
$$X_{ос} = W_{ос}(s)X_{вых}(s);$$
$$X_{вых}(s) = W_o(s)\left[X_{вх}(s) \pm W_{ос}(s)X_{вых}(s)\right];$$
$$X_{вых}(s) = \frac{W_o(s)}{1 \mp W_o(s)W_{ос}(s)}X_{вх}(s);$$
$$W(s) = \frac{X_{вых}(s)}{X_{вх}(s)} = \frac{W_o(s)}{1 \mp W_o(s)W_{ос}(s)},$$

где $W_o(s)$ – передаточная функция звена прямой связи, и соответственно $W_{ос}(s)$ – передаточная функция звена обратной связи.

В случае «+» обратной связи знаменатель равен $1\text{-}W_o(s)W_{ос}(s)$, соответственно при «-» он равен $(1 + W_o(s)W_{ос}(s))$.

После замещения стандартных присоединений звеньев эквивалентными звеньями происходит перенесение сумматоров и точек разветвления, чтобы в переработанной таким способом схеме появились новые типовые присоединения звеньев. Эти присоединения вновь должны быть изменены на эквивалентные звенья, затем снова может потребоваться перенесение точек разветвления и сумматоров и т. д. Для избегания ошибок следует составлять структурную схему после каждой итерации преобразований. Также нужно указывать на схеме величины или изображения введенных эквивалентных звеньев.

Перемещение через звено точки разветвления.

• По направлению прохождения сигналов.

В случае если точка разветвления перемещается по направлению прохождения сигнала, то в перемещаемую ветвь необходимо прибавить звенья с обратными передаточными функциями звеньев, расположенных на линии между новой и старой точками разветвления (рис. 9). В этом случае координата $X_3(s)$, устанавливаемая из выражения $X_3(s) = X_0(s)\ [W_1(s)\ W_3(s)]$, после изменения будет вычисляться:

$$X_3(s) = X_0(s)\ [W_1(s)W_2(s)\frac{1}{W_2(s)}W_3(s)].$$

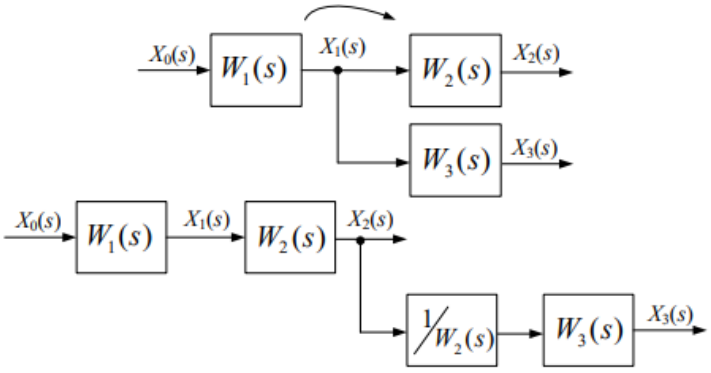


Рис. 9. Вариант перемещения точки разветвления через звено по направлению прохождения сигналов

• Против направления прохождения сигналов.

В том случае если точка разветвления транспортируется навстречу направления протекания сигнала, то в конечную ветвь необходимо прибавить звенья с передаточными функциями сталкивающихся на пути между прошлой и новой точками разветвления звеньев (рис.10).

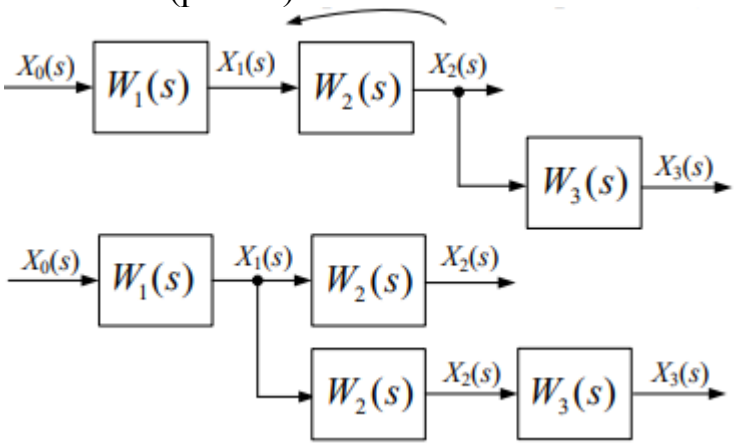


Рис. 10. Вариант перемещения точки разветвления через звено встречного направления подачи сигнала

В таком случае координата $X_3(s)$ выраженная из формулы

$X_3(s) = X_0(s)\ [W_1(s)\ W_2(s)\ W_3(s)]$, после модификации будет вычисляться также по выражению:

$$X_3(s) = X_0(s)\ [W_1(s)W_2(s)W_3(s)].$$

Перенос сумматора через звено.

• По направлению перемещения сигналов.

Если суммарная точка переходит по направлению прохождения сигнала, то в переходящую ветвь нужно добавить звенья с передаточными функциями прочих элементов, появляющихся на линии между новой и предшествующей точками суммирования (рис.11).

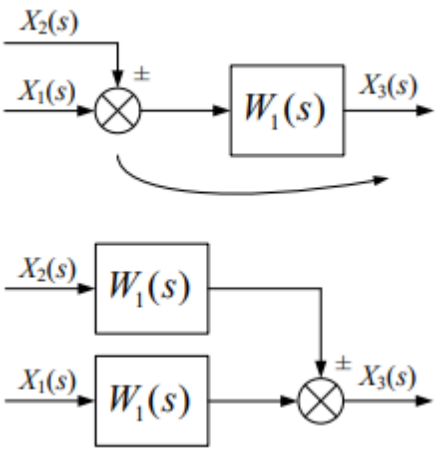


Рис. 11. Вариант перемещения сумматора через звено по направлению подачи сигналов

В этом случае координата $X_3(s)$, выраженная из формулы

$X_3(s) = W_1(s)\ [X_1(s) \pm X_2(s)]$, после дальнейшего изменения будет вычисляться также по формуле:

$$X_3(s) = W_1(s)X_1(s) \pm W_1(s)X_2(s) = W_1(s)\ [X_1(s) \pm X_2(s)].$$

• Против направления перемещения сигнала.

В том случае если точка преобразования переходит навстречу сигналу, то в конечную ветвь нужно добавить звенья с обратными передаточными функциями прочих элементов, появляющихся на линии между новой и предшествующей точками суммирования (рис. 12).

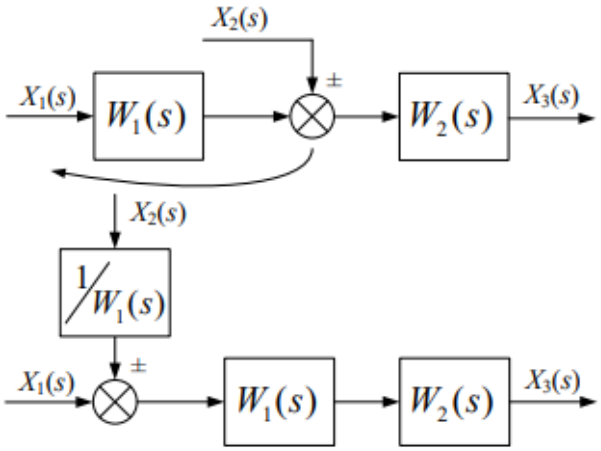


Рис. 12. вариант перемещения сумматора через звено навстречу направления подачи сигналов

В этом случае координата $X_3(s)$, выраженная из формулы:

$X_3(s) = [X_1(s)\ W_1(s) \pm X_2(s)]\ W_2(s)$, после дальнейшего изменения будет вычисляться также по формуле:

$$X_3(s) = \left[X_1(s) \pm \frac{X_2(s)}{W_1(s)} \right] W_1(s) W_2(s) = [X_1(s) W_1(s) \pm X_2(s)] W_2(s).$$

Выводы:

1. Рассмотрены способы преобразования структурных схем автоматического управления.

2. Во многих случаях целесообразно, а иногда необходимо предварительно упростить схему при вычислении передаточных функций многоконтурных систем с перекрестными связями.

3. Каждый элемент структурной схемы позволяет совершать математическую операцию преобразования входного сигнала в выходной.

4. Элементы структурной схемы не обязательно должны совпадать с конструктивным выполнением реальных устройств.

Литература

1. Дядик В.Ф. Теория автоматического управления. – М.: Томский политехнический университет, 2011. – С. 42-50.
2. ГОСТ 56303-2014. Единая энергетическая система и изолировано работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Нормальные схемы электрических соединений объектов электроэнергетики – Введ. 2015–09–01. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. Поляков К.Ю. Теория автоматического регулирования. Промышленная энергетика. –2008. – С. 43-47.
4. Доронин С.В. Теория автоматического управления и регулирования в системах электроснабжения по Е.П. Попову: – М.: Изд-во ДВГУПС. - 2005.

В.К. Белов, студ.; А.В. Зорин, студ.; К.А. Юркова, студ.;
рук. Л.И. Долецкая, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ ПРИ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ

Надежность эксплуатации распределительных сетей электрических напряжением 6-10кВ зависит от надежности ее элементов: воздушных линий электропередач (ВЛ) и потребительских подстанций. Среди повреждений ВЛ значительное место занимают нарушения механической прочности ее конструктивных элементов при воздействии случайных климатических гололедно-ветровых нагрузок.

Перспективным направлением обеспечения надежности воздушных линий (ВЛ) напряжением 6-10кВ является переход на применение воздушных линий с защищенными проводами (ВЛЗ) с подвеской защищенных изолированных проводов марки СИП-3 [1].

Анализ гололедно – ветровых аварий позволил выявить характер разрушений ВЛ-10кВ при эксплуатации. При авариях наблюдаются следующие последствия***:***

1) массовые обрывы проводов;
2) разрушение промежуточных опор поперек оси ВЛ;
3) разрушение промежуточных опор вдоль оси ВЛ односторонним тяжением проводов, вследствие их непроскальзывания при обрывах;
4) выдергивание, с последующим разрушением, сложных опор тяжением проводов;
5) разрушение штыревых изоляторов тяжением проводов.

Причинами гололедно – ветровых аварий ВЛ являются:

1) дефекты изготовления конструкций;
2) нарушение проектных решений при строительстве;
3) недостатки эксплуатации;
4) превышение фактических гололедно – ветровых нагрузок на элементы над принятыми при их механических расчетах.

Механическая прочность ВЛ определяется, в основном, надежностью двух элементов – проводов и промежуточных опор. Разрушения других элементов являются следствием обрыва и непроскальзывания проводов.

Обрыв проводов происходит, когда толщина стенки гололеда превышает разрушающую для данного провода. Разрушение промежуточной опоры наступает, когда давление ветра на провод, передающееся опоре и на стойку превышает разрушающее для данной опоры. Разрушающие нагрузки имеют случайный характер, как и гололедно – ветровые воздействия.

Величины действующих на опоры и провода нагрузок, а следовательно, и эксплуатационная надежность механической части ВЛ, в значительной степени зависит от типа и сечения проводов.

Надежность элементов электрических сетей обычно оценивают параметрами потока отказов ω, интенсивностью потока отказов λ, средним временем восстановления $t_{\text{В}}$ [2]. Параметр потока отказов и его интенсивность принимают равным удельной или относительной повреждаемости:

$$\eta = \frac{m}{n \cdot T}, \tag{1}$$

где m – число отказавших элементов; n – общее число элементов; T – период наблюдения.

Удельная повреждаемость проводов от воздействия гололеда $\eta^{\text{г}}_{\text{пр}}$, опор от давления ветра $\eta^{\text{в}}_{\text{оп}}$ и от ветра при гололеде $\eta^{\text{вг}}_{\text{оп}}$, могут быть определены по формулам:

$$\eta'_{\text{пр}} = 1 - exp\left(-\left(\frac{b_{\text{п}}}{\alpha_{\text{г}}}\right)^{-\beta_{\text{г}}}\right), \tag{2}$$

$$\eta^{\text{в}}_{\text{оп}} = 1 - exp\left(-\left(\frac{\vartheta_{\text{п}}}{\alpha_{\text{в}}}\right)^{-\beta_{\text{г}}}\right), \tag{3}$$

$$\eta^{\text{вг}}_{\text{оп}} = 1 - exp\left(-\left(\frac{q_{\text{п}}}{\alpha_{\text{вг}}}\right)^{-\beta_{\text{вг}}}\right), \tag{4}$$

где $b_{\text{п}}$ – предельное значение толщины приведенной стенки гололеда, вызывающее обрыв провода;

$\vartheta_{\text{п}}$ – предельное значение скорости ветра, вызывающее поломку стойки промежуточной опоры поперек ВЛ;

$q_{\text{п}}$ – предельное давление ветра на провода при гололеде, вызывающее поломку стойки опоры поперек ВЛ;

α, β – параметры законов распределения климатических нагрузок.

Для оценки надежности механической части ВЛ в гололедно-ветровых режимах используется обобщенный показатель – условная относительная повреждаемость опор (эквивалентная повреждаемость ВЛ) [3], которая учитывает надежность опор и проводов, но отнесена к одной промежуточной опоре. Эквивалентная повреждаемость $\eta_{\text{э}}$ определяется по формуле:

$$\eta_{\text{э}} = \eta^{\text{в}}_{\text{оп}} + \eta^{\text{вг}}_{\text{оп}} + \eta^{\text{г}}_{\text{оп}} + k_{\text{э}} \cdot \eta^{\text{г}}_{\text{пр}}, \tag{5}$$

где $k_{\text{э}}$ – коэффициент эквивалентирования, соизмеряющий последствия от обрывов проводов и повреждений опор.

При замене алюминиевых и сталеалюминиевых проводов на СИП снижаются значения повреждаемости проводов и опор, а, следовательно, повышается

надежность линий. Эффективность замены проводов можно характеризовать величиной снижения времени аварийных отключений ВЛ $(\Delta T_{\text{ав}}, \text{ч})$ и, следовательно, снижением годового недоотпуска электроэнергии $(\Delta W_{\text{нд}}, \text{кВт} \cdot \text{ч})$ потребителям:

$$\Delta T_{\text{ав}} = T_{\text{ав}j} - T_{\text{ав}i}, \quad (6)$$

$$\Delta W_{\text{нд}} = W_{\text{нд}j} - W_{\text{нд}i} = P_{\text{откл}} \cdot \Delta T_{\text{ав}}, \quad (7)$$

где $P_{\text{откл}}$ – нагрузка потребителей ВЛ, отключаемая при повреждениях, кВт.

В формулах (6) и (7) величины с индексом j и i относятся к линии соответственно с неизолированными проводами и СИП.

Для оценки степени снижения недоотпуска электроэнергии удобно использовать относительную величину этого снижения$(W_{\text{нд}})$, определяемую по выражению:

$$W_{\text{нд}} = \left(\frac{\Delta W_{\text{нд}}}{W_{\text{нд}}}\right) \cdot 100 = \left(\frac{\Delta T_{\text{ав}}}{T_{\text{ав}}}\right) \cdot 100, \quad (8)$$

По приведенным выше формулам для применяемых на ВЛ марок и сечений проводов при подвеске их на железобетонных опор были рассчитаны показатели эксплуатационной надежности опор, неизолированных проводов и СИП-3 [4]. Эквивалентная повреждаемость, снижение времени аварийных отключений, снижение недоотпуска электроэнергии.

При проведении расчетов использованы следующие исходные данные:

- ВЛ-10кВ и ВЛЗ-10кВ эксплуатируются во II климатическом районе по нормативной толщине степени гололеда и во II климатическом районе по нормативной скорости ветра;
- значения параметров законов распределения климатических нагрузок определялись по графикам средних распределений годовых максимумов;
- показатели повреждаемости определялись при расчетных пролетах, так как конструктивное выполнение ВЛ определяется действующими нормами и правилами и при строительстве линий пролеты существенно не отличаются от расчетных.

Результаты расчетов показателей эксплуатационной надежности ВЛ и ВЛЗ при гололедно-ветровых авариях даны в таблицах 1-3.

Таблица 1 . Эквивалентная повреждаемость ВЛЗ-10кВ, %

Сечение провода СИП, мм^2	Длина пролета, м				
	120	115	110	105	100
35	4,087	3,680	3,301	2,949	2,621
50	4,236	3,800	3,394	3,019	2,672
70	4,505	4,023	3,578	3,168	2,791
95	4,957	4,404	3,897	3,432	3,007
120	5,493	4,858	4,279	3,750	3,271

Таблица 2 . Эквивалентная повреждаемость ВЛ-10 кВ %

Сечение неизолирован-ного провода, мм^2	Длина пролета, м			
	125	120	100	95
35	5,81	5,36	3,92	3,49
50	5,65	5,05	3,61	3,36
70	5,29	4,82	3,29	2,97

Таблица 3 . Снижение времени аварийных отключений и недоотпуска электроэнергии при замене проводов.

Марка провода		Время $\Delta T_{ав}$, ч/км при повреждении линий	$W_{нд}$, %
Неизолированный	СИП-3		
А-35	СИП-50	0,873	69
А-50	СИП-50	0,831	68
А-70	СИП-70	0,805	66
АС-25	СИП-50	0,641	62
АС-35	СИП-50	0,61	61
АС-50	СИП-50	0,602	61
АС-70	СИП-70	0,604	61

Значения эквивалентной повреждаемости ВЛ и ВЛЗ, приведенные в табл.1, 2, могут быть использованы для оценки эксплуатационной надежности линий электропередачи 10кВ при различных климатических условиях и конструктивных исполнениях. Из данных табл. 3 следует, что замена неизолированных проводов на СИП-3 может приводить к снижению времени аварийных отключений в распределительных электросетях и недоотпуска электроэнергии подключенным потребителям при гололедно-ветровых воздействиях на 61% - 69%.

Литература

1. Политика инновационного развития, энергосбережения и повышения энергетической эффективности ОАО «Россети».-М.: ОАО «Россети», 2014г.
2. Методические указания по расчету надежности ВЛ 10 кВ при воздействии гололедно-ветровых аварий. – М.: ОАО «РО СЭП», 2004.
3. Выскирка А. С., Головатюк М. К., Княжевская С. Я. и др. Повышение надежности ВЛ распределительных сетей при гололедно-ветровых нагрузках // Энергетическое строительство за рубежом. 1988. №5.
4. Пособие по проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38 – 20 кВ с самонесущими изолированными и защищенными проводами. Книга 4. Система защищенных проводов 6 – 20 кВ. Том 1 / А. В. Логинов, С. Е. Логинова и др. С-Пб.: ENSTO – ОАО «РОСЭП», 2005.

А.В. Ведюков, Д.А. Постнов, студ. А.Х. Сафарзода, асп.;
рук. Р.В. Солопов, доцент, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В настоящее время энергетика России характеризуется высоким уровнем износа линий электропередач, подстанций частичной выработке срока службы магистральных и распределительных сетей. Вследствие чего, для удаленных от централизованных источников электроснабжения территорий, имеющих невысокую плотность энергопотребителей, особое значение начинает приобретать питание от автономных источников генерации электрической энергии. Анализ состояния развития автономных источников питания позволяет выделить следующие проблемы:

1. Использование в качестве автономных источников генераторов на различных видах топлива проблематично из-за сложностей доставки топлива в труднодоступные и отдаленные районы.

2. Низкий уровень развития транспортной инфраструктуры который оказывает влияние на высокий уровень затрат и постоянное удорожанию транспортировки топлива и ресурсов.

3. Эксплуатация устаревших и физически изношенных автономных источников электрической энергии, которые имеют низкую надежность и экономичность, что в последствии приводит к недостаточной надежности энергоснабжения и высоким финансовым затратам на их обслуживание.

Исходя из выше сказанного, использование альтернативных источников энергии для автономной генерации электрической энергии в децентрализованных системах электроснабжения является перспективным направлением энергетики. Особенно актуальной задача развития автономных систем электроснабжения является для южных и северных регионов России, таких как: Крымский полуостров, Калининград, Чукотский АО, Ямало-Ненецкий АО.

Для примера, рассмотрим среднестатистический автономный удаленный поселок состоящий из 5-10 домов установленная мощность одного дама принимаем 5кВ.

Электроснабжение производится по трехфазной электрической сети переменного тока от гибридной электростанции, включающей в себя в качестве источников солнечные батареи и ветроустановки.

В качестве альтернативных источников энергии используются солнечные фотопанели типа Seraphim Solar SystemSPR-240-6PB в количестве 25 рядов по 5 модулей, а также ветрогенератор CONDOR AIR WES 380/50-30 мощностью 30 кВт. Согласование альтернативных источников производится на постоянном токе.

На рисунке 1 представлена модель автономной систем разработанная в графической среде Simulink (Mathlab).

Принцип работы системы: солнечные батареи и ветроустановка подключаются к сети постоянного тока. При нормальном режиме они работают одновременно и осуществляют заряд аккумуляторных батарей напряжением 43В. Далее постоянный ток с помощью инвертора преобразуется в напряжение 220В электрической сети с частотой 50 Гц, заряд передается в нагрузку. Подробная схема рассматриваемой сети представлена на рисунке 1.

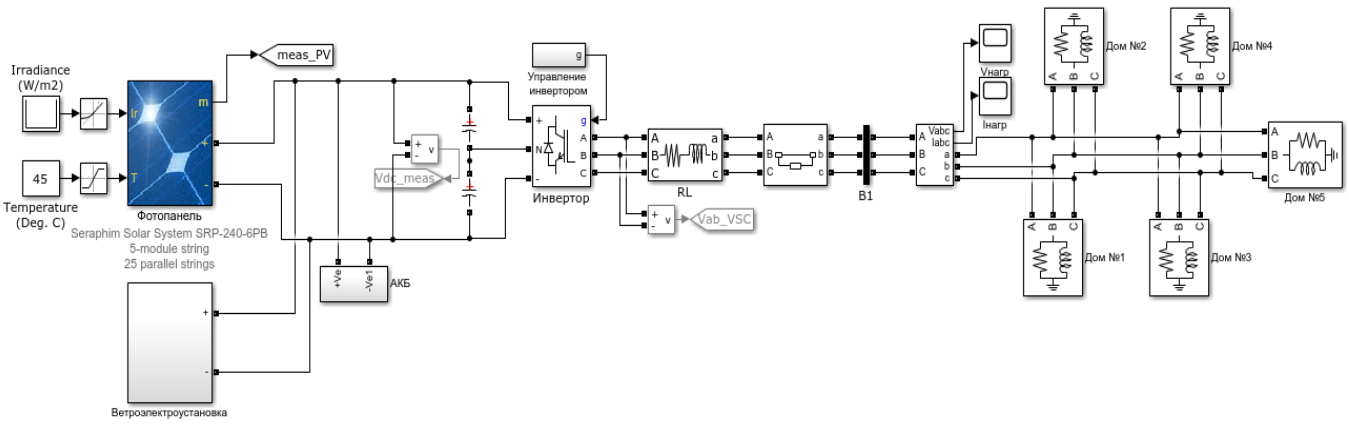


Рисунок 1 - Модель автономного электроснабжения поселка

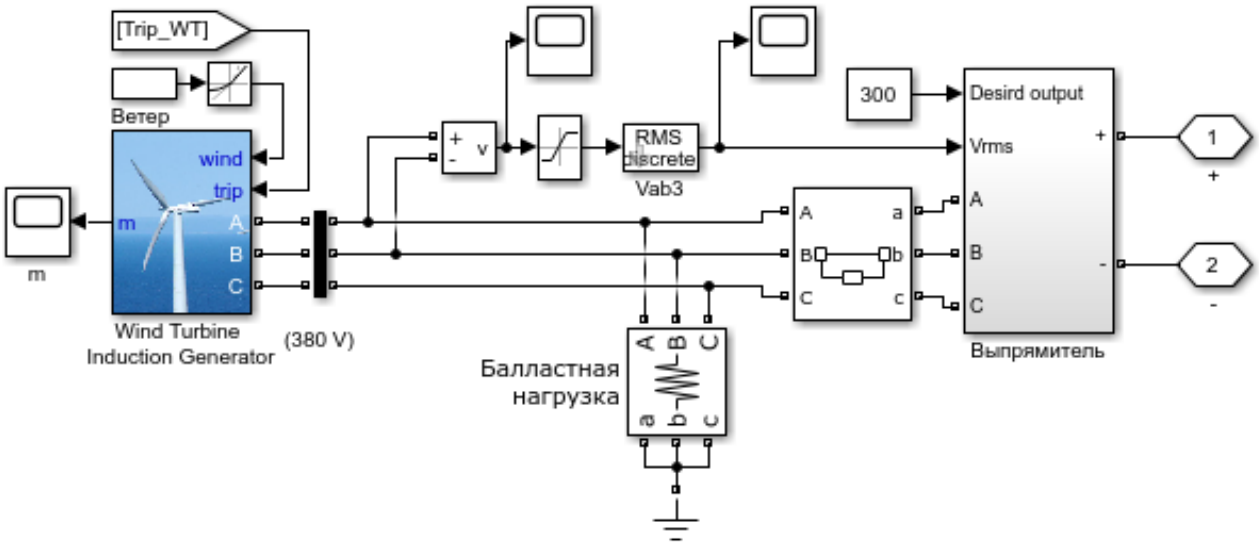


Рисунок 2 - Схема подключения ветрогенератора

Анализ разработанной модели показал возможность бесперебойного обеспечения потребителей поселка электроэнергией при различных режимах энергопотребления. Для эффективной работы данной системы необходимы следующие характеристики региона сооружения в среднем по России:

- средняя скорость ветра не менее 7 м/с;
- среднегодовое число солнечных дней: 181 день.

Произведем технико-экономический расчет эффективности применения рассматриваемой системы электроснабжения по укрупненным показателям.

Годовое потребление электроэнергии поселком с учетом принятого коэффициента разновременности нагрузки 0,8 составит около 180 тыс. кВт·ч. При средней стоимости электроэнергии 3 руб. за кВт·ч годовая прибыль составит 540 тыс.руб.

Экономические затраты на установку ветрогенератора: мощность 30 кВт с учетом изменений погодных условий будет выдавать около 15–17 тыс. кВт·ч в месяц. За год работы выработанная энергия составит 150 тыс. кВт·ч. Стоимость сооружения ВЭС на базе ветрогенератора мощностью 30 кВт составит 1,79 млн руб.

В состав солнечной электростанции входят 125 модулей поликристаллических солнечных батарей, имеющих номинальную мощность по 240 Вт. Общая мощность такой электроустановки - 30 кВт. За год она сможет выработать около 145 тыс. кВт·ч. Стоимость солнечной электростанции данного типа составляет 1,3 млн руб. Однако при проектировании следует учесть площадь, занимаемую солнечными батареями. Габариты одного солнечного модуля - 1640 х 992 х 40 мм, тогда длина одного ряда солнечных батарей будет занимать около 5 метров, а общая площадь - 62,5 м^2.

При общей стоимости гибридной электростанции в размере 3 млн без учета затрат на сооружение, срок окупаемости составит приблизительно 7 лет, что значительно меньше срока службы рассматриваемых электроустановок: ветрогенератор – 20-30 лет, солнечные батареи – более 30 лет.

Таким образом, приведенный расчет позволяет сделать вывод, что создание автономной системы на базе альтернативных источников энергии является перспективным решением в ряде регионов страны для энергоснабжения удаленных автономных поселений. Данных тип электростанций имеет больший срок окупаемости по сравнению с традиционными источниками энергии. К примеру, окупаемость мини-ТЭЦ составляет в среднем около 2 лет. Однако они обладают целым рядом преимуществ перед традиционными источниками энергии: меньшие затраты на сооружение, эксплуатацию и ремонт; значительно больший срок службы; минимальное влияние на окружающую среду.

Литература

1. Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М.: ДМК-Пресс, 2008. – 784 с.: ил.

2. В. Германович, А. Турилин «Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы»., 2011-2014г, СПб: Наука и Техника.

Интернет-ресурсы:

1. Рейтинг солнечности по городам [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: http://www.visitchita.ru/ru/solnechneost.html (07.03.19)

2. Скорости ветра в регионах России [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL: http://www.vetrogenerator.ru/windtable.html (07.03.19)

А.М. Галушко, А.М. Седов, студ.; рук. В.С. Ковженкин, доц., к.т.н.
(филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Смоленск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Электрооборудование и электроустановки, производимые современной промышленностью, подразделяются на низковольтные (до 1000 вольт) и высоковольтные (выше 1000 вольт). Высоковольтное оборудование используется на производственных предприятиях и служит для выработки, преобразования и передачи электрической энергии.

Высоковольтные электроустановки включают в себя следующее оборудование:

1) Коммутационные устройства, а именно: выключатели, разъединители, заземлители, предохранители различных классов напряжения, используемые для переключения действий в электрической сети, создавая видимый электрический разрыв или заземление.

2) Распределительные устройства, которые подразделяются на простые, комплектные и открытые, с соответствующим оборудованием, установленным в них. Системы блокировки, управления и питания.

3) Вращающиеся электрические машины: синхронные и асинхронные электродвигатели, электрогенераторы, синхронные компенсаторы.

4) Преобразователи, такие как трансформаторы, реакторы, силовые полупроводниковые преобразователи, конденсаторы.

Включение измерительных приборов и реле в электроустановках высокого напряжения переменного тока производится в большинстве случаев через измерительные преобразователи - трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН).

Измерительные трансформаторы предназначены для изолирования измерительных приборов и реле от первичных цепей высокого напряжения и для уменьшения напряжения (тысячи вольт) и тока (сотни и тысячи ампер) до величин удобных для измерения.

В высоковольтных цепях довольно сложно определить параметры без применения измерительных трансформаторов. В электроустановках напряжение достигает до 750 кВ и выше, а токи устанавливаются около десяти килоампер и более. Для «прямого» замера понадобилось бы громоздкое и дорогостоящее оборудование, а иной раз замеры вообще не возможно было бы произвести. Также, при сервисе приборов, напрямую подключенных к сети высокого напряжения, рабочий персонал подвергался бы опасности поражения током.

Измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН) оказывают содействие увеличению пределов измерений простых измерительных устройств и в то же время изолируют их от цепей высокого напряжения. Измерительные трансформаторы строятся с высоким классом точности. Во время эксплуатации

их метрологические характеристики подлежат первичной и периодической поверке на точность работы.

Измерительные ТН относятся к преобразователям электрической энергии, которые:

трансформируют напряжение участка сети или установки в напряжение приемлемой величины для осуществления измерений с помощью типовых измерительных устройств, питания релейной защиты, устройств сигнализации, автоматики, телемеханики;

изолируя вторичные приборы и цепи, защищают оборудование от высокого напряжения и персонал, имеющего доступ к обслуживанию электроустановок, от поражения током.

Подключение ТН к высоковольтной части электроустановки осуществляется соединением его первичной обмотки «в параллель» к цепи высокого напряжения. Номинал вторичных обмоток трансформатора напряжения составляет как правило 100 В. Так как сопротивление измерительных приборов, подключаемых к вторичной обмотке, высоко, током можно пренебречь. Благодаря этому основной режим работы ТН подобен режиму холостого хода стандартного силового трансформатора.

Трансформаторы напряжения подразделяются:

- по числу фаз: на одно- и трехфазные;

- по числу вторичных обмоток: двухобмоточный ТН имеет одну вторичную обмотку, трехобмоточный — две: основную и дополнительную;

- по назначению вторичных обмоток: с основной вторичной обмоткой, с дополнительной, со специальной компенсационной — для контроля изоляции цепи;

- по особенностям исполнений — на трансформаторы защищенного типа, водозащищенного типа (защита от капель и влаги), герметичные, со встроенным предохранителем и с антирезонансной конструкцией;

- по принципу действия и особенностям конструкций: на каскадные, ёмкостные, заземляемые и не заземляемые.

У каскадного ТН первичная обмотка распределена на несколько поочередно объединенных секций, передача энергии от которых к вторичным обмоткам происходит посредством связующих и выравнивающих обмоток. У ёмкостного ТН в конструкции имеется ёмкостный делитель. Заземляемый однофазный ТН — аппарат, у которого один конец первичной обмотки обязан быть заземлен. У заземляемого трехфазного ТН должна быть заземлена нейтраль первичной обмотки. Все части первичной обмотки не заземляемого ТН изолированы от земли.

Трансформатор тока — базовое измерительное устройство в электроэнергетике, используемое для преобразования тока первичной сети во вторичный типовой ток величиной равной 5 А или 1 А. Первичная обмотка связывается непосредственно с цепью высокого напряжения последовательным способом подключения. Вторичная обмотка подключается во вторичные цепи измерений, защиты и учета. 5А — часто встречающийся номинал вторичной обмотки.

Первичная обмотка ТТ подключается в разрез линейного провода (последовательно с нагрузкой), в котором замеряется сила тока. Вторичная обмотка замкнута на измерительное устройство с низким сопротивлением. Потому, в отличие от силового трансформатора, для которого режим короткого замыкания является аварийным, нормальным режимом для измерительного ТТ являются условия, близкие к КЗ, так как сопротивление во вторичной цепи у него низкое.

Через первичную обмотку, имеющую установленное число витков, протекает ток. Вокруг катушки наводится магнитный поток, который улавливается магнитопроводом. Пересекая перпендикулярно ориентированные витки вторичной обмотки, магнитный поток создает электродвижущую силу. Под влиянием последней появляется ток, текущий по катушке и нагрузке на выходе. Одновременно на зажимах вторичной цепи образуется снижение напряжения.

По конструктиву и использованию ТТ условно подразделяются на несколько разновидностей:

1. Опорные.
2. Проходные - применяются в качестве ввода и устанавливаются в металлических конструкциях, в проемах стен или потолков.
3. Встраиваемые - располагаются в полости оборудования: электрических выключателей, генераторов и других электроаппаратов, и машин.

- Разъемные - не имеют первичной обмотки. Их магнитопроводы из двух половинок, затягиваемых болтами, их можно размыкать и закреплять вокруг проводников под током. Эти проводники исполняют роль первичных обмоток.
- Шинные - производятся также без первичных обмоток. Их роль осуществляют продетые сквозь окна магнитопроводов ТТ токоведущие шины распредустройств.
- Накладные - накладываются сверху на проходной изолятор.
- Переносные - служат для лабораторных и контрольных измерений.

По выполнению первичной обмотки ТТ делятся на одновитковые и многовитковые, а по числу вторичных обмоток — на устройства с одной обмоткой и с несколькими вторичными обмотками (до четырёх, пяти). По количеству ступеней трансформации — на одноступенчатые и каскадные.

К общей классификации трансформаторов двух типов относятся: число коэффициентов трансформации (однодиапазонные и многодиапазонные),вид изоляции (маслонаполненные, газонаполненные, сухие, с литой, фарфоровой и спрессованной изоляцией, с вязкими заливочными жидкостями, комбинированные бумажно-масляные).

Для создания модели преобразователя напряжения высоковольтных электроустановках, данная модель должна соответствовать основным показателям качества.

Одними из важных показателей электрооборудования, особенно в различных климатических условиях, являются надежность, живучесть, ремонтопригодность. ИПТ – (измерительный преобразователь тока), должны обладать высокими эксплуатационными характеристиками и надежно работать при температурах от 0 до 55 градусов Цельсия. Таким образом, основными требованиями, предъявляемыми к ИПТ, являются:

1) высокая надежность работы в условиях различных температур и вибрации; 2) малая масса и габариты;
3) измерение больших токов (от 100 А до нескольких кА);
4) повышенная точность измерения;
5) способность работать в условиях высокого напряжения и/или высокой частоты СЭЭС;
6) высокая помехоустойчивость и устойчивость к искажениям формы тока;
7) гальваническое разделение входных и выходных цепей ИПТ (безопасность облуживания).

В ходе работы, был собран преобразователь напряжения высоковольтных электроустановках. Данный преобразователь напряжения представляет собой конструкцию, расположенную на безопасном расстоянии от высоковольтного провода, и совместно с этим проводом представляет собой воздушный конденсатор малой емкости. Последовательно с этим конденсатором включен воздушный конденсатор сосредоточенной емкостью, с которого с помощью ЭУ получаем информацию о напряжении на проводе.

Данный выходной сигнал преобразователя, т.е. напряжение на воздушном конденсаторе сосредоточенной емкостью, является линейной функцией от напряжения на проводе. Преобразователь напряжения испытан, но метрологическая проработка еще не закончена.

В процессе работы также рассматривались измерительные преобразователи переменного тока, позволяющие измерять ток в высоковольтном проводе, находящемся на безопасном расстоянии от данного преобразователя.

Литература

1. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев, Н. М. Адоньев, В. М. Кибель и др. – 2-е изд., – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989 г., пар. 2-7, стр. 81 – 93.

2. Базыль И. М. Прогнозирование технического состояния электрооборудования систем электроснабжения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2016. — № 6–1. — С. 89–93.

3. Беспрозванных А. В. Анализ структуры поля и обоснование напряжений диагностики по частичным разрядам изоляции экранированных витых пар / Електротехніка і електромеханіка. — 2017. — № 6. — С. 61–65.

А.Д. Глазунова, студ.; рук. В.С. Петров, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

В современном обществе вопрос энергосбережения становится всё более актуальным, разрабатываются различные методы и способы снижения затрат на энергопотребление, внедряются разнообразные схемы, созданные сократить энергозатраты. Одновременно с этим технология отбора тепла от охлаждающих систем с целью его повторного использования всё ещё остаётся не такой широко распространённой.

Задача снижения расхода электроэнергии на собственные нужды подстанции (здесь и далее – ПС) является одним из основных моментов решения проблемы по снижению уровня потерь и повышению эффективности работы электроэнергетических систем, которая с каждым годом приобретает всё большее значение , что является следствием увеличения мощностей трансформаторных ПС, а также с появлением на ПС сверхвысоких напряжений крупных потребителей энергий (как электрической, так и тепловой).

Трансформаторы последнего поколения имеют достаточно высокий коэффициент полезного действия , который при должных мощностях может достигать более 99%. Но при его работе часть трансформируемой электромагнитной энергии по естественным причинам теряется и выделяется в виде тепла, рассеиваемого в окружающей среде.

Тепловые потери в трансформаторах большой мощности могут достигать нескольких сот киловатт. Для понижения данных потерь проводится ряд мероприятий , проводимых как на стадии конструирования и приготовления трансформаторов, так и в процессе их эксплуатации в энергосистемах. Впрочем, термические издержки трансформаторов и автотрансформаторов возможно не лишь только снижать, но и здорово применить для задач теплоснабжения.

Целью данной статьи является рассмотреть актуальность и целесообразность применения тепловых насосов

Из выбранной цели вытекают следующие задачи:

- рассмотрение видов тепловых насосов;
- обозначение низкой популярности тепловых насосов в современной электроэнергетике;
- обозначение плюсов и минусов схем отборов тепла для различных типов систем отопления.

Для начала следует отметить, что во многих случаях более эффективное и полное использование возобновляемых энергетических ресурсов (к которым и относится тепло) возможно с помощью тепловых энергопреобразующих установок, повышающих потенциал теплоносителя. Такими установками являются тепловые насосы и тепловые трансформаторы.

Тепловые трансформаторы работают по тому же термодинамическому принципу , что и тепловые насосы , а повышение давления в тепловых трансформаторах сопровождается повышением температуры. Таким образом, тепловые насосы и трансформаторы являются разновидностями установо к, предназначенных для увеличения потенциала теплоносителя , который, согласно второму началу термодинамики, требует затрат определенного количества энергии. [1]

В 20-30-е годы прошлого столетия в мире началось широкое использование тепловых насосов. Первый тепловой насос для теплоснабжения здания был испытан в Англии в 1930 году. Первая крупная теплонасосная установка в Европе была введена в действие в Швейцарии в 1939 году. Она использовала теплоту речной воды и имела мощность 175 кВт.

Энергетический кризис начала семидесятых годов прошлого века, во время которого существенно возросли цены на топливо, дал мощный толчок к использованию тепловых насосов в системах отопления. Многие государства сегодня субсидируют использование тепловых насосов, устанавливая льготные тарифы на электроэнергию для компаний, которые их используют, или предлагая налоговые вычеты. При этом государство получает определенные преимущества: снижается его зависимость от внешних поставок топлива, улучшается экологическая ситуация в стране, поддерживаются отечественные производители высокотехнологичного оборудования. [2]

К сожалению, в настоящее время широкую популярность обрели тепловые насосы, нежели тепловые трансформаторы. Плюсы установки насосов в том, то они достаточно компактные и подходят для индивидуального использования потребителями в собственных домах. На просторах всемирной сети Интернет можно найти большое количество статей, в которых приведены практические технико-экономические расчёты, созданные с целью продемонстрировать выгоду установки данного устройства в частном порядке. Рассмотрим чуть подробней один из них, на котором можно проследить реальную выгоду, рассчитанную на реальных данных.

Срок службы теплового насоса ограничен только сроком службы компрессора, как единственного устройства, содержащего подвижные части со сроком службы 25 лет. По истечении этого срока компрессор должен быть заменён. Срок эксплуатации коллекторов достигает 50 лет. В таблице ниже представлены расчёты денежных затрат (ДЗ) на теплоснабжение в течение 25 лет с использованием различных источников тепловой энергии: централизованного теплоснабжения (ДЗЦТС); электрического, твёрдотопливного и дизельного котла (ДЗЭК, ДЗТТ, ДЗДТ), воздушного теплового насоса (ДЗТН.В), ТН с горизонтальным и вертикальным коллектором (ДЗТН.Г, ДЗТН.U). [3]

Денежные затраты на теплоснабжение индивидуального фермерского дома за 25 лет с помощью различных источников тепловой энергии

№	Город	ДЗцтс, руб.	ДЗэк, руб.	ДЗтт, руб.	ДЗдт, руб.	Горизонтальный коллектор ДЗтн.г, руб.	U-образный коллектор ДЗтн.u, руб.	Воздушная тепловая установка ДЗтн.в, руб.
1	Псков	829 196	3 155 358	584 326	9 036 594	262 349	697395	
2	Санкт-Петербург	805 909	1 599 026	592 232	9 194 398	285 653	720 706	
3	Астрахань	1 697 714	2 191 079	417 348	5 972 256	**-606 171***	**-171 126***	
4	Сочи	450 624	397 531	111 457	1 616 686	113 630	287 664	**-270 374***
5	Красноярск	2 063 936	3 714 216	840 955	13 076 844	**-809 924***	**-279 581***	
6	Чита	1 985 338	2 851 202	838 589	13 727 699	-	**-201 004***	
7	Якутск	3 522 867	6 867 007	1 150 895	21 360 613	-	**-1 738 526***	
8	Салехард	1 750 171	3 530 749	1 086 942	16 059 564	**-496 169***	34 170	
9	Петропавловск-Камчатский	3 176 500	3 374 810	597 312	11 345 932	**-2 335 050***	**-2 035 231***	**-2 922 380***
10	Владивосток	1 279 226	1 661 810	515 024	8 989 740	**-187 675***	247 373	
11	Екатеринбург	1 211 034	3 413 842	797 006	12234041	**-119 476***	315 575	

*-прибыль от использования ТН

Схемы отбора тепла зависят от нескольких факторов, к примеру, тип, количество, мощность, нагрузка, требуемая тепловая производительность, вид используемого теплоносителя в системе отопления (трансформаторное масло, вода, воздух) и удалённость потребителей. Отталкиваясь от них, выделяются следующие схемы:

- с непосредственной подачей нагретого масла в систему отопления;
- с нагревом воды в масло-водяном теплообменнике;
- с нагревом воды посредством теплового насоса;
- с нагревом воздуха в масло-воздушном теплообменнике;
- с непосредственным отводом нагретого воздуха от охлаждающих радиаторов;
- с нагревом воздуха в водо-воздушном теплообменнике.

Следует отметить, что на сегодняшний день самой популярной схемой является схема с нагревом воды посредством теплового насоса, и она обязана этому благодаря относительной простоте установки и использования, а также большой дистанции передачи тепла, а не только тем объектам, что расположены в непосредственной близости.

Также был произведён анализ всех схем отборов тепла, рассмотрены их недостатки и преимущества. Все они были объединены и сведены в таблицу, приведённую ниже.

Таблица [4]

Схема отбора тепла	Преимущества	Недостатки
Для системы масляного отопления	1. Максимальная простота конструкции. 2. Повышенная энергетическая эффективность (в связи с отсутствием промежуточных теплообменников).	Возможность утечки масла из контура отопления.
Для системы водяного отопления	Позволяет использовать уже существующие радиаторы водяного отопления и передавать тепло на расстояния до одного километра.	1. Сложность и повышенные капитальные затраты. 2. Снижение экономии электроэнергии, связанные с использованием ТН.
Для системы воздушного отопления	1. Простота конструкции и надёжность 2. Не требуют регулировки и какого-либо надзора.	Если трансформаторы расположены далеко от здания ПС, то применение маслопроводов большой длины недопустимо вследствие малой надёжности, а применение воздуховодов неэкономично.

При сравнении затрат на установку геотермальных и воздушных коллекторов с учётом затрат на транспортировку, монтаж и наладочные работы было выявлено, что тепловой насос с вертикальным расположением грунтового контура является наиболее дорогостоящим — 102 279 руб. на 1 кВт мощности оборудования, далее следует тепловой насос с горизонтальным расположением грунтового контура — 79 674 рублей. Воздушная теплоустановка (с 44 383 рублей за 1 кВт) является наиболее дешёвой, так как в качестве источника теплоты используется наружный воздух и не требуются дополнительные затраты на раскопку траншей, в связи с этим стоимость трансформатора снижается и определяется только ценой самого насоса и монтажных работ.

Срок окупаемости (СО) трансформатора напряжения прямо пропорционален капитальным затратам на его установку и обратно пропорционален экономии денежных средств, равным затратам на отопление. Тарифы на тепловую энергию в российских городах сильно разнятся, к примеру, в 2015-2017 годах цена 1 Гкал энергии в Санкт-Петербурге составляет 1050 руб., а в г. Петропавловск-Камчатский — 3580 руб. [3]

Наименьший срок окупаемости по проведённым примерным подсчётам можно выделить в восточных регионах России, где расходы на централизованное теплоснабжение довольно высоки.

В таблице ниже представлены некоторые города для сравнения срока окупаемости.

Таблица

Город	*СОгор.*	*СОвер.*
Петропавловск-Камчатский	*7 лет*	*9 лет*
Якутск	*7 лет*	*13 лет*
Красноярск	*15 лет*	*22 года*
Санкт-Петербург	*34 года*	*47 лет*
Псков	*33 года*	*46 лет*
Сочи	*31 год*	*41 год*

Основываясь на данных для других регионов, рассмотренных выше, с учётом всех факторов, можно будет примерно предположить сумму затрат, которая будет сэкономлена при использовании теплового насоса того или иного типа. Но это требует уточнения экономических расчётов с конкретными данными для конкретно рассматриваемого случая.

Обзор и анализ существующих данных показал, что в среднем срок окупаемости теплового насоса (5-8 лет) меньше срока его эксплуатации (средний срок работы теплового насоса составляет 25 лет), при этом выгода в денежном эквиваленте колеблется от сотен тысячи до нескольких миллионов рублей, но данная сумма зависит от различных внешних факторов: место установки (география, внешняя температура, частота использования), масштаб обслуживаемого объекта, тип установки, и так далее.

На основе ранее рассмотренной теории использования тепла трансформатора и приближённых расчётов, выполненных в процессе данной работы, можно предположить, что в зависимости от напряжения и мощности трансформаторов, установленных на подстанции, целесообразность использования вторичного тепла трансформаторов, полученных при применении тепловых насосов, в России будет неизбежно расширяться как для целей теплоснабжения, так и в энергетике и промышленных технологиях с уверенным расширением их производства и научных исследований в этой области (разработка новых схем утилизации теплоты, способов интенсификации теплообмена, создание новых рабочих тел и т. д.).

Список используемой литературы

1. Образовательный портал Конспекта.Нет. - Режим доступа: https://konspekta.net/lek-230.html
2. Мастерская Своего Дела, 1999-2018. - Режим доступа: https://msd.com.ua/misc/teplovye-nasosy-4/
3. Расчёт эффективности применения тепловых насосов [опубликован 10 октября 2015]. - Режим доступа: https://altenergiya.ru/termal/effektivnost-primeneniya-teplovyx-nasosov.html
4. Гридин С. В., Петренко А. Ф. Энергоэффективность способов утилизации отработанного тепла систем охлаждения силовых трансформаторов. – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, 2013
5. Воротницкий В. Э., Люблин А. С. Использование потерь силовых трансформаторов. – М.: ЭНАС, 1995. – 172 с
6. Швед П. и др. Утилизация тепловых потерь силовых трансформаторов с помощью тепловых насосов // Техническая электродинамика, 1993. № 5. С 47-49.

И.Н. Голдесов, студ.; рук. С.А. Шунаев, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

На сегодняшний день солнечная электрогенерация является динамично развивающийся отраслью электроэнергетики и на ряду с ветроэнергетический установками, одной из самых распространённых в секторе распределенной электрогенерации на возобновляемых источниках энергии. Солнечная электрогенерация становится всё более актуальной, одной из причин является простота её конструкции.

Для реализации опыта была собрана экспериментальная модель. Основными элементами, которой являлись:

- Солнечная батарея, мощностью 50 Вт;
- Контроллер заряда MPPT T20 12/24 В 20А;
- Аккумуляторная батарея 12 В;

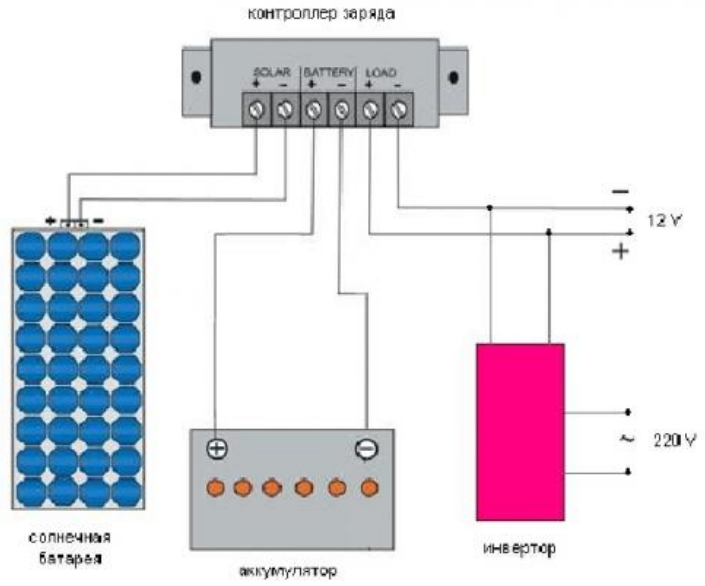


Рисунок 1. Экспериментальная модель

В процессе сборки были выделены следующие проблемы:

1. При нагревании солнечной батареи было выявлено снижение её коэффициента полезного действия;
2. Возможность использования и выбор напряжений имеющих следующую зависимость – 12 В, 24 В, 36 В;

3. Проблема насыщения при заряде аккумуляторной батареи, сказывающимся в нелинейном характере заряда электрической энергии;

При прохождении через светоэлектрический преобразователь солнечного луча под прямым углом неизбежно происходит нагрев. В ходе её эксплуатации было установлено снижение выходных параметров напряжения, что свидетельствует о снижении коэффициента полезного действия солнечной батареи. Для проверки этой гипотезы был осуществлен эксперимент.

В рамках эксперимента предполагалось исследовать зависимость выходных параметров солнечной электроустановки, для нахождения зависимости коэффициента полезного действия от температуры. Коэффициент полезного действия характеризуется $\eta = \frac{W_{\max}}{Wi} = \frac{P \cdot t \cdot E\max}{Pi \cdot t \cdot Ei}$, $P = I \cdot U$, также нужно учесть, что КПД зависит от площади солнечной батареи. В эксперименте снимались выходные параметры, чтобы установить связь с температурой, которые так же зависят от освещенности *E*, поэтому в ходе эксперимента освещенность требовалось держать постоянной при помощи люксметра Ю116.

Эксперимент проводился в солнечных день при освещенности 65000-90000 ЛК, что сильно не сказывалось на освещенности, тем самым не влияя на выходные параметры солнечной электроустановки. Было необходимо произвести нагрев температуры с помощью дутьевого вентилятора, ТП – 2100 Дм, контроль производился при помощи пирометра, COTDTROL IR-T1. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Полученные выходные параметры

№ п/п	T, °C	U, В	I, А	η, %
1	15	12,1	0,64	15,48
2	20	11,8	0,64	15,11
3	25	11,6	0,64	14,85
4	30	10,4	0,65	13,52
5	35	9,6	0,65	12,48
6	40	8,1	0,66	10,53
7	45	7,1	0,66	9,62
8	50	5,9	0,66	7,79
9	55	4,7	0,66	6,20
10	60	3,4	0,67	4,62
11	65	2,4	0,67	3,26

По полученным данным из таблицы 1, возможно построить зависимости коэффициента полезного действия и выходного напряжения от температуры рисунок 2.

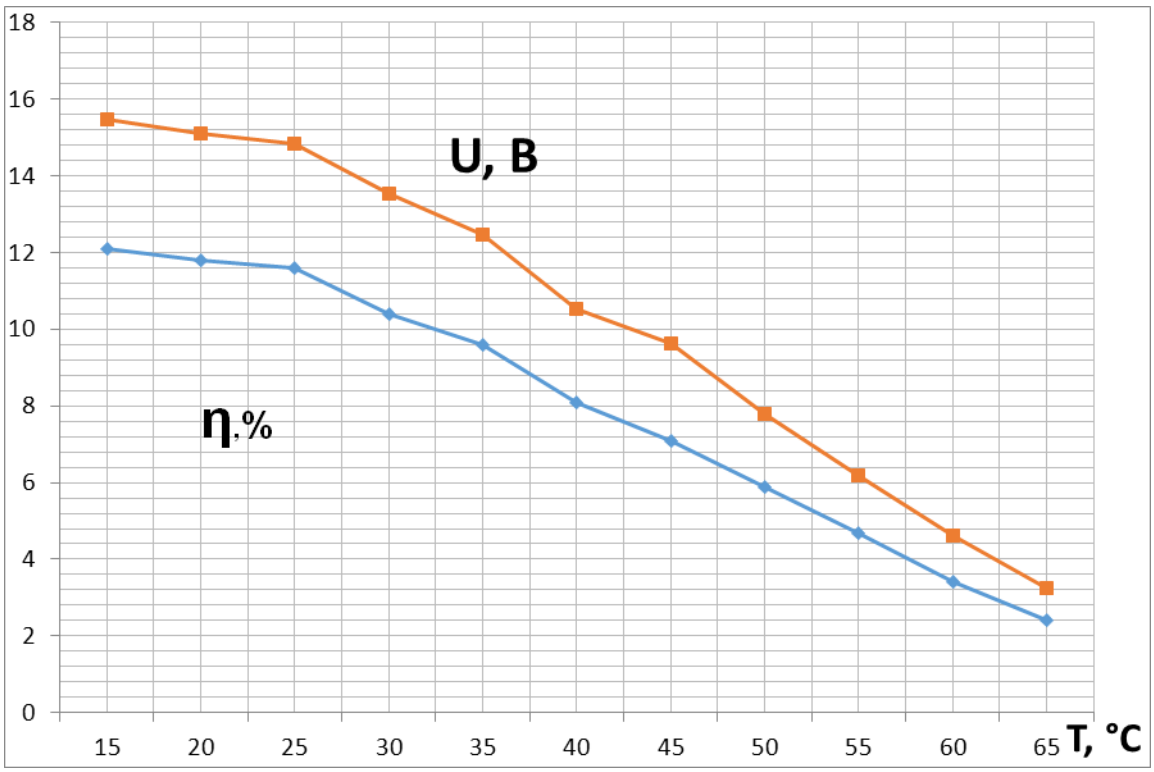


Рисунок 2. Зависимость КПД и выходного напряжения солнечной батареи от температуры

Анализ полученных данных говорит, что при увеличении температуры снижаются выходные параметры напряжения, что говорит о действительном снижении коэффициента полезного действия. Следует отметить, что при нормальной эксплуатации до 25 °C , снижение незначительное. На ряду с этим возникает техническое решение проблемы с помощью различных способов охлаждения. Среди способов охлаждения принято выделять пассивные и активные. К пассивным охлаждениям относят радиатор, либо всё более используемые thermo reflective glass, которые являются термоотражающими стеклами. К активным относят вентиляторы, либо циркуляцию жидкостей в трубках. Наиболее эффективным вариантом будет в использовании пассивных и активных приборов охлаждения одновременно.

Охладив солнечную электроустановку, сохраним её КПД. Из графика видно, что в солнечный день при температуре 30 °C, панель может нагреваться до 65 °C, в этом случае КПД уменьшается почти в 4 раза. Если устранить этот эффект, то возникает свободная мощность на установку систем охлаждения. Если мощность охлаждающего устройства будет меньше или равна свободной мощности, то очевидно будет выгодно установки такой техники.

Для реализации этой проблемы было бы эффективно иметь солнечную батарею большей мощностью, чем в нашем эксперименте. Но важно помнить, что чем больше мощностью батарея, тем больше площадь её поверхности, а значит для всего её охлаждения потребуется больше устройств. Оценить реальную эффективность можно лишь проведя эксперимент, но это уже совсем другая проблема.

В рамках эксперимента была собрана экспериментальная установка. Были выявлены проблемы, среди которых снижение коэффициента полезного действия. Анализ полученных зависимостей показал снижение КПД при нагреве солнечной электроустановки до 65°С, в результате падения параметров выходного напряжения. При этом установка систем охлаждения может снизить этот эффект.

Литература

1. Гордиевский Д.Д., Шунаев С.А. Исследование эффективности работы солнечной панели в условиях климата смоленской области//В сборнике: Энергетика, информатика, инновации - 2015 Сборник трудов V Международной научно-технической конференции: в 2 томах. филиал ФГОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2015. С. 11-16.
2. Йе Вин. Виссарионов В.И. Исследование влияния температуры характеристики фотоэлектрических преобразователей.//Научно-техническое творчество молодежи — путь к обществу, основанному на знаниях: Москва, ВВЦ, 2012. — 486—488 с.
3. Макаров А.А., Геродес Г.А. Возобновляемые источники энергии в Германии. Сер. Проблемы развития энергетики России. Москва, 2009..

А.И. Зернов, А.А. Тростиков, студ.; рук. Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «МЭИ» в г. Смоленске)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При производстве электрической энергии, ее транспортировке на большие расстояния и распределении между объектами в настоящее время применяется по большей части переменный ток. Данное обстоятельство связано с несколькими факторами. Основной из них – это простота трансформации переменного напряжения с помощью трансформаторов относительно простой конструкции и с высоким КПД. Другой фактор – это то, что двигатели, работающие на переменном напряжении достаточно просты по своей конструкции, а, значит, более надежны при использовании [1].

Тем не менее, в первых системах электроснабжения использовалось постоянное напряжение. Но уже в 1891 году во время международной электротехнической выставки, в местечке под названием Франкфурт-на-Майне, русский инженер Доливо-Добровольский с Чарльзом Брауном представили миру более совершенную, по сравнению с введенными в эксплуатацию в тот момент системами передачи электроэнергии на постоянном токе, энергосистему, состоящую из трех фаз с линейным напряжением 15 кВ (40 Гц). С того самого момента и по сей день трехфазная система переменного напряжения стала применяться во всем мире.

Быстрое развитие силовой полупроводниковой техники и стремительный рост доли источников возобновляемой энергии в структуре электроснабжения полностью изменили технологию и подход к высоковольтной передаче энергии на постоянном токе. В связи с чем, актуальным становится вопрос анализ перспектив применения постоянного тока в различных отраслях энергетики.

В рамках проводимого анализа были рассмотрены перспективы применения постоянного тока: в промышленности, в автономных системах электроснабжения и в высоковольтных сетях.

Основными потребителями электроэнергии на производстве являются асинхронные трёхфазные электродвигатели, представляющие собой практически линейную реактивно-активную нагрузку, причём реактивность носит индуктивный характер. Учитывая это обстоятельство в электросетях предприятий присутствуют устройства компенсации реактивной мощности (батареи статических конденсаторов и синхронные компенсаторы). В настоящее время непосредственное подключение трёхфазных электродвигателей к промышленной сети всё шире замещается подключением их через частотный преобразователь [2].

Частотный преобразователь строится по двухступенчатой схеме. Первая ступень представляет собой преобразователь переменного напряжения в постоянное. На второй степени постоянное напряжение преобразуется в переменное (обычно трёхфазное) требуемой частоты и амплитуды с помощью инвертора. Преобразователь промышленного трёхфазного напряжения в постоянное представляет собой нагрузку, нелинейного характера, причём параметры этих нелинейностей изменяются во времени. При широком применении частотных преобразователей для питания электродвигателей различного оборудования возникают проблемы, связанные с сильным искажением частотного состава питающего напряжения. Эти искажения гораздо труднее поддаются компенсации, чем привычные проблемы повышения коэффициента мощности. Перегрузка генерирующего оборудования и линий электропередач гармониками высокой кратности не менее опасна, чем перегрузка реактивной мощностью, а методы борьбы с такими явлениями гораздо более энергозатратны.

Поэтому перспективным направлением в электроснабжении асинхронного привода является переход на постоянное напряжение. В этом случае отпадает необходимость в инверторном звене и исчезает проблема искажения формы питающего напряжения. Это делает систему электроснабжения более простой. Резервирование в сети постоянного тока технически проще и дешевле, чем резервирование в сетях переменного тока за счет возможности применения накопителей энергии для ликвидации перерывов энергоснабжения.

Говоря о мобильных автономных системах, пожалуй, стоит отметить большую перспективу использования постоянного тока в системах, которые содержат химические аккумуляторы.

Основные характеристики нынешних мобильных комплексов постоянно изменяются и обновляются, увеличивая количество разрешаемых ими задач, таким образом, происходит слияние функций за счет уменьшения числа объектов, которые составляют комплекс. Эти тенденции в развитии мобильных систем ведут к необходимости значительного увеличения мощности систем автономного электроснабжения (САЭС), а также уменьшения удельных показателей габаритов, роста КПД, увеличения надежности САЭС.

Важно отметить, что полное выполнение требований предъявляемых, к САЭС разрабатываемых в настоящее время мобильных комплексов, при сохранении обычных подходов к их созданию почти не реально.

Самой важной частью построения САЭС является полная организация в общую группу всех источников электроэнергии, а также накапливающих и создающих выходное напряжение аккумуляторов в единую сеть с помощью цепи постоянного тока. Данная конструкция позволяет наиболее просто и эффективно осуществить распределение энергии между входящими в состав САЭС устройствами, учитывая, что любое из них в своем составе полупроводниковый преобразовать напряжения [3].

В условиях быстрого развития промышленного производственного комплекса требования к схемам электроснабжения сводятся к увеличению пропускной способности линий электропередач. Из-за этого, растет нагрузка на линии электропередач, которые питают промышленные районы. При постоянном увеличении использования энергии в мире все большая ее часть берется из источников, которые находятся на весьма большом расстояние от места ее потребления. Можно сделать вывод, что все более значимой становится проблема транспортировки энергии на большие расстояния.[4]

Для транспортировки энергии на дальние расстояния можно рассмотреть высоковольтные линии электропередачи постоянного тока, т.к. они будут иметь меньшую стоимость чем ЛЭП переменного тока. Связано это с тем, что на ЛЭП постоянного тока отсутствуют компенсаторы реактивной мощности, применяются более лёгкие опоры, требуется меньшее количество проводов, изоляторов, линейной арматуры. На расстоянии 500-1200 км стоимость ЛЭП постоянного тока (вместе с преобразовательной подстанцией) близка к стоимости ЛЭП переменного тока, но уже на расстоянии 2000 км стоимость ЛЭП постоянного тока ниже, чем стоимость ЛЭП переменного тока.

Говоря о кабельных линиях, то в них преимущество постоянного тока проявляется на дальних расстояниях (порядка нескольких десятков километров), что связано с уменьшенными потерями электроэнергии и меньшими требованиями к изоляции.

Подводя итог данной статье можно сделать некоторые выводы.

В настоящее время становится экономически более выгодной структура внутрицехового электроснабжения, состоящая из централизованного мощного преобразователя трёхфазного тока в постоянный, внутрицеховой электросети постоянного тока и индивидуальных преобразователей постоянного тока в переменный. Индивидуальные преобразователи гораздо проще и дешевле полнокомплектных частотных преобразователей. Централизованный выпрямитель будет иметь высокий КПД.

При использовании постоянного тока в автономной системе электроснабжения имеется возможность запитать импульсные блоки питания непосредственно от аккумуляторных батарей, минуя такой чувствительный прибор как инвертор. В результате исключается проблема при включении каждого следующего прибора с импульсным источником питания. Это весомое

преимущество т.к. при расчете мощности инвертора приходиться учитывать пусковые токи, а это приводит к завышению мощности преобразователя и недоиспользованию его мощности в процессе эксплуатации, что отрицательно сказывается на КПД инвертора.

Высоковольтные ЛЭП постоянного тока также имеют широкие перспективы, особенно в странах, где существуют значительные расстояния между местами потребления и производства электроэнергии (более 1000 км). К таким странам относятся, например Бразилия, Россия, Индия и Китай. Кабельные ЛЭП постоянного тока выгодно применять для преодоления водных преград, связано это с тем, что при одинаковой стоимости кабелей на постоянном токе можно передавать в три раза большую мощность.

Литература

1. Дьяков А.Ф. Электрические сети сверх и ультравысокого напряжения ЕЭС России НТФ «Энергопрогресс» корпорации «ЕЭЭК». Москва, 2012. 144 с.
2. Змиева К.А. Применение автоматических компенсаторов реактивной мощности для повышения энергоэффективности управления электроприводом металлообрабатывающих станков // Электротехника. 2009. № 11. С. 26–31.
3. Симаков А. Н., Душин Е.В., Юхин А.М. Методика оценки качества модульных систем постоянного тока в телекоммуникационных системах // Научный рецензируемый журнал «Известия Юго-Западного государственного университета». 2015. №2.

О.О. Костюченкова, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске, г. Смоленск)

АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Электрическая энергия –это единственный продукт, для перемещения которого из мест производства, в места потребления, используются дополнительные ресурсы. При передаче электроэнергии, часть ее потребляется, а уровень напряжения снижается. Задача исследования состоит в анализе методов оценки потерь напряжения и определении обоснованного уровня потерь напряжения, при котором сохраняются показатели качества электрической энергии.

Потери напряжения в сети среднего напряжения определяются в основном потерями в трансформаторах 6-10/0,4 кВ и линиях 6-10 кВ, для чего могут быть использованы программы расчета потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях, которые приведены ниже в данном пункте. Кроме этого, могут быть использованы альтернативные программы и методики расчета, в частности.

Потери напряжения в трансформаторах 6-10/0,4 кВ определяются по формуле:

$$\Delta U_т = \Delta U_{т.ном} \times К_з \times \frac{1}{(1 \pm \delta U)} \cong \Delta U_{т.ном} \times К_з \times (1 \mp \delta U), \qquad (1)$$

где $\Delta U_{т.ном}$ – номинальные потери напряжения в трансформаторе (потери напряжения при номинальной нагрузке и номинальном напряжении вторичной обмотки трансформатора.

$К_з$ – коэффициент загрузки трансформатора.

Определение допустимого диапазона δU на шинах центра питания (ЦП).

Допустимый диапазон отклонений напряжения в центре питания ($\delta U_{ЦП}$) определяется с учетом необходимости обеспечения норм ГОСТ 32144-2013 в точке передачи электрической энергии.

Допустимый диапазон отклонений напряжения в ЦП, требуемый каждым из характерных потребителей, выбранных в рассматриваемой электрической сети, определяется по формулам:

$$\delta U_{в.цп.i}^{I(II)} = \delta U_{(+)} + \Delta U_{нн.i}^{I(II)} + \Delta U_{т.i}^{I(II)} + \Delta U_{сн.i}^{I(II)} - E_{доб}^{I(II)};$$

$$\delta U_{н.цп.i}^{I(II)} = \delta U_{(-)} + \Delta U_{нн.i}^{I(II)} + \Delta U_{т.i}^{I(II)} + \Delta U_{сн.i}^{I(II)} - E_{доб}^{I(II)}, \qquad (2)$$

где $\delta U_{(+)}$ $\delta U_{(-)}$ – положительное и отрицательное отклонения напряжения, которые согласно ГОСТ 32144-2013 равны соответственно + 10 % и – 10 %;

$\Delta U_{нн.i}^{I(II)}$ – потери в сети низкого напряжения;

$\Delta U_{т.i}^{I(II)}$ – потери в трансформаторе;

$\Delta U_{сн.i}^{I(II)}$ – потери в сети среднего напряжения;

$E_{доб}^{I(II)}$ – добавка напряжения, соответствующая номеру положения анцапфы трансформатора.

Суммарных потерь напряжения от ЦП до ГБП рассчитываются по формулам:

$$\Delta U_{у.цп.i}^{I(II)} = \Delta U_{у.нн.i}^{I(II)} + \Delta U_{т.i}^{I(II)} + \Delta U_{сн.i}^{I(II)};$$

$$\Delta U_{б.цп.i}^{I(II)} = \Delta U_{б.\,н.i}^{I(II)} + \Delta U_{т.i}^{I(II)} + \Delta U_{сн.i}^{I(II)}. \qquad (3)$$

Допустимый диапазон отклонений напряжения в ЦП, удовлетворяющий требованиям всех характерных потребителей рассматриваемой электрической сети, определяется из условия:

$$\delta U_{в.цп}^{I(II)} \geq \delta U_{н.цп}^{I(II)},$$

где $\delta U_{б.цп}^{I(II)} = \min(\delta U_{в.цп.i}^{I(II)})$,

$\delta U_{у.цп}^{I(II)} = \max(\delta U_{н.цп.i}^{I(II)})$,

i = 1, 2, …N,

N – число характерных потребителей.

Произведем расчет потерь напряжения и отклонения напряжения для распределительной сети 10кВ.

Рис 1. Схема распределительной сети

Часы максимума центра питания: 8^{30} - 10^{00}, 19^{30} - 22^{00}.
Все расчеты занесем в таблицы. Расчеты производим для зимнего периода.

Табл. 1. Потери напряжения в трансформаторах 10/ 0,4 кВ на зимний период

№ ТП	трансформатор													
	№ тр-ра	Sном / Iном кВА / А		ВН / НН кВ / кВ		нагрузка				cosφ	ΔUт.ном, %	ΔU'т %	ΔU''т %	№ ответвления	Ет, % факт
						измеренная		расчетная							
						I, A	дата, время	I'гу, А	I''гу, А						
1	2	3		4		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ТП-1	1	250	14,4	10	0,4	6,00	21.00	6,30	0,80	0,94	2,84	1,24	0,16	1	0,0
ТП-2	1	250	14,4	10	0,4	10,00	09.50	10,50	2,10	0,94	2,84	2,07	0,41	2	2,5
ТП-3	1	320	18,5	10	0,4	4,00	20.00	4,00	0,50	0,94	2,75	0,59	0,07	1	0,0
	2	320	18,5	10	0,4	3,80	20.00	3,80	0,40	0,94	2,75	0,56	0,06	1	0,0
ТП-4	1	630	36,4	10	0,4	8,20	20.00	8,20	1,80	0,94	2,96	0,67	0,15	1	0,0

Табл 2. Потери напряжения в линиях 10 кВ распределительной сети ЦП на зимний период

№ п/п	№ ТП	№ тр-ра	режим нагрузки ЦП	minΔU'нн, minΔU"нн %	maxΔU'нн maxΔU"нн %	ΔU'т, ΔU"т %	ΔU'сн, ΔU"сн %	ΔUсн + ΔUт, %	Ет, % скор
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТП-1	1	наиб	0,37	4,28	1,24	0,377	1,619	
			наим	0,08	0,88	0,16	0,045	0,203	
2	ТП-2	1	наиб	1,33	1,63	2,07	0,471	2,542	2,5
			наим	0,08	0,27	0,41	0,057	0,471	
3	ТП-3	1	наиб	1,19	3,47	0,59	0,367	0,961	
			наим	0,15	0,76	0,07	0,044	0,119	
4	ТП-3	2	наиб	0,74	1,66	0,56	0,367	0,932	
			наим	0,08	0,37	0,06	0,044	0,104	
5	ТП-4	1	наиб	1,67	6,31	0,67	0,316	0,983	
			наим	0,24	1,39	0,15	0,038	0,184	

Табл. 3. Допускаемые граничные значения отклонений напряжения в точке общего присоединения ТОП распределительной сети

№ п/п	ТП: № или наименование	Режим нагрузки ЦП	$\delta U_{\pm}$ в точке передачи, %		$\Delta U_{у}^{I(II)}$,%		$E_{ткор}$, %	δU'в,цп δU"в,цп	δU'н,цп δU"н,цп	$\frac{\min\Delta U_{бу}^{I}}{\min\Delta U_{бу}^{II}}$	$\frac{\max\Delta U_{уу}^{I}}{\max\Delta U_{уу}^{II}}$	$\frac{\min\delta U_{в.цп}^{I}}{\min\delta U_{в.цп}^{II}}$	$\frac{\max\delta U_{н.цп}^{I}}{\max\delta U_{н.цп}^{II}}$
			верхнее	нижнее	ближ...	удал.							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	ТП-1	наиб.	+10	-10	1,987	5,897		11,987	-4,103				
		наим.			0,285	1,085		10,285	-8,915				
2	ТП-2	наиб.	+10	-10	3,871	4,171	2,5	11,371	-8,329			11,371	
		наим.			0,547	0,737		8,047	-11,763			8,047	
3	ТП-3	наиб.	+10	-10	2,147	4,427		12,147	-5,573				
		наим.			0,264	0,874		10,264	-9,126				
4	ТП-3	наиб.	+10	-10	1,667	2,587		11,667	-7,413	1,667			
		наим.			0,184	0,474		10,184	-9,526	0,184			
5	ТП-4	наиб.	+10	-10	2,656	7,296		12,656	-2,704		7,296		-2,704
		наим.			0,428	1,578		10,428	-8,422		1,578		-8,422

По результатам измерений и расчетов, приведенных в таблицах 1, 2 для распределительной сети ЦП выбран оптимальный перечень пунктов контроля/мониторинга отклонений напряжения, указанный в таблице 4.

Табл. 4. Перечень пунктов мониторинга отклонений напряжения

№ п/п	Наименование ПК	Допускаемые граничные значения δU,%, в режимах			
		наибольшей нагрузки ЦП		наименьшей нагрузки ЦП	
		Верхнее допустимое	Нижнее допустимое	Верхнее допустимое	Нижнее допустимое
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1	ЦП	**11,37**	**-2,7**	**8,05**	**-8,42**
2	ТП-2	**11,37**	**-8,33**	**8,05**	**-11,76**
3	ТП-4	**12,66**	**-2,7**	**10,43**	**-8,42**

Выводы:

1) Рассмотрены и проанализированы методы оценки потерь напряжения в распределительных сетях.

2) Произведен расчет потерь напряжения и отклонения напряжения для распределительной сети 10кВ.

3) По результатам измерений и расчетов выбран оптимальный перечень пунктов контроля/мониторинга отклонений напряжения для распределительной сети 10 кВ.

Литература

1. СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ (ПТЭ).

2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. М.: НУ ЭНАС, 2002. 280с.

4. Воропай Н.И. Предпосылки и перспективы развития распределенной генерации в электроэнергетических системах // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: сб. докл. Всерос. н.-т. конф. Благовещенск, октябрь 5-7, 2005.

И.Ю. Кошкин, студ., И.А. Павлов, студ.; рук. Н.Ш. Чемборисова, д.т.н., проф.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москва)

УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ТОПОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ СЕТИ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЕЁ РАБОТЫ

Электроэнергетическая система (ЭЭС) непрерывно подвергается воздействию возмущений различной природы, которые вызывают изменения параметров режима – реакции ЭЭС. Одним из таких параметров являются потери активной мощности. Этот параметр является одним из показателей, которые наиболее объективно отражает экономичность работы электросетей.

В современных рыночных условиях России задача снижения потерь электроэнергии стоит остро, так как текущие значения потерь электроэнергии при её транспортировке не отвечают требованиям положений «Энергетической стратегии до 2030 года». В связи с этим целью в работе ставится минимизации потерь активной мощности при транспортировке электроэнергии.

Так как чувствительность ЭЭС к возмущениям зависит не только от величины и места его приложения, но и от конфигурации схемы сети и её параметров, то решение такой задачи видится в поиске наиболее чувствительных к внешним воздействиям параметров (сенсоров) схемы, позволяющим повысить управляемость режима.

Методы определения слабых мест в сети, которые наиболее ответственны за появление сенсоров, описаны в [1]. Их преимуществом является возможность определить сенсоры аналитическими методами исследования ЭЭС и её параметров. Еще одним аналитическим методом выявления сенсоров является метод сальдо-проводимостей [2].

Известно, что нормализация уровней напряжения с использованием ранжированного по степени «жёсткости» списка узлов, то есть повышение управ-

ляемости режима, позволяет одновременно уменьшить потери активной мощности в сети [2]. При этом под «жесткостью» узла понимают способность узла поддерживать напряжение на своих шинах при изменении его нагрузки на условную единицу. Противоположное свойство определяется как сенсорность. Такое ранжирование производится с помощью значений мнимых составляющих матрицы узловых проводимостей. При этом под критерием «жёсткости» узла понимается разница ΔB_{ii} между значением собственной мнимой проводимости B_{ii} узла и суммой его взаимных B_{ij} мнимых проводимостей:

$$\Delta B_{ii} = \sum_{j=1}^{m} B_{ij} \text{ , где } m \text{ - количество присоединений в } i\text{-м узле.}$$

Чем меньше значение разницы ΔB_{ii}, тем жёстче (ёмкостной характер) i-й узел. Ранжирование узлов по такому признаку позволяет выявить жёсткие и сенсорные узлы до расчета установившихся режимов.

В качестве объекта исследования был выбран небольшой, достаточно наглядный фрагмент электрической схемы районной сети с трансформаторными связями классов напряжения 220/110/10 кВ (рис. 1).

На первом этапе была составлена схема замещения системы, граф сети которой приведен на рис. 1. По схеме замещения был подготовлен Т-список, содержащий всю необходимую информацию для составления матрицы узловых проводимостей: соединение узлов и ветвей, проводимости ветвей, коэффициенты трансформации.

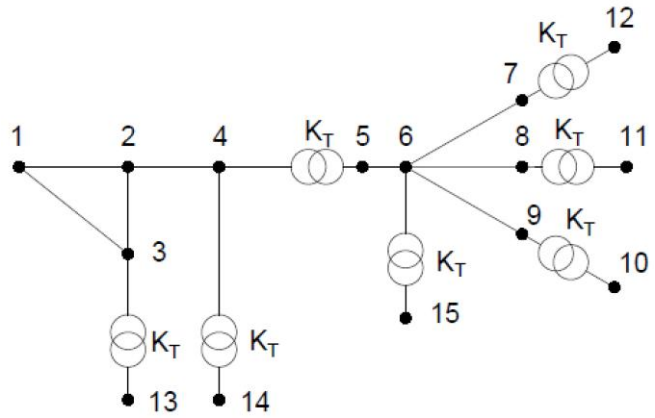


Рис. 1. Граф исследуемой сети.

На втором этапе с использованием программы Matlab составлялась матрица узловых проводимостей. Трансформаторные ветви учитывались введением в запись матрицы узловых проводимостей коэффициентов трансформации.

На основе полученной матрицы узловых проводимостей был составлен ранжированный список нагрузочных узлов (13, 14, 15, 12, 11, 10), представленный в таблице 1.

Табл. 1. Ранжированный список нагрузочных узлов.

Тип узла	←жёсткие узлы					сенсорные узлы→
№ узла	13	14	15	12	11	10
ΔB_{ii}, См	-34,298	-13,285	-3,691	-2,364	-2,364	-1,382

На третьем этапе в программном комплексе RastWin производился анализ влияния жесткости узла на значения активных потерь в сети. Поочерёдно для каждого нагрузочного узла снижалось значение потребляемой реактивной мощности на 50% по сравнению с исходным режимом при сохранении мощности нагрузки остальных узлов неизменной. На основании расчёта при каждом возмущении определялись значения суммарных активных потерь в сети ΔP_{Σ}. Результаты приведены в виде диаграммы на рис. 2.

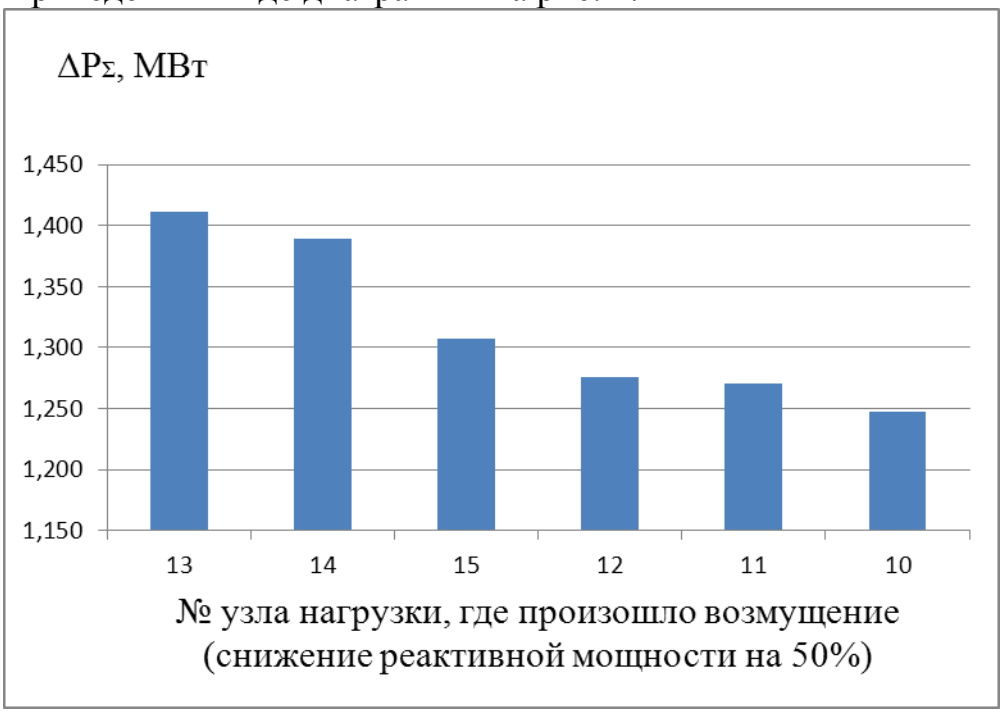


Рис. 2. Изменение потерь активной мощности.

Таким образом, расчёт установившихся режимов в RastrWin подтвердил, что предлагаемое ранжирование узлов аналитическим методом было справедливым.

Анализ полученных результатов показывает, что оптимизацию режима по критерию минимизации потерь активной мощности в сети необходимо проводить с учётом ранжированного по степени «жёсткости» списка узлов, так как изменение реактивной мощности в наименее жестких узлах приводит к наиболее значимому эффекту снижения потерь.

Далее рассматриваются результаты сравнения четырех вариантов схем подходящей конфигурации с последующим выбором наиболее экономически выгодной.

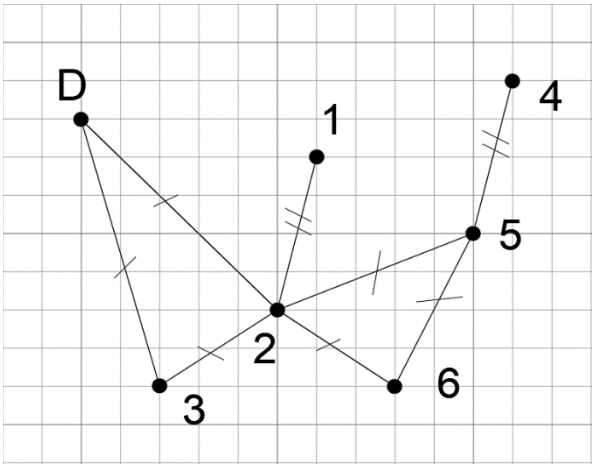


Рис. 3а. Схема 1

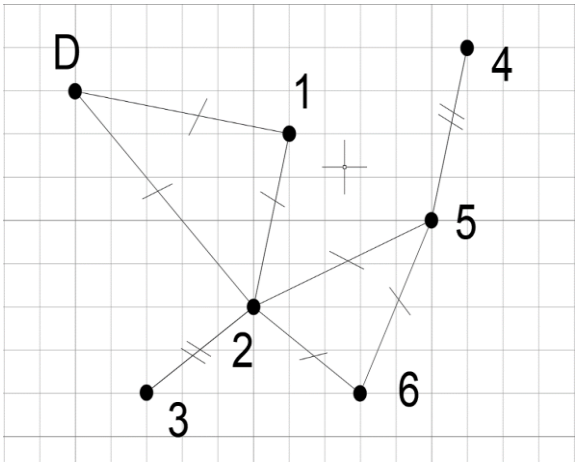


Рис. 3б. Схема 2

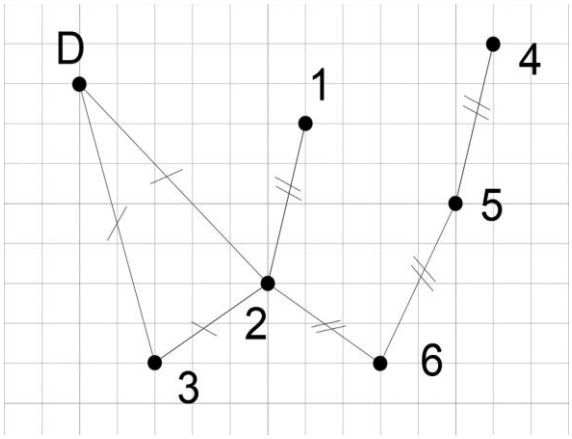


Рис. 3в. Схема 3

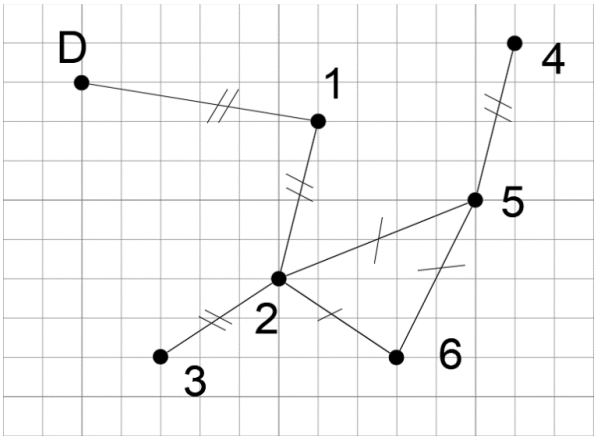


Рис. 3г. Схема 4

В таблице 2 приведены данные по дисконтированным затратам $З_д$ в соответствующих вариантах схем, суммарным значениям потерь активной мощности в сети высокого напряжения $\Delta P_н$, суммарным ежегодным издержкам на возмещение потерь $И_{потΣ}$, ущербами от работы с неоптимальными уровнями напряжения $\Delta З$.

Таблица 2.

Вариант схемы	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
$З_д$, тыс. руб.	2508117,15	2483833,38	3310476,56	4371170,09
$\Delta P_н$,МВт	5,542	5,263	6,692	6,123
$И_{потΣ}$, тыс. руб/год	85186,2	81630,74	101704,06	93531,31
$\Delta З$, %	15,59	62,78	31,85	0

Сопоставление данных в таблице 2 позволяет сделать вывод, что схема 2 наиболее экономически выгодна. Также можно заметить, что во 2-й схеме наименьшие потери активной мощности, следовательно меньшие затраты на возмещение потерь. Однако, выбор схемы электрической сети- это комплекс задач, и технико-экономического сопоставления может быть недостаточно для определения оптимального решения. Если, например, принять за оптимальное значение напряжение в сети $U_0 = U_{\text{ном}}$, то по результатам расчета режима в RastrWin3 в узлах сети напряжение, отличающееся от $U_{\text{ном}}$ и выше него, негативно сказывается на изоляции электрооборудования и приводит к его ускоренному старению. Также нужно считаться и с потребителями. Для крупных потребителей отклонение напряжения от оптимального вне 5%-го диапазона связано с еще большими затратами относительно оптимальных. Это следует из следующих формул:

$$З = З_{\text{о}} + \frac{\partial З}{\partial \Delta U} \cdot \Delta U + \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial З^2}{\partial^2 \Delta U} \cdot \Delta U^2 + \ldots + \frac{1}{N!} \cdot \frac{\partial З^n}{\partial^n \Delta U} \cdot \Delta U^n,$$

$З_o$ - оптимальные затраты потребителя.

$$\Delta U = U_i - U_0,$$

U_0 - оптимальный уровень напряжения для потребителя, принимаемый $U_{\text{ном}}$.

$\frac{\partial З}{\partial \Delta U} = 0,$ так как исследуем экстремум.

Получаем:

$$З - З_{\text{о}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial З^2}{\partial^2 \Delta U} \cdot \Delta U^2,$$

$$K = \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial З^2}{\partial^2 \Delta U}$$

$$\Delta З \cong K \cdot \Delta U^2,$$

Таким образом, затраты состоят из постоянной части и вынужденной. Постоянная часть не зависит от напряжения и на нее режим сети не влияет, вынужденная же часть как видно из данного вывода имеет нелинейную квадратичную зависимость от напряжения. Рассматривая приведенные схемы сети, по результатам расчета режима в RastrWin3, в узлах сети 110 кВ 2го варианта уровень напряжения выше, чем в остальных вариантах сети. В связи с приведенным расчетом $\Delta З$, получим, что затраты потребителя в схеме 2 больше относительно схемы 4 на 62,78%.

Список литературы

1. Анализ неоднородностей электроэнергетических систем / О.Н. Войтов, Н.И. Воропай, А.З. Гамм и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 256 с.

2. Лопатин О.А., Чемборисова Н.Ш. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО. 2011. № 3. С. 10-12.

А.Ш. Маджидов, асп.
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Москве)

САМОЗАПУСК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ

При коротких замыканиях (к.з.) в сети, напряжение на выводах асинхронных двигателей (АД) собственных нужд (с.н.) тепловых электростанций (ТЭЦ) уменьшается. При глубоких и длительных провалах, скорость вращения АД снижается, а в сети напряжением 0,4 кВ возможны также самопроизвольные отключения магнитных пускателей (МП) и контакторов (К), что может приводить к остановке технологического оборудования электростанций и отключению генераторов от электрической сети.

Целью исследований является определение влияния провалов напряжения, вызванных к.з. разной электрической удаленности от шин с.н. напряжением 0,4 кВ, на возможность успешного самозапуска АД.

Исследование выполнено на примере системы электроснабжения напряжением 0,4 кВ ТЭЦ №1 города Душанбе Республики Таджикистан [4].

Собственные нужды ТЭЦ – комплекс вспомогательного электрического оборудования электростанции, обеспечивающего бесперебойную работу её основных агрегатов (паровых котлов, турбогенераторов). Одним из основных требований, предъявляемым к схемам электроснабжения с.н., является обеспечение самозапуска наиболее ответственных механизмов при восстановлениях питания в сети с целью сохранения целостности технологического процесса и обеспечения необходимого уровня безопасности [1, 2, 3].

Особенностью АД 0,4 кВ с.н. является то, что они управляются с помощью К и МП, имеющих свойство самопроизвольно отключаться при глубоком снижении напряжения (провал напряжения) на катушке управления [1, 2, 3].

Условия самопроизвольного отключения К и МП, при провалах напряжения на катушке управления зависят от их конструкции, от состояния магнитной и регулировки контактной систем, и меняется в достаточно широких пределах от 0,60 до 0,35 от номинального напряжения [5].

Для анализа работы АД при провалах напряжения, их процессов выбега и самозапуска, была разработана модель АД с.н. с использованием программного обеспечения ETAP (Electrical Transient Analyzer Program, компания OTI США) [6], (рис.1).

Моделирование проводилось для АД марки А2-91-4, параметры которого напряжение $U_{ном}$=6,3 кВ; мощность $P_{ном}$=200 кВт; ток $I_{н}$=300 А; частота f=50 Гц; скорость вращения $n_{ном}$=1000 об./мин; сопротивление обмотки статора R_1=0,5 Ом; приведенное сопротивление обмотки ротора R_2=0,58 Ом; собственная индуктивность обмотки статора L_1=0,02 Гн; приведенная собственная индуктивность обмотки ротора L_2=0,0003Гн; взаимная индуктивность обмоток статора и ротора $L_{1,2}$ =1,06Гн.; WC1 – обеспечивает варьирование удаленности к.з.; WC2 и MA1 – замещает группу АД, подключенных к шинам (насосный агрегат с

мощностью равной сумме одновременно работающих АД секции шин); WC3 и MA2 цепь АД проверяемого по условиям самозапуска и по условиям удержания контактов МП (QS2).

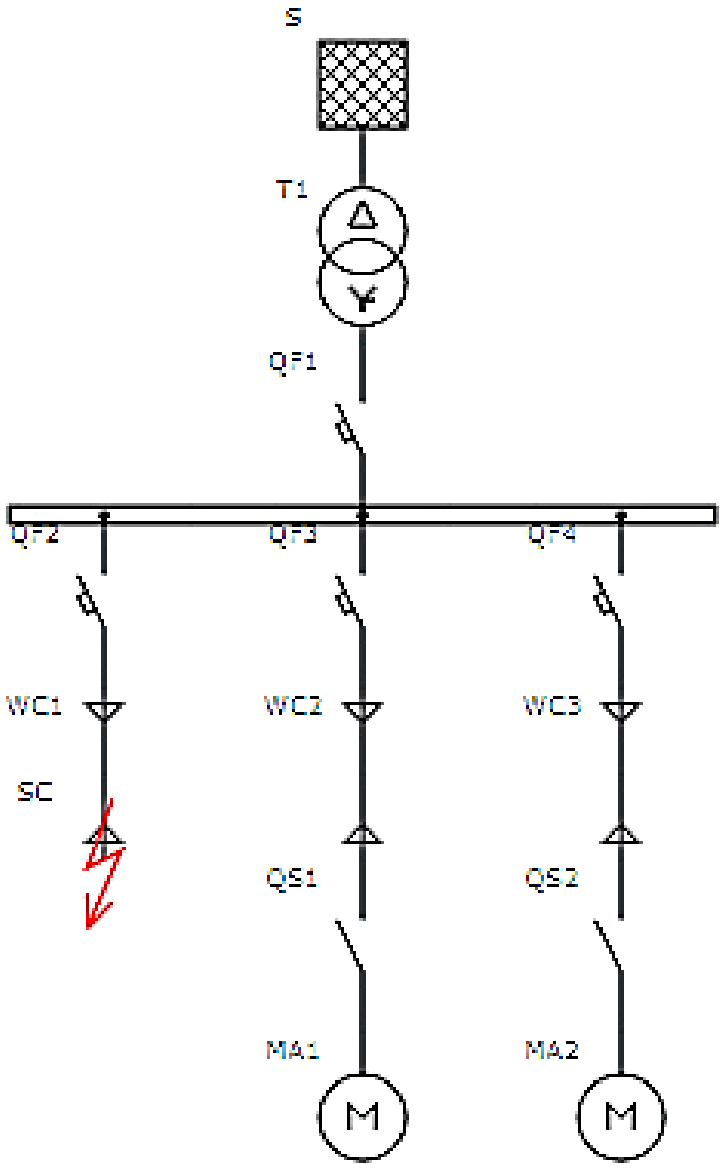


Рис. 1. Модель асинхронного двигателя собственных нужд

На рис. 2 приведены выборочное результаты выбега и самозапуска АД при моделировании различных интервалов времени перерыва питания, и приведены расчетные кривые, отражающие успешный самозапуск АД при значительном уменьшении скорости вращения ротора. Успешный самозапуск АД возможен и при скорости вращения АД меньше полусинхронной. До начала возникновения переходного процесса принято, что АД работал в номинальном режиме. В момент времени $t = 0$ с происходит прекращение электроснабжения узла нагрузки, а через время $t_{\text{пер}}$ – его возобновление. Следует отметить, что полный выбег АД (кривая l) возможен при скорости вращения больше полусинхронной скорости. Возможность выбега или успешность самозапуска для каждого случая

индивидуальна и зависит как от характеристик нагрузки, так и от параметров АД.

Основные допущения, принятые при моделировании:

- — время аварии (отсутствия напряжения питания АД) — 2,5с;
- — основным пакетом моделирования был выбран пакет структурного моделирования электротехнических устройств и систем в ETAP, позволяющий моделировать сложные многодвигательные системы;
- — пуск и самозапуск двигателей осуществляется совместно с нагрузкой на валу;

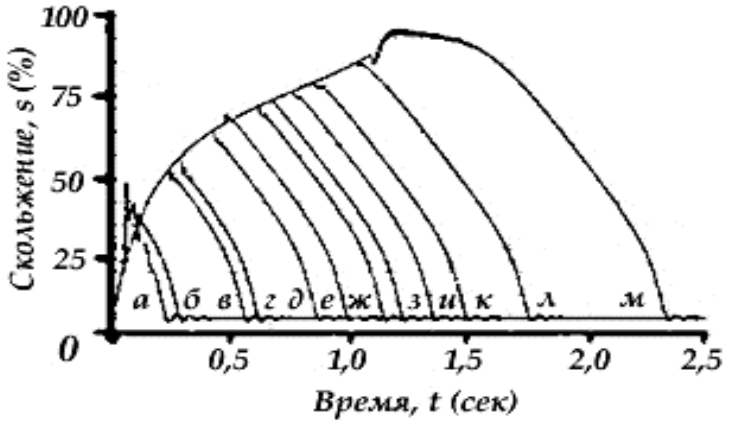


Рисунок 2 – Расчетные кривые выбега и самозапуска АД при разном интервале времени перерыва электроснабжения

а) $t_{пер}$=0,25с; б) $t_{пер}$=0,3с; в) $t_{пер}$=0,55с; г) $t_{пер}$=0,65с; д) $t_{пер}$=0,85с; е) $t_{пер}$=0,1с; ж) $t_{пер}$=1,2с; з) $t_{пер}$=1,3с; и) $t_{пер}$=1,4с; к) $t_{пер}$=1,5с; л) $t_{пер}$=1,75с; м) $t_{пер}$=2,4с;

Успешность самозапуска и его длительность в значительной степени зависит от перерыва питания. С уменьшением паузы АД меньше тормозится, ограничиваются токи самозапуска и повышается напряжение на шинах в момент подключения источника питания, вследствие чего возрастает динамический момент и ускоряется восстановление номинальной частоты вращения.

Следует заметить, что если в узле нагрузки работает несколько АД примерно одинаковой мощности или они связаны одним технологическим (ответственным) процессом, где главной задачей является надежная, беспрерывная работа, то целесообразно использовать такую автоматику, которая учитывает расположение ротора в момент подачи напряжения на двигатель. Тем более что при некоторых условиях возникающий бросок электромагнитного момента способствует быстрейшему запуску АД.

С помощью программы ETAP исследованы длительности и глубины провалов напряжения на шинах с.н., вызванных удаленными дуговыми к.з., для наиболее ответственных механизмов с.н. с учётом характеристик удержания включённого состояния МП и К. Представлены результаты исследования вли-

яния электрической удаленности и продолжительности к.з. и вызванных ими провалов напряжения на АД и механизмы с различными характеристиками.

Литература

1. Электрические станции / А. К. Черновец, Изд-во Политехник., 2012. - 149с.
2. Электрическая часть электростанций / Под. ред. С. В. Усова, Л., «Энергия», 1977. – 556с.
3. Собственные нужды тепловых электростанций / Под. ред. Ю. М. Голоднова. – М.: Энерг-издат, 1991. – 272с.
4. Официальный сайт ОАХК «Барки Точик» [электронный ресурс]. URL:http://barqitojik.tj/about/dependents/generation/256/196292/ (Дата обращения: 25.02.2019)
5. Провалы напряжения в сетях промпредприятий. Минимизация последствий / В. С. Фишман, Новости Электротехники. - 2004. - № 6 (30).
6. Официальный сайт Electrical Transient Analyzer Program [электронный ресурс]. URL:https://etap.com (Дата обращения: 25.02.2019)

Д.Ю. Медведев, студ.; рук. Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ, НЕСИММЕТРИЧНО ЗАГРУЖЕННЫХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМИ ТОКАМИ

В связи с широким применением вентильных преобразователей, регулируемых приводов и других нелинейных электроприемников, а также частым возникновением несимметрии нагрузки, появляется проблема искажения формы напряжения в сети. В искажающих системах структура полной мощности становится более сложной. Поэтому актуальной является задача анализа полной мощности в системах, несимметрично загруженных несинусоидальными токами.

В случае симметричной трехфазной системы полная мощность определяется уравнением (1), согласно которому, её можно определить алгебраическим суммированием мощностей отдельных фаз.

$$S = S_A + S_B + S_C \quad (1)$$

При приблизительно симметричной системе напряжений можно алгебраическую полную мощность представить так же в виде:

$$S = S_A + S_B + S_C = U(I_A + I_B + I_C) \quad (2)$$

Другой модификацией полной мощности, часто используемой на практике для оценки потребления электрической энергии, является так называемая геометрическая мощность (рис. 1), определяемая выражением:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (P_A + P_B + P_C)^2 + (Q_A + Q_B + Q_C)^2 \quad (3)$$

Геометрическая полная мощность представляет собой геометрическую сумму активных фазных мощностей P_A, P_B, P_C и алгебраическую сумму реактивных фазных мощностей Q_A, Q_B, Q_C.

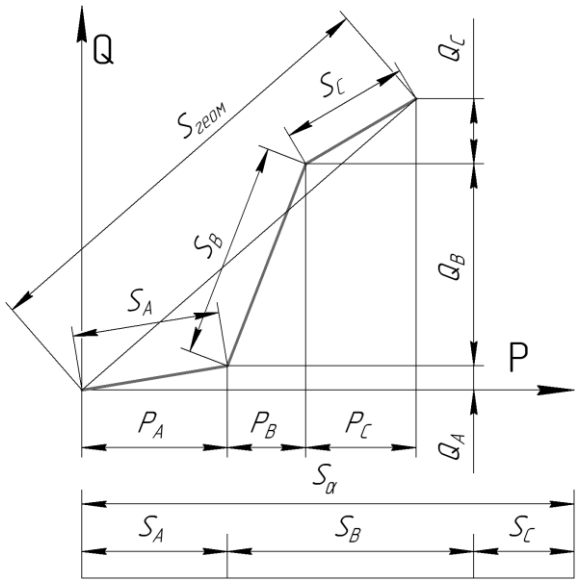


Рисунок 1 – Алгебраическая и геометрическая полная мощность в трехфазной системе

В технической литературе используется также определение полной мощности, которое можно описать уравнением:

$$S^2 = (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) \cdot (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2) \tag{4}$$

Называют эту величину действующей полной мощностью. Хотя такое определение полной мощности не соответствует общепринятым представлениям, из всех приведенных вариантов полная мощность, определенная таким образом, дает наилучшее решение для задачи учета потерь, вызываемых фазовым сдвигом, несимметрией нагрузок и наличием высших гармоник [1].

Уравнения (4) и (5) пригодны для определения полной мощности в трехпроводной системе с линейными нагрузками. Для наиболее общего случая нелинейной и несимметричной нагрузки в [1] было предложено использовать потери мощности в пассивных сопротивлениях системы *R*, вызванные несинусоидальными токами i_A, i_B, i_C в фазных проводах и током i_N в нейтральном проводе:

$$\Delta P_{\text{I}} = R \frac{1}{T} \int_0^T (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2 + n \cdot i_N^2) \cdot dt \tag{5}$$

где *n* – коэффициент, показывающий, во сколько раз сопротивление нулевого провода больше сопротивления фазного провода. Эквивалентный синусоидальный ток симметричный нагрузки при том же значении потерь в сопротивлениях сети имеет действующее значение $I_д$ определяемое из выражения:

$$I_д = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{T} \int_0^T (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2 + n \cdot i_N^2) \cdot dt} \tag{6}$$

Наибольшая активная мощность, которую можно передать с теми же потерями при тех же сопротивлениях, определяется действительной полной мощностью системы ($S_д \cdot \cos\varphi_д = P_д$).

$$S_д = 3U_д I_д = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2)dt} \times \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T (i_A^2 + i_B^2 + i_C^2 + n \cdot i_N^2) \cdot dt} \quad (7)$$

Отсюда видно, что в искажающей системе значение полной мощности зависит от степени несимметрии и искажения формы системы токов и напряжений.

Однако результаты можно представить в более наглядной форме, если принять, что система напряжений является симметричной и не содержит высших гармоник. Строго говоря, данное допущение не выполнимо, но с учетом требований к качеству напряжения [2], согласно которым значение коэффициента несимметрии напряжения не должно превышать 2%, а несинусоидальность – 5%, такое допущение может быть сделано.

Если в уравнении (7) токи и напряжение представить действующими значениями, то можно записать следующее уравнение для полной мощности:

$$S_д^2 = (U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) \cdot (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + nI_N^2) \quad (8)$$

Для симметричной системы напряжений $U_A = U_B = U_C = U$ это уравнение принимает вид:

$$S_д^2 = 3U^2 (I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + nI_N^2) \quad (9)$$

Если бы, кроме того, система токов была симметричной ($I_A = I_B = I_C = I; I_N = 0$) и не содержала высших гармоник, то

$$S_д = 3UI \quad (10)$$

Только в этом случае широко используемое определение полной мощности в однофазной системе (2) можно непосредственно применить в трехфазной системе.

Если разложить действующие значения несинусоидальных токов на действующие значения основных гармоник и действующие значения высших гармоник, то выражение для полной мощности в искажающей четырехпроводной системе имеет вид:

$$S_д^2 = 3U^2 \left[(I_{A_1}^2 + I_{B_1}^2 + I_{C_1}^2 + nI_{N_1}^2) + (\sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Bk}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Ck}^2 + n\sum_{k=2}^{\infty} I_{Nk}^2 \right] \quad (11)$$

Если далее сумму квадратов действующих основных гармоник тока $I_{A_1}, I_{B_1}, I_{C_1}, I_{N_1}$ выразить с помощью составляющих прямой, обратной и нулевой последовательности I_1, I_2, I_0, можно действительную полную мощность в трехфазной четырехпроводной системе выразить уравнением

$$S_д^2 = 3U^2 \left[(3I_1^2 + 3I_2^2 + 3(3n+1)I_0^2) \right] + 3U^2 (\sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Bk}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Ck}^2 + n\sum_{k=2}^{\infty} I_{Nk}^2) \quad (12)$$

Из анализа полученного уравнения видно, что действительная полная мощность содержит четыре группы мощностей.

Симметричная полная мощность:

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 . \quad (13)$$

Мощность пульсаций, вызванная токами обратной последовательности:

$$S_2 = 3UI_2. \tag{14}$$

Скрытая мощность, вызванная токами нулевой последовательности:

$$S_0 = 3UI_0. \tag{15}$$

Мощность искажения:

$$D^2 = 3U^2(\sum_{k=2}^{\infty} I_{Ak}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Bk}^2 + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Ck}^2 + n\sum_{k=2}^{\infty} I_{Nk}^2). \tag{16}$$

Тогда, действительную полную мощность трехфазной четырехпроводной искажающей системы можно записать в следующем виде:

$$S_д^2 = P_1^2 + Q_1^2 + S_2^2 + (3n+1)S_0^2 + D^2 \tag{17}$$

Структура действительной полной мощности показана на рис. 2. Величина $Q_д$ на рисунке представляет собой так называемую эквивалентную реактивную мощность, связанную с полной мощностью соотношением

$$P^2 + Q_д^2 = S_д^2. \tag{18}$$

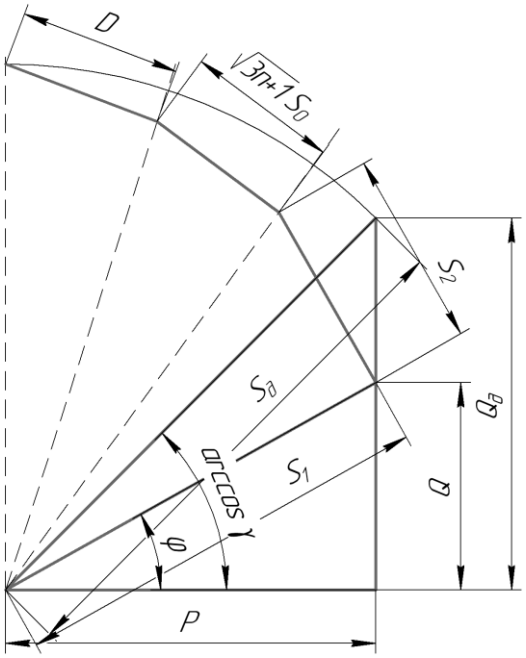


Рисунок 2 – Структура действительной полной мощности в трехфазной системе

Исходя из полученных результатов, физический смысл действительной полной мощности $S_д$ можно объяснить следующим образом. Полная мощность $S_д$ искажающей системы согласно термическому определению характеризует ту наибольшую активную мощность *P*, которую можно было бы передать в неискажающей системе при тех же потерях в тех же сопротивлениях.

Из (17) следует, что передача активной мощности *P* в искажающей системе сопровождается протеканием не только реактивной мощности *Q* (мощности в масштабе активной мощности), но и мощности пульсаций S_2, и скрытой мощности S_0 вызванными неуравновешенностью потребления (несимметрии нагрузки) и мощности искажения *D*, вызванной присутствием высших гармоник в системе токов.

Кроме активной мощности P все остальные перечисленные мощности являются мощностями, увеличивающими потери сопротивления системы и ограничивающими тем самым ее пропускную способность несмотря на то, что их среднее значение в течение одного периода основной гармоники равно нулю. Всё это приводит к большому увеличению потерь в элементах сети и искажениях результатов измерений в измерительных комплексах.

Таким образом получен достоверный способ измерения параметров трехфазных электрических сетей при несимметрии напряжений и нелинейной нагрузки сети, приводящей к большим искажениям синусоидальности токов и напряжений.

Литература

1. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – С. 27-35.
2. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16с.
3. Давыдов А. С., Попенака А. Н., Аникин В. В. Особенности измерения полной и реактивной мощности и энергии в электрических сетях. Український метрологічний журнал. – 2009. – №2.

Д.Н. Михайлов, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске, г. Смоленск)

ПРОЦЕСС ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 35-110 КВ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как и все электрическое оборудование, силовые трансформаторы нуждаются в периодической диагностике. По статистике, срок службы 60% всех трансформаторов уже подошел к концу, поэтому необходим их капитальный ремонт либо же полная замена. Другие 40% имеют срок эксплуатации еще около 18 лет а, значит, находятся в категории риска. Для контроля работающих силовых трансформаторов необходимо проводить их регулярную диагностику.

Ранее, чтобы провести диагностику трансформаторов, нужно было их демонтировать и доставить в специальную лабораторию. Следовательно, данная процедура тратила большие трудовые, временные и финансовые ресурсы. Сегодня приборы для диагностики позволяют провести все важные измерения на месте установки электрооборудования и оперативно получить все достоверные сведения о его состоянии.

Тепловизионный контроль силовых трансформаторов, как и диагностику проб масла, давно относят к числу основных методов анализа технического состояния оборудования [1]. Термографическая диагностика трансформаторов напряжением от 110 кВ выполняется для принятия решения о необходимости капитального ремонта. При наличии тепловизора с высокой разрешающей способностью (не хуже $0{,}05^0$С), возможно тепловизионное обследование внутрен-

них частей силового трансформатора, за счет проецирования перегретых элементов на корпус [2].

При осмотрах, измерениях и испытаниях оценивается состояние основных систем и элементов силовых трансформаторов [1]:

– поверхность бака трансформатора;

– поверхность высоковольтных вводов (с оценкой характера распределения температуры);

– внешние контактные соединения;

– система охлаждения (маслонасосы, вентиляторы, радиаторы);

– датчики температуры и уровня масла;

– термосифонные фильтры и маслорасширитель.

– высоковольтных вводов и внешних контактных соединений.

Ключевое превосходство тепловизионной диагностики над другими методами - контроль проводится на работающем оборудовании, без непосредственного контакта, объект находится под напряжением, при этом получают температуры не только отдельных точек, но и общую картину теплового поля электрооборудования. Диагностика занимает сравнительно небольшой по длительности временной отрезок и позволяет обнаружить повреждение оборудование на ранней стадии его развития [3].

Предварительно, перед началом измерений, с помощью специальных приборов определяют расстояние до объекта диагностики, а также температура окружающей среды [4]. Таким образом, тепловизионное обследование силового трансформатора позволяет получить обширную информацию об его работе. Чаще всего диагностика масла и тепловизионное обследование являются достаточными для определения технического состояния трансформатора. При выявлении дефектов проводят дополнительные контрольные исследования другими методами.

Рассмотрим примеры термографического обследования силовых трансформаторов [5]:

ТРДН — 63000/110/10 — вид трансформатора со стороны ВН

Рисунок 1 – Трансформатор ТРДН – 63000/110/10 (фотография и термограмма)

Радиатор системы охлаждения трансформатора ТРДН – 63000/110/10 не работает.

На термограмме, представленной на Рисунке 1 (справа), один из радиаторов которого холодный (на фото он темнее остальных). Были выдвинуты два предположения — забита одна из труб радиатора трансформатора или после предыдущего капитального ремонта закрыт клапан. После проведения вскрытия бака силового трансформатора (при последующем капитальном ремонте) было обнаружено, что действительно был перекрыт клапан.

Обследование вводов высокого напряжения ТРДН — 63000/110/10

Тепловое состояние и распределение температуры по поверхности покрышки ввода трансформатора ТРДН 63000/110/10 (Рисунок 2, слева):

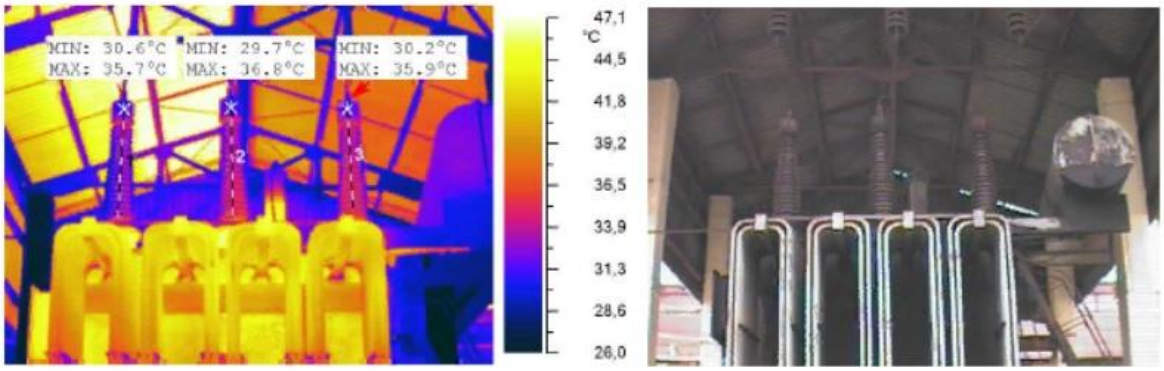


Рисунок 2 – Трансформатор ТРДН – 63000/110/10 (фотография и термограмма)

По распределению температуры по высоте высоковольтного ввода (Рисунок 3) можно определить характер повреждения или нарушения в работе силового трансформатора (Таблица 1):

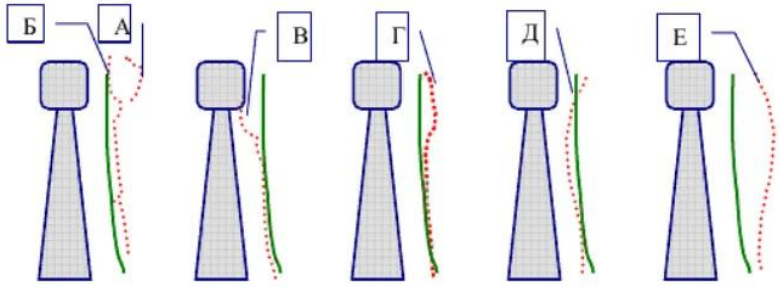


Рисунок 3 – Характер распределения температуры.

Таблица 1

Дефекты трансформатора по характеру распределения температуры

А	Наличие КЗ контура в расширителе
Б	Нагрев внутренних контактных соединений
В	Пониженный уровень масла
Г	Оголенный токопровод
Д	Нарушение циркуляции
Е	Увлажнение, повышенный тангенс

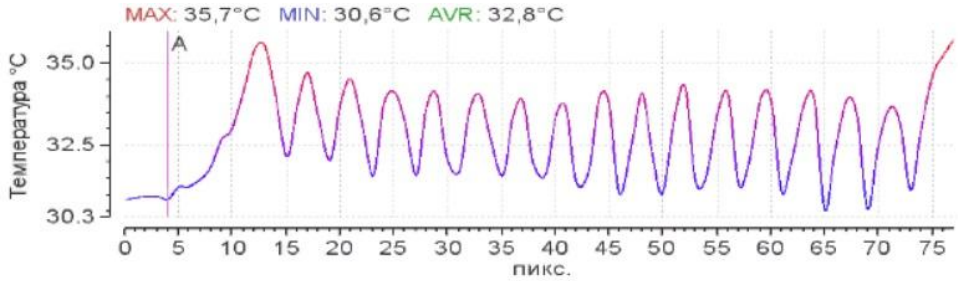


Рисунок 4 – График распределения температуры фазы А

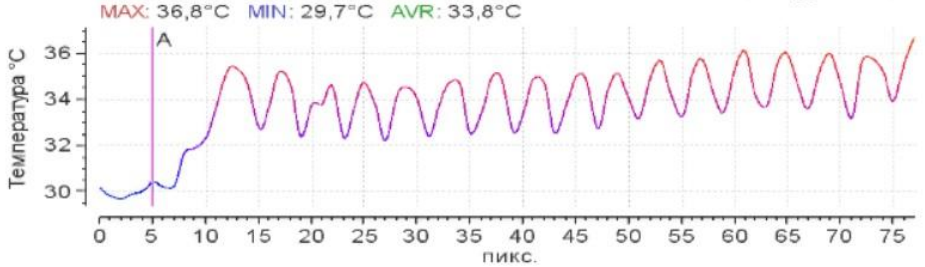


Рисунок 5 – График распределения температуры фазы В

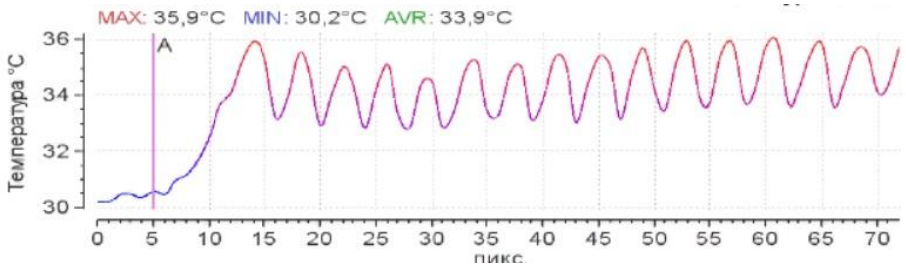


Рисунок 6 – График распределения температуры фазы С

На графике (Рисунок 4,5,6) продемонстрировано распределение температуры нагрева вдоль высоковольтного ввода. Каждая вершина на графике соответствует температуре ребра изолятора. Анализируя график, его структуру, можно судить о состоянии диагностируемого ввода. Конкретно по этому примеру – нарушений в работе трансформатора нет, общее состояние ввода – удовлетворительное.

Обследование термосифонного фильтра

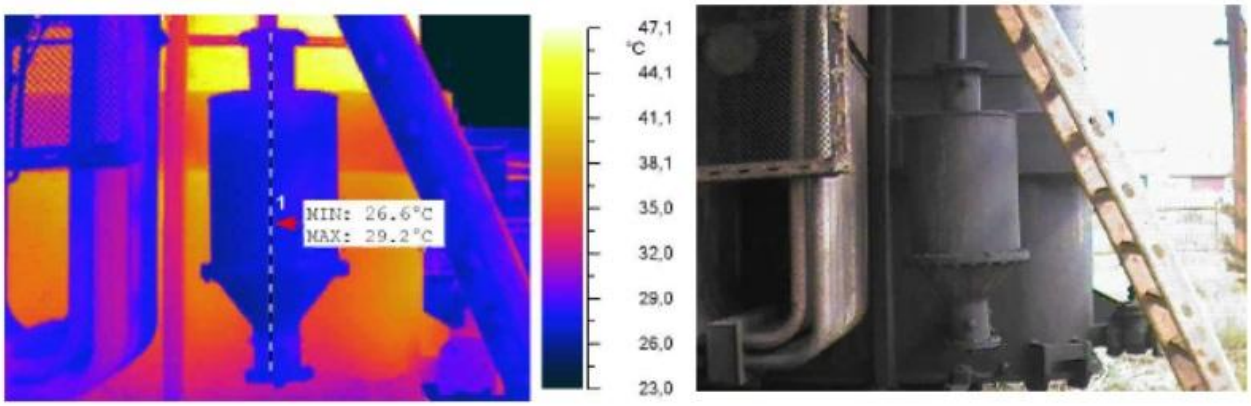


Рисунок 7 – Фотография и термограмма термосифонного фильтра

Таблица 2

Результаты измерений

	Температура бака ТФ	Заключение
Верхняя часть	29,2 ^{0}C	В норме
Нижняя часть	26,6 ^{0}C	
Разница верх-низ	2,6 ^{0}C	В норме

При исправном термосифонном фильтре должно наблюдаться плавное снижение температуры по высоте, как и на представленном примере (Рисунок 8). Уровень заполнения фильтра сорбентом определяется по перепаду температуры на поверхности ТФ. Перепад температур между верхней и нежней частью бака должен быть не ниже 2 ^{0}C (Таблица 2).

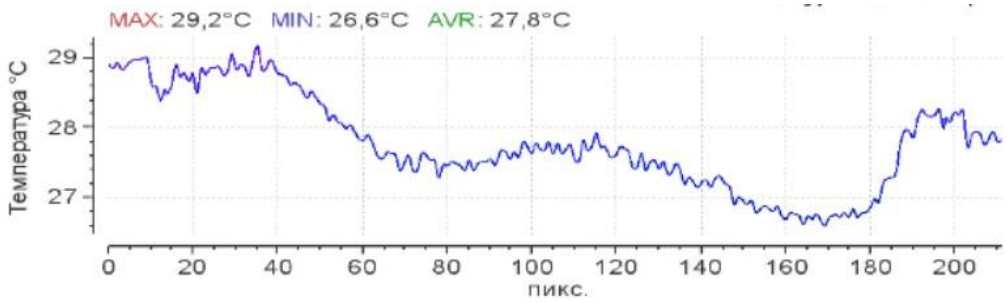


Рисунок 8 - График распределения температуры термосифонного фильтра

Рассмотренная в статье методика показывает, что на основании результатов тепловизионной диагностики можно проводить оценку состояния силового трансформатора, основываясь на требованиях "Объема и норм испытаний электрооборудования", а также позволяет отказаться от проведения ряда более сложных и дорогих испытаний. При этом значительно снижаются трудоемкость работ, исключается необходимость отключения оборудования для проведения испытаний, а также возрастает достоверность оценки состояния, так как, в отличие от традиционных методов, тепловизионные измерения проводятся под рабочим напряжением.

Литература

1. Сидельников Л.Г. Расчет Тепловизионнная диагностика силовых трансформаторов/ Л.Г. Сидельников, А.М. Седунин, А.Ю. Сыкулев — ООО «ТестСервис», Пермь. – Режим доступа: http://testslg.ru/images/pdf/12_teplovizionnnaya-diagnostika-silovykh-transformatorov.pdf

2. Тепловизионное обследование силовых трансформаторов. – Режим доступа: http://teplovizo.ru/teplovizionnoe-obsledovanie-silovyh-transformatorov.htm

3. Стандарт оценка технического состояния Электрооборудования и ЛЭП ПАО «МРСК ЦЕНТРА» СТО БП 10.2/02-05/2018 – Москва, 2018.- 54 с.

4. Методика Применение приборов тепловизионного контроля Flir Электротехнической лаборатории Западного участка диагностики филиала ПАО «МРСК Центра»-«Смоленскэнерго» - Смоленск: Изд-во «Типография Смоленскэнерго», 2017.-29 с.

5. Озерицкий И.М. Мир Диагностики. Диагностические и измерительные приборы. - Режим доступа: https://diaworld.ru.

А.В. Небогов, студ.; рук. С.В. Почечуев, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Планирование электропотребления на осеннее-зимний период имеет особую роль при составлении балансов электроэнергии и мощности как отдельных энергосистем, так и единой энергетической системы (ЕЭС) в целом.

Прогнозный баланс электроэнергии (мощности) на ОЗП формируется согласно[2]. Баланс электроэнергии (мощности) на ОЗП определяет прогнозные показатели функционирования ЕЭС России в период низких температур наружного воздуха. Он разрабатывается и утверждается ежегодно не позднее 25 июля.

Баланс электроэнергии на ОЗП разрабатывается по каждому месяцу в период с октября по март. Баланс мощности на ОЗП разрабатывается по каждому месяцу с декабря по февраль.

Задача составления прогноза на ОЗП является весьма важной для энергосистем, имеющих дефицит электрической мощности, то есть собственные электростанции (ЭС) не могут обеспечить необходимые объемы по выработке мощности, либо ЭС отсутствуют вовсе. Это приводит к потребности перетоков мощности из соседних регионов для покрытия дефицита снабжения. Определение ожидаемого электропотребления предоставляет возможность наперед определить требуемые объемы мощности и тем самым обеспечить надежное функционирование энергосистемы.

Рассмотрим возможности прогнозирования потребления мощности для территории Брянской области. Анализируется период 2013-2016 гг. Исходными для составления прогноза являются данные предшествующих потребления мощности, которые приведены в табл. 1. Исходные данные для мощностей являются максимальными по месяцам.

Таблица 1 – Максимумы потребления мощности

Месяц	Максимумы потребление мощности, МВт			
	2013	2014	2015	2016
Январь	798	793	723	755
Февраль	797	778	752	682
Март	761	677	699	664
Апрель	684	637	649	610
Май	533	596	591	541
Июнь	531	560	556	573
Июль	532	544	547	534
Август	551	548	548	515
Сентябрь	647	635	600	638
Октябрь	673	699	700	689
Ноябрь	695	742	703	742
Декабрь	784	755	697	730

В качестве прогнозирующей модели электропотребления используется математическое выражение, представленное периодическим рядом Фурье, т.е. в качестве функции предиктора применяется тригонометрическая функция:

$$Y(t) = a_0 + a_1 \cdot \cos(\frac{2\pi t}{T}) + a_2 \cdot \sin(\frac{2\pi t}{T}),$$

где T – период сезонных колебаний, равный 12 месяцам.

Эта модель позволяет учесть сезонные колебания прогнозируемого параметра.

А собственно сам прогноз составлен с помощью методов регрессионного анализа. Задачей данного анализа является отыскание наилучших со статистической точки зрения коэффициентов $a_0,...,a_n$ на основе имеющейся выборки $y_0,...,y_n$, которую можно связать со своими математическими ожиданиями следующей матричной системой уравнений:

$$Y = XA + E,$$

где Y – вектор наблюдений;

A – вектор искомых коэффициентов $a_0,...,a_n$;

E – вектор отклонений.

Результаты расчетов прогнозов значений максимальных мощностей в зависимости от глубины времени фактических данных приведены в табл. 2. По результатам прогнозов рассчитаны ошибки прогнозирования δ для 2016 года (рис. 1) по формуле:

$$\delta = \frac{Ф - П}{Ф} \cdot 100\%,$$

где $Ф$ – фактическое значение максимальной мощности потребления в соответствующем месяце;

$П$ – прогноз потребления мощности для соответствующих месяца и набора исходных данных.

Таблица 2 – Прогноз потребления максимальной мощности на 2016 г

Месяц	Прогноз по данным 2015 года	Прогноз по данным 2015+2014 годов	Прогноз по данным 2015+2014+2013 годов	Факт 2016 года
Январь	743,797	762,99	776,94	755,00
Февраль	728,27	741,68	755,57	682,00
Март	691,00	697,25	708,25	664,00
Апрель	641,957	641,60	647,67	610,00
Май	594,29	589,64	590,06	541,00
Июнь	560,76	555,29	550,85	573,00
Июль	550,37	547,76	540,56	534,00
Август	565,89	569,07	561,93	515,00
Сентябрь	603,16	613,50	609,25	638,00
Октябрь	652,21	669,15	669,83	689,00
Ноябрь	699,88	721,11	727,44	742,00
Декабрь	733,40	755,46	766,65	730,00

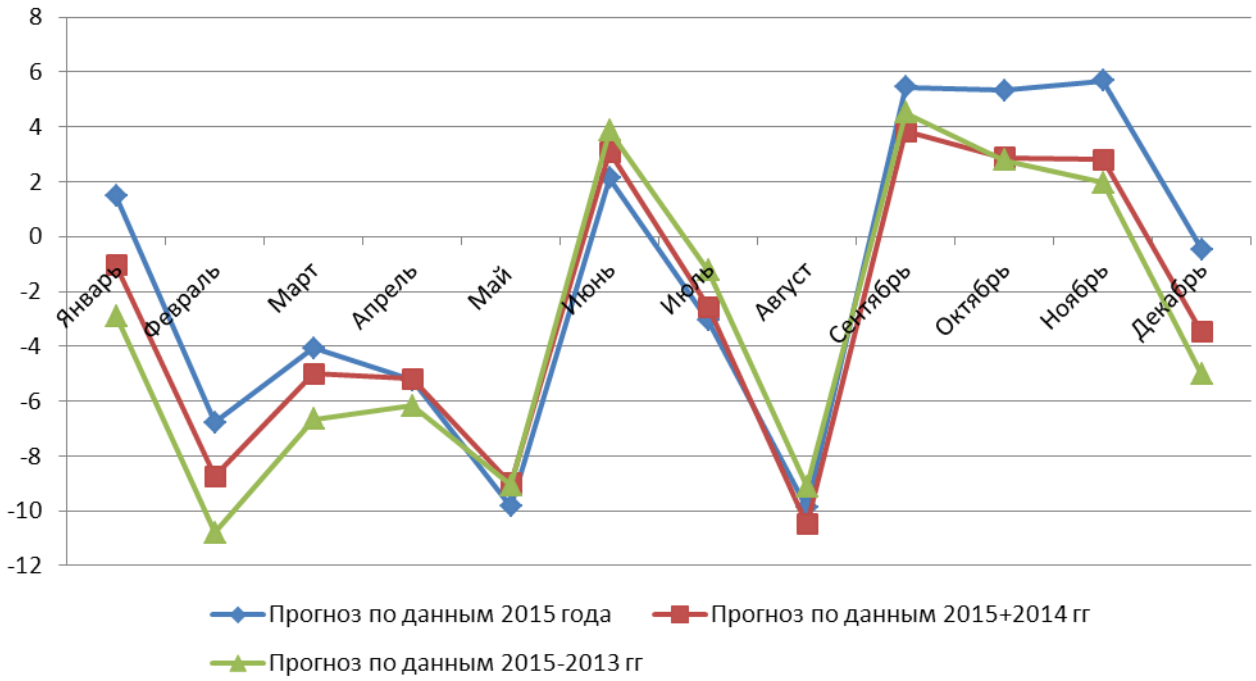


Рисунок 1 – Ошибки прогнозирования электропотребления в зависимости от глубины времени фактических данных

Все вышеизложенные данные позволяют сделать вывод, что значение ошибки для данного региона практически не изменяется при изменении глубины времени фактических значений, хотя в периоды пониженных температур однозначно дать ответ о данной зависимости нельзя. Поскольку прогноз выполняется на осенне-зимний период, то существенным фактором, оказывающим влиянием на величину максимума потребления мощности, является продолжительность сохранения низких температур. Поэтому для снижения ошибки прогнозирования необходимо также учесть также температуру наружного воздуха. Это позволит повысить точность по крайне мере на 0,1-0,4%[1].

Литература

1. Макоклюев Б.И., Антонов А.В., Полижаров А.С., Тупицин И.В., Гилева С.С. Влияние метеофакторов на режимы потребления электроэнергии энергосистем// Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: надежность либерализованных систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы, вып. 65, ИСЭМ СО РАН, 2015.-10 с.

2. Порядок формирования прогнозных балансов электрической энергии (мощности) на осенне-зимний период: приложение 3 к приказу ОАО «СО ЕЭС» от 20.07.2012 № 285 «О разработке прогнозных балансов»// Москва, 2012. – 9 с.

Ю.А. Опутина, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СТОИМОСТИ УСЛУГ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ

Проводится анализ стоимости услуг по передаче электрической энергии по региональным электрическим сетям и их доли в общей стоимости электрической энергии для потребителей.

Ключевые слова: услуги, передача электроэнергии, уровни напряжения, тарифы, ценовые категории.

Тема исследования актуальна, так как стоимость электрической энергии (ЭЭ) имеет важное значение как для электроэнергетических предприятий, так и для потребителей и оказывает влияние на развитие промышленного производства, энергетики, экономики и социальную стабильность.

Стоимость услуг на передачу и распределение электрической энергии составляет основную долю общей стоимости электроэнергии для потребителей и является предметом настоящего исследования. Установление тарифов на передачу электрической энергии по региональным электрическим сетям осуществляется органами государственного регулирования на долгосрочный (пятилетний) период на основе годовых затрат электросетевых предприятий предшествующих периоду регулирования. Кроме того, органы регулирования осуществляют ежегодную корректировку установленных тарифов с учетом результатов работы электросетевых предприятий и целевых показателей социально-экономического развития [1]. Таким образом, стоимость услуг по передаче и распределению электрической энергии является важным показателем определяющим параметры социально-экономического развития электроэнергетической отрасли, так и региона в целом.

Стоимость для конечного потребителя на электроэнергию формируется на основе нескольких составляющих (рис.1) [2]. Однако значимыми являются три из них: 1) стоимость покупки электроэнергии на оптовом рынке электроэнергии и мощности, 2) стоимость услуг на передачу и распределение электрической энергии и 3) сбытовая надбавка.

Основная часть электрической энергии покупается гарантирующими поставщиками (ГП) и независимыми сбытовыми организациям на сегменте рынка «на сутки вперед», а остальная – на «балансирующем» рынке в режиме реального времени. Гарантирующие поставщики реализуют купленную ими электрическую энергию и мощность на региональном рынке в соответствии с заключенными с потребителями договорами электроснабжения.

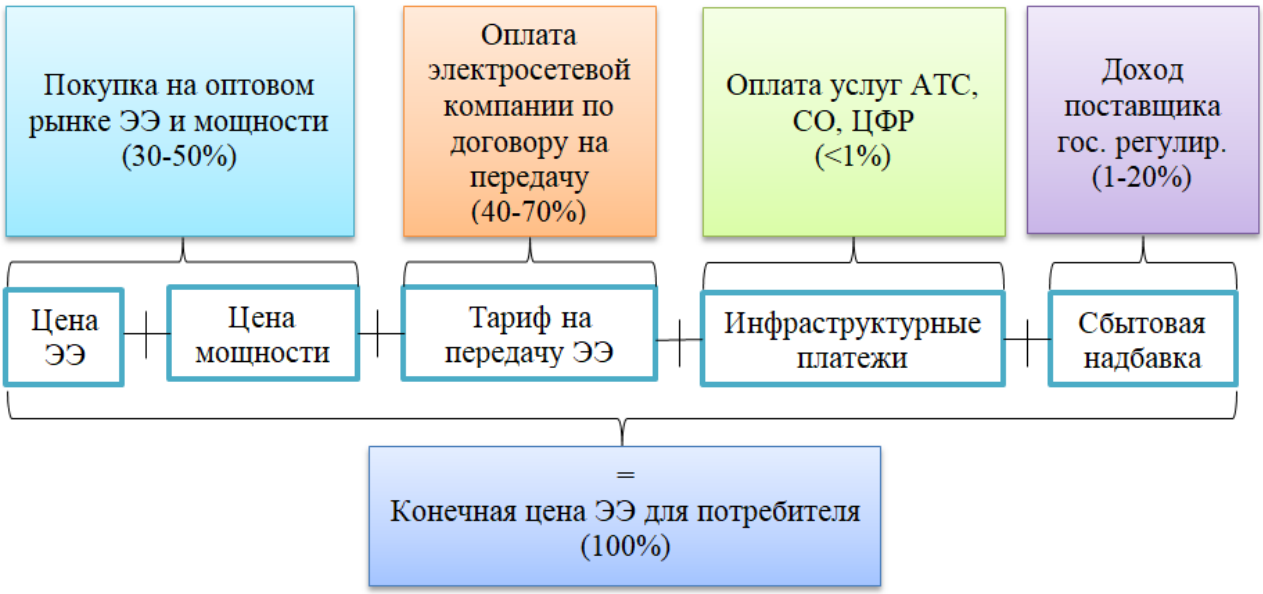


Рисунок 1 –Стоимость электроэнергии для конечного потребителя

Конечные цены на электрическую энергию и мощность дифференцируются в зависимости от выбранной предприятием или организацией ценовой категории, величиной заявленной максимальной мощности и уровня напряжения, к которому подключены электрические сети потребителей. В настоящее время для сетевых тарифов установлено четыре уровня напряжения: высокое - ВН (110 кВ и выше), первое среднее - СН1(35 кВ), второе среднее - СН2(20-1 кВ) и низкое - НН (0,4 кВ и ниже)[1].

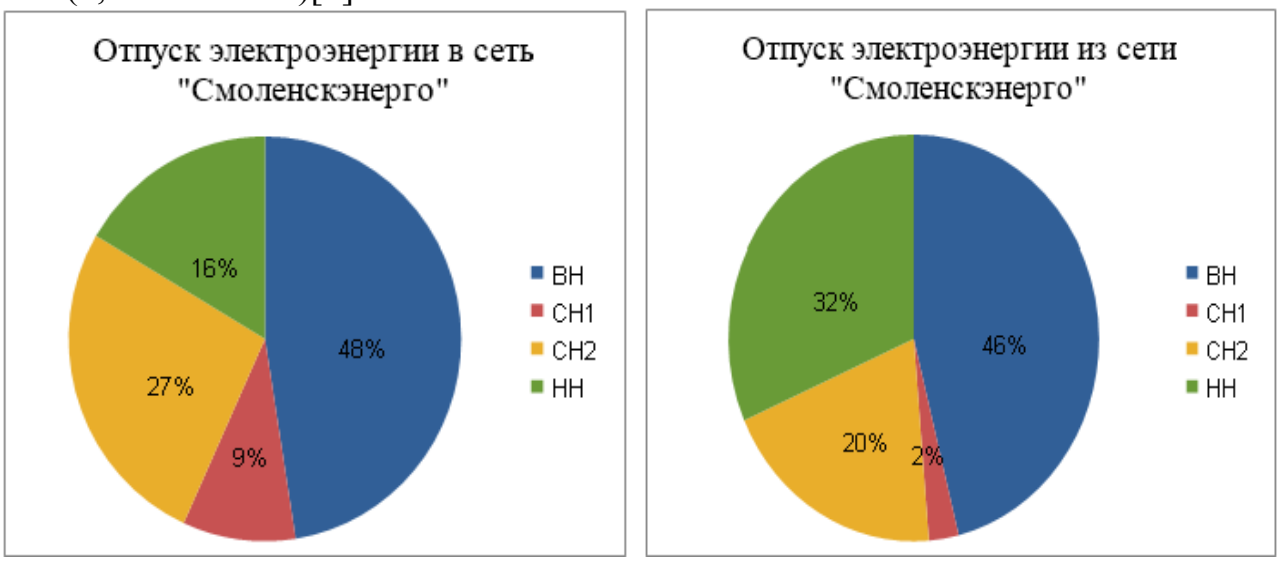


Рисунок 2 – Диаграммы отпуска электроэнергии в сеть и из сети сетевой компании по уровням напряжения на базе «Смоленскэнерго» на 2019 год

На рисунке 2 представлены диаграммы отпуска электроэнергии в сеть и отпуска электроэнергии из сети сетевой компании по уровням напряжения, используемых для ценообразования, потребителям ЭЭ и территориальным сетевым организациям, присоединенным к сетям сетевой организации на 2019 год на базе «Смоленскэнерго» [3]. Наибольшую долю занимает потребление ЭЭ через

сети высокого напряжения, обеспечиваемое функционированием крупных промышленных потребителей.

На величину средних тарифов на электроэнергию в регионе помимо ценовых параметров ЭЭ влияет также структура потребителей. Для исключения влияния данного фактора анализ региональных различий тарифов и цен на ЭЭ проводился также путем сравнения величины конкретных тарифов и цен в различных регионах.

Средние фактические тарифы на услуги по передаче ЭЭ по отдельным регионам Центрального федерального округа, представлены в таблице 1 и отличаются друг от друга весьма значительно [4]. Как видно из таблицы, при уровне напряжения ВН доля затрат на оплату услуг по передаче ЭЭ существенно ниже, чем на более низких уровнях. Это объясняется тем, что в передаче ЭЭ на более низком напряжении учитываются затраты на обслуживание всех электрических сетей, в том числе высоковольтных, участвующих в передаче ЭЭ. Анализ работ в области тарифной политики показывает, что наиболее эффективным путем снижения тарифов является развитие промышленного производства и рост электропотребления.

Таблица 1 – Единые (котловые) тарифы на услуги по передаче ЭЭ за I полугодие 2019 года некоторых филиалов ПАО «МРСК Центра»

Наименование филиала	Группа потребителей	Двухставочный тариф		Одноставочный тариф (руб./МВт*ч)
		Ставка за содержание электрических сетей (руб./МВт.Мес.)	Ставка за оплату потерь ЭЭ в сетях (руб./МВт*ч)	
Филиал «Брянскэнерго»	ВН	1285716,98	21,46	1916,15
	СН1	1430490,73	162,89	2282,14
	СН2	1527867,74	266,21	2962,45
	НН	1833344,00	1072,38	4336,03
Филиал «Курскэнерго»	ВН	936389,80	87,24	1449,95
	СН1	1875465,78	217,77	2822,82
	СН2	2018868,46	359,49	3608,27
	НН	2592951,60	957,32	4583,17
Филиал «Смоленскэнерго»	ВН	1039307,84	130,17	1755,7
	СН1	1961337,76	295,89	3261,79
	СН2	1865145,62	380,08	3326,97
	НН	1870863,70	805,2	4159,44
Филиал «Ярэнерго»	ВН	786343,05	75,88	1760,00
	СН1	1063215,91	302,77	1869,89
	СН2	1187940,63	344,28	2208,83
	НН	1843864,42	919,87	3916,70

Таблица 2 – Сбытовые надбавки «СмоленскАтомЭнергоСбыт» с 01 января 2019 года

Наименование показателя	Ед. изм.	Величина сбытовой надбавки
для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств менее 670 КВт	руб./МВт·ч	328,84
для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств от 670 КВт до 10 МВт	руб./МВт·ч	237,35
для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств не менее 10 МВт	руб./МВт·ч	237,35

Рассчитаем среднюю стоимость ЭЭ для потребителей Смоленской области, кроме населения, для которого тарифы устанавливаются органами государственного регулирования по не связанным с рассматриваемыми выше методиками. Для этого произведем расчет средневзвешенной стоимости услуг по передаче ЭЭ, умножив величину одноставочного тарифа на каждом уровне напряжения на долю отпуска ЭЭ потребителям этого уровня напряжения и сложив полученные результаты. Эта величина равна 3,13 руб./кВт·ч (66,5%). Средняя стоимость покупки ЭЭ на розничном рынке составит 1,34 руб./кВт·ч (28,5%) [5], а сбытовая надбавка – 0,24 руб./кВт·ч (5%) (таблица 2) [4].В итоге получим среднюю стоимость ЭЭ в первом полугодии 2019 года: 4,71 руб./кВт·ч. На рисунке 3 представлена структурная диаграмма средней стоимости ЭЭ для потребителей Смоленской области.

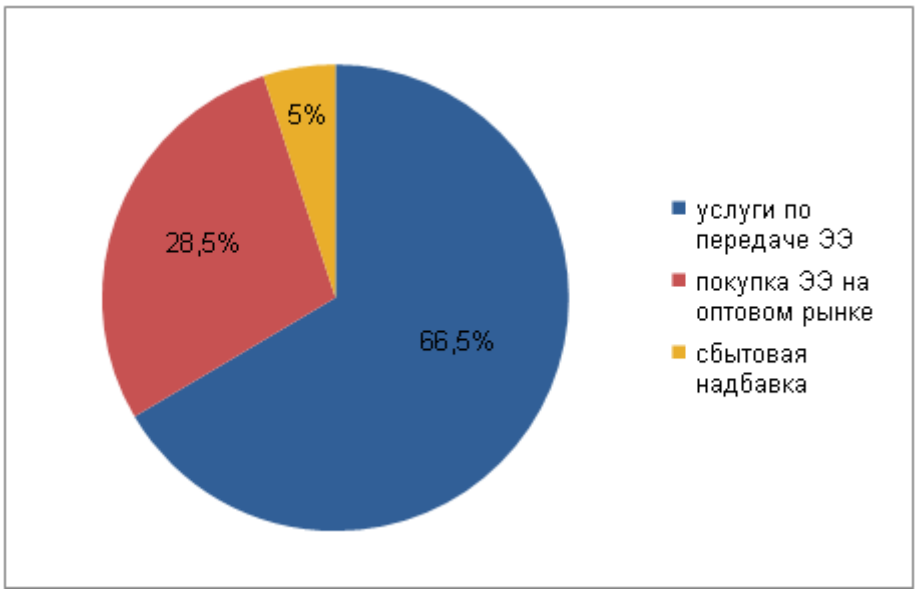


Рисунок 3 – Структурная диаграмма стоимости электроэнергии для конечного потребителя

Выводы:

1) В статье выполнен анализ формирования стоимости электрической энергии для потребителей Смоленской области в первом полугодии 2019 года.
2) Установлено, что наиболее значимой составляющей стоимости ЭЭ являются услуги по передаче ЭЭ по региональным электрическим сетям, доля которых равна 66,5%.
3) Проанализированы единые (котловые) тарифы на услуги по передаче ЭЭ за I полугодие 2019 года некоторых филиалов ПАО «МРСК Центра» и установлено их заметное различие по регионам и уровням напряжения.
4) Отмечено, что наиболее эффективным путем снижения тарифов является развитие промышленного производства и рост электропотребления.

Литература

1. Методические указания по расчету регулируемых тарифов и цен на электрическую (тепловую) энергию на розничном (потребительском) рынке, утверждённых Приказом Федеральной службы по тарифам от 6 августа 2004 г. N 20-э/2
2. Обзор электроэнергетической отрасли России - Краткая информация о компании EY, 2018 г. https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-power-market-russia-2018/%24FILE/EY-power-market-russia-2018.pdf
3. https://www.mrsk-1.ru/customers/additional-info/balance/
4. https://www.mrsk-1.ru/ru/clients/transmission/price/
5. https://atomsbt.ru/smolensk/o-kompanii/raskrytie-informatsii/tsena-na-elektricheskuyu-energiyu-differentsirovannaya-v-zavisimosti-ot-usloviy-opredelennykh-zakono/predelnye-urovni-nereguliruemykh-tsen.php

А.И. Парулин, студ.; рук. С.В. Почечуев, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРИОДА ЭКСТРЕМАЛЬНО-ВЫСКОИХ ТЕМПЕРАТУР

В последнее время участились аномальные природные явления, которые невозможно спрогнозировать заранее, но они являются определяющими при отклонении от прогнозируемых значений электропотребления. Летом связь потребления с t° наружного воздуха слабая, но если t° повышается выше некоторого порога, то из-за включения приборов кондиционирования и охлаждения наблюдается рост электропотребления, как и при похолодании.

Таким образом, можно выделить основные причины, по которым возникла необходимость разработки отдельного баланса на особый период – период экстремально высоких температур (ПЭВТ):

1. Прирост потребления мощности в летний период имеет опережающие темпы вследствие активизации использования электроэнергии в быту (холодильники, системы кондиционирования). Особенно характерно для южных

областей и регионов с большой долей населения и непромышленной сферы (Кубань, Москва, Санкт-Петербург…)

2. Зависимость ограничений располагаемой мощности электростанций от температуры.

3. Сезонное снижение рабочей мощности электростанций и пропускной способности электрических связей вследствие проведения ремонтной кампании субъектами электроэнергетики.

Основной целью прогноза на ПЭВТ является принятие обоснованных решений о возможности вывода в плановый ремонт генерирующего и электросетевого оборудования

Также стоит выделить основные особенности режимов в ПЭВТ:

1) Рост электропотребления при превышении определенных значений температуры.

2) Повышение температуры охлаждающей воды и увеличение ограничений располагаемой мощности по снижению вакуума на турбинах.

3) Большой объем мощности оборудования, находящегося в ремонте.

4) Снижение уровней рек. Снижение располагаемой мощности ГЭС из-за низких уровней водохранилищ и разгрузка ТЭС с прямоточной системой охлаждения из-за низких уровней рек.

5) Снижение пропускной способности ЛЭП

Основным руководящим документом для формирования прогноза является Приказ ОАО «СО ЕЭС» №280 от 19.07.12 «Порядок формирования прогнозных балансов мощности на период экстремально высоких температур (ПЭВТ)».

Прогнозный баланс мощности на период летней ремонтной кампании и экстремально высоких температур используется для определения возможности вывода в ремонт (консервацию) генерирующего и электросетевого оборудования. [1]

Баланс мощности на ПЭВТ разрабатывается и утверждается ежегодно не позднее 20 мая. Баланс мощности на ПЭВТ разрабатывается на июль и август текущего года. В качестве исходных данных для разработки балансов мощности на ПЭВТ используются уточненные помесячные показатели утвержденного прогнозного баланса мощности ОАО «СО ЕЭС».

В качестве прогнозирующей модели электропотребления для среднесрочного прогноза на ПЭВТ используем математическое выражение, представленное периодическим рядом Фурье, т.е. в качестве функции предиктора применяется тригонометрическая функция:

$$Y(t) = a_0 + a_1 \cdot \cos(\frac{2\pi t}{T}) + a_2 \cdot \sin(\frac{2\pi t}{T}), (1)$$

где T – период сезонных колебаний, равный 12 месяцам [2].

Для достижения эффективности функционирования электроэнергетических систем одним из важных параметров является точность прогнозирования потребляемой нагрузки.

На основе взятой модели исследуем зависимость ошибки прогноза потребления максимальной мощности от числа гармоник, входящих в формулу (1).

В качестве исходных данных для решения поставленной задачи используем значения потребленной максимальной мощности по Калужской области с 2013 по 2016 года. Данные представлены в табл.1.

Таблица 1 – Максимумы потребления мощности по Калужской области

Месяц	Максимумы потребление мощности, МВт			
	2013	2014	2015	2016
Январь	965	1126	1048	1049
Февраль	940	1039	1032	995
Март	922	944	958	964
Апрель	835	913	987	896
Май	655	860	876	837
Июнь	759	830	790	866
Июль	740	811	807	818
Август	768	829	827	822
Сентябрь	888	926	872	960
Октябрь	915	965	945	1044
Ноябрь	995	1081	1034	1107
Декабрь	1068	1057	1020	1113

Прогноз выполняется с помощью методов регрессионного анализа. Задачей регрессионного анализа является отыскание коэффициентов $a_0,...,a_n$ на основе имеющейся выборки $y_0,...,y_n$, которая представлена максимумами потребления мощности по выбранному региону[3]. Выборку можно связать с математическими ожиданиями матричной системы уравнений:

$$Y = XA + E, \quad (2)$$ где

A – вектор искомых коэффициентов $a_0,...,a_n$;

E – вектор отклонений.

Y – вектор наблюдений;

Результаты прогноза по обучающей выборке за 2016 год по Калужской области приведены в табл. 2 в зависимости от числа гармоник, входящий в тригонометрическую функцию-предиктор (1).

Таблица 2 – Прогноз потребления максимальной мощности на 2016 г в зависимости от числа гармоник функции-предиктор

Месяц	Число гармоник							Фактическое потребление
	2	3	4	5	6	7	8	
Январь	1049,71	1052,57	1062,21	1050,52	1037,21	1011,55	1019,45	**1049**
Февраль	1013,02	1015,94	1033,90	1010,41	994,67	956,60	972,34	**995**
Март	950,72	953,38	979,23	941,55	923,65	872,26	898,57	**964**
Апрель	879,5	881,55	913,96	860,30	840,76	775,70	815,35	**896**
Май	818,43	819,59	856,35	786,25	765,79	687,18	742,87	**837**
Июнь	783,88	783,96	822,28	736,95	716,49	624,78	699,07	**866**

Июль	785,12	784,08	820,93	723,48	703,89	599,77	695,06	**818**
Август	821,81	819,75	852,33	747,33	729,41	613,77	732,31	**822**
Сентябрь	884,11	881,30	907,38	800,24	784,56	658,58	802,43	**960**
Октябрь	955,34	952,11	970,32	866,40	853,29	718,36	889,48	**1044**
Ноябрь	1016,41	1013,12	1023,02	926,82	916,34	774,37	974,39	**1107**
Декабрь	1050,95	1047,93	1049,96	964,42	956,45	809,79	1040,041	**1113**

Далее произведем расчёт, определив, какая из данных функций наилучшая в смысле точности оценки потребления максимальной мощности [4]. Для этого рассчитаем отклонение фактических значений от расчетных значений по формуле:

$$S^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(y_{i-\text{гарм потр.}} - y_{\text{факт потр.}}\right)^2 (3)$$

Результаты приведены в табл. 3

Таблица 3 – Отклонение фактических значений от расчетных за 2016г в Калужской области

Число гармоник	S^2	Среднеквадратичное отклонение σ
2	2885,012	54
3	3053,928	55
4	2056,739	45
5	12280,27	111
6	15153,79	123
7	49738,08	223
8	11972,5	109

По результатам, приведенным в табл.3, можно сделать вывод о том, что прогнозирование с данной функцией предиктором следует выполнять с гармониками не выше 4. Также с увеличением количества гармоник, значение среднеквадратичного отклонения возрастает, что говорит о большем расхождении между фактическим и спрогнозированным значением электропотребления.

Литература

3. Приложение к приказу ОАО «СО ЕЭС» от 19.07.2012 № 280 «Порядок формирования прогнозных балансов мощности на период экстремально высоких температур»
4. Методика прогнозирования графиков электропотребления для технологий краткосрочного планирования. ОАО «СО ЕЭС». 2007 год. – Москва. – 10 с.
5. Воскобойников Ю. Е. Эконометрика в Excel : учеб. пособие. Ч. 2. Анализ временных рядов / Ю. Е. Воскобойников ; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2008. – 152 с.
6. Белый В.С., Н. Н. Адамушко. Применение рядов Фурье для прогнозирования технического состояния объекта. Научно-практический журнал Коломенского института (филиала) Университета машиностроения. – Коломна, 2015. – 4 с.

А.Ю. Пузырева, маг.; рук. В.С. Петров, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В современных энергетических системах значение релейной защиты возрастает в связи с ростом мощности энергосистем и объединением их в единые электрически связанные системы. Рост нагрузок, увеличение протяжённости ЛЭП, ужесточение требований к устойчивости энергосистем усложняют условия работы релейной защиты и автоматики (РЗА), повышает требования к ее быстродействию, чувствительности и надёжности. В связи с этим оценка эффективности использования микропроцессорных защит вместо электромеханических реле является важным и актуальным этапом внедрения их на современном уровне реализации защит.

Назначение устройств релейной защиты включает:

- определение места возникновения короткого замыкания и быстрое автоматическое отключение поврежденного участка от остальной неповрежденной части электрической установки или сети;

- выявление нарушений нормальных режимов работы оборудования и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или отключение оборудования с выдержкой времени.

Микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ) на основании анализа величины тока и напряжения могут не только дать сигнал на отключение, но отобразить и запомнить ряд дополнительных данных (причина отключения, время и дата отключения, ток и длительность аварийной ситуации, векторная диаграмма напряжений и токов в линии в момент отключения и пр.) [1]. Отказ от электромеханических и полупроводниковых реле, обладающих значительными габаритами, позволяет более компактно размещать оборудование на панелях РЗА. При этом управление посредством сенсорных кнопок и дисплея является более наглядным и удобным. Также существенным преимуществом микропроцессорных устройств защиты является их многофункциональность. Микропроцессорные устройства защиты также способны отобразить мнемосхему присоединения, что позволяет контролировать положение коммутационных аппаратов и заземляющих устройств [5].

Несмотря на отмеченные выше преимущества, замена электромеханических реле на микропроцессорные устройства имеет следующие недостатки:

-Снижение надежности релейной защиты за счет большого количества функций в одном терминале.

-Непрерывное усложнение конструкции микропроцессорных устройств и способов проверки их исправности.

-Расширение использования свободно-программируемой логики, сопровождающееся значительным увеличением процента ошибок персонала и неправильных действий защит.

-Отсутствие стандартов, оговаривающих универсальные требования к конструкции и программному обеспечению устройств.

-Существенное ослабление электромагнитной защищенности релейной защиты и всей энергосистемы.

-Повышение уязвимости энергосистем к хакерским атакам [1].

Микропроцессорные устройства защиты чувствительны к электромагнитным излучениям. Это определяется следующими негативными параметрами:

1. Внезапная потеря оперативного питания во время работы реле из-за перегрузки или короткого замыкания в сети, срабатывания автоматических выключателей в цепи оперативного питания, попадания молнии в линии электропередачи, обрывов проводов и др.

2. Электромагнитные шумы или помехи в цепях питания и во входных цепях реле.

3. Несимметричные режимы в сети и режимы из-за провалов напряжения и длительных понижений уровня напряжения.

4. Перенапряжения в сетях, вызванные сбросом нагрузки, или импульсные коммутационные перенапряжения.

В некоторых энергосистемах для повышения надежности на параллельную работу возможно включение и микропроцессорных, и электромеханических реле. При анализе аварийных ситуаций неоднократно оказывалось, что электромеханическое реле срабатывало и отключало выключатель раньше, чем микропроцессорное реле [2].

На объектах дочерних и зависимых обществ (ДЗО) ОАО «Россети» по данным на 01.01.2014 в эксплуатации находится около 1,7 млн. устройств РЗА, из них:

-77,45% – электромеханических устройств (ЭМ);

- 4,12% – микроэлектронных устройств (МЭ);

- 18,43% – микропроцессорных устройств (МП).

Таким образом, основную часть устройств, находящихся в эксплуатации, составляют электромеханические РЗА.

Таблица 1. Количество устройств РЗА, находящихся в эксплуатации

Тип УРЗА	ЭМ		МЭ		МП		Всего	
Отчетный год	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Итого	1346857	1344437	69213	71479	274062	319912	1690132	1735828
%	79,69%	77,45%	4,10%	4,12%	16,22%	18,43%	79,69%	77,45%

Таблица 2. Количество устройств РЗА со сверхнормативным сроком службы

Тип УРЗА	ЭМ		МЭ		МП		Всего	
Критерий оценки	(>25 лет)		(>12 лет)		(>15 лет)			
Отчетный год	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Итого	927715,2	930357,2	45909	46104	10990	10421	984614	986882
%	68,88%	69,20%	66,33%	64,50%	4,01%	3,26%	58,26%	56,85%

Согласно приведенной выше статистике, со сверхнормативным сроком службы в эксплуатации больше всего электромеханических устройств, а меньше всего – микропроцессорных. За промежуток 2013-2014 г. увеличился процент электромеханических устройств РЗА со сроком службы, превышающим нормативный. Это определяет необходимость модернизации таких устройств на более современные [4].

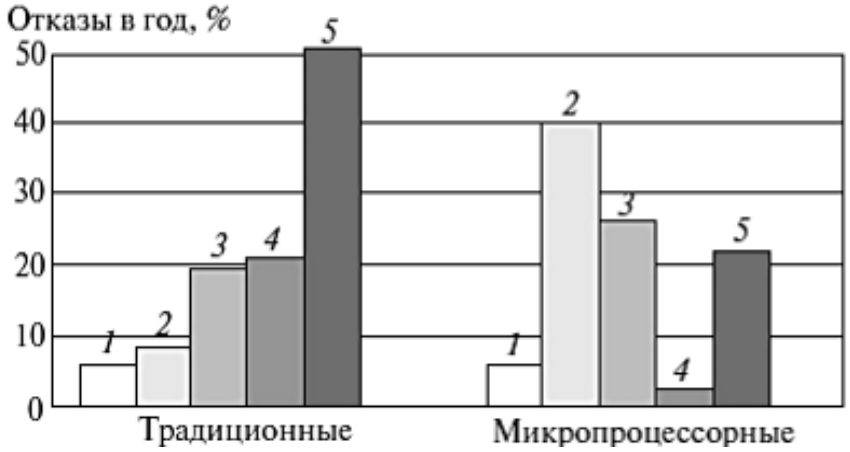


Рисунок 1. Диаграммы отказов дистанционной защиты линий 132–420 кВ.

1 – отказы из-за ошибок при тестировании и эксплуатации; *2* – отказы из-за ошибок в уставках и настройках; *3* – конструктивные недостатки; *4* – технические проблемы; *5* – отказы по неустановленным причинам.

Из анализа приведенных выше диаграмм можно сделать вывод, что микропроцессорные защиты являются значительно надежнее традиционных в техническом плане, но требуют высокой квалификации и соответствующей подготовки обслуживающего персонала [3].

Современная микроэлектроника очень чувствительна к электромагнитным излучениям, внешним воздействиям и «человеческому фактору». Отказ одной микропроцессорной защиты приводит к более тяжелым последствиям для энергетики, чем неисправность электромагнитных защит потому, что одно МУРЗ выполняет задачи сразу нескольких электромагнитных защит. Эксплуатация устройств РЗА должна быть организована таким образом, чтобы минимизировать риски и последствия неправильного функционирования и отказов устройств, вовремя определять и проводить соответствующее техническое обслуживание.

Все вышесказанное указывает на необходимость дальнейшего исследования эффективности использования МУРЗ для защиты линий электропередачи и трансформаторных подстанций. Как было отмечено выше, микропроцессорные реле значительно подвержены разного рода внешним воздействиям: электромагнитному излучению, перенапряжениям в сетях, несимметричным режимам, хакерским атакам и др. Также надежность МУРЗ снижается из-за ошибок персонала при настройке и эксплуатации устройств. Поэтому необходимо совместное использование электромеханических и микропроцессорных защит, что повысит надежность защиты объекта.

При данном уровне надежности МУРЗ ставится задача – создать технико-экономическую модель, определяющую целесообразность применения микропроцессоров для защиты ЛЭП и ТП.

Список литературы:

1. Асланова Г.Н. Особенности электромеханического реле или микропроцессорных устройств релейной защиты // Молодой ученый. – 2015. – №23.

2. Гуревич В.И. Микропроцессорные реле защиты. Новые перспективы или новые проблемы?// Новости Электротехники. – 2005. – №6(36).

3 Гуревич В.И. Проблемы оценки надежности релейной защиты. // Электричество. – 2011. – №2.

4. Концепция развития релейной защиты и автоматики электросетевого комплекса / ПАО «Россети», Москва, 2017 – 49 с.

5. Смородин Г. С., Лысенко В. С., Копейкин Д. А., Гафаров А. А. Микропроцессорные устройства релейной защиты // Молодой ученый. – 2016. – №29.

А.С. Самульченков, студент; А.В. Усанов, аспирант;
рук. Р.В. Солопов, к.т.н, доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ 0,4 кВ

Нессиметрия напряжений, при эксплуатации городских и сельских систем электроснабжения 0,4 кВ, является причиной возникновения токов и напряжений обратной и нулевой последовательности, которые приводят к значительному увеличению потерь электроэнергии и ухудшению работы как отдельных электроприемников (снижение срока службы электродвигателей, выход из строя устройств компенсации реактивной мощности, значительное ухудшение условий работы вентильных преобразователей и т. д.), так и системы электроснабжения в целом [1,2].

По причинам негативного характера, оказываемого несимметричными режимами работы электрических сетей, был разработан ряд мероприятий, направленных на снижение уровня несимметри[1,3]:

- перераспределение нагрузки по фазам сети, посредствам оперативного вмешательства обслуживающего персонала или с помощью устройств автоматики;

- снижение сопротивления нулевой последовательности сети (увеличение сечения нулевого провода и линий электропередач в целом, применение трансформаторов со схемой соединений «звезда/зигзаг» и др.);

- применение различных симметрирующих устройств.

В основе большего числа симметрирующих устройств лежит принцип вольтодобавки – увеличения уровня напряжения посредствам включения вторичной обмотки трансформатора напряжения в рассечку линии. Данный подход является относительно простым и эффективным, так как для реализации подобного устройства не нужен дополнительный источник питания, а выравнивание уровня напряжения возможно осуществлять в непосредственной

близости от потребителя, а не на трансформаторной подстанции распределительного устройства 6/0,4 кВ или 10/0,4 кВ.

Разновидностью вольтодобавки можно считать включение дополнительного источника питания посредствам гальванической развязки, роль которой выполняет трансформатор. Данный способ симметрирования является более ресурсоемким, но позволяет производить регулирование плавно, а не дискретно, тем самым давая возможность обеспечивать более качественное выравнивание уровня напряжения в сети.

В данной работе представлено описание схем простейших симметрирующих устройств, моделирование которых производилось в среде Multisim с целью оценки возможности дальнейшей их разработки посредствам как компьютерного, так уже и физического моделирования и последующей реализации на практике.

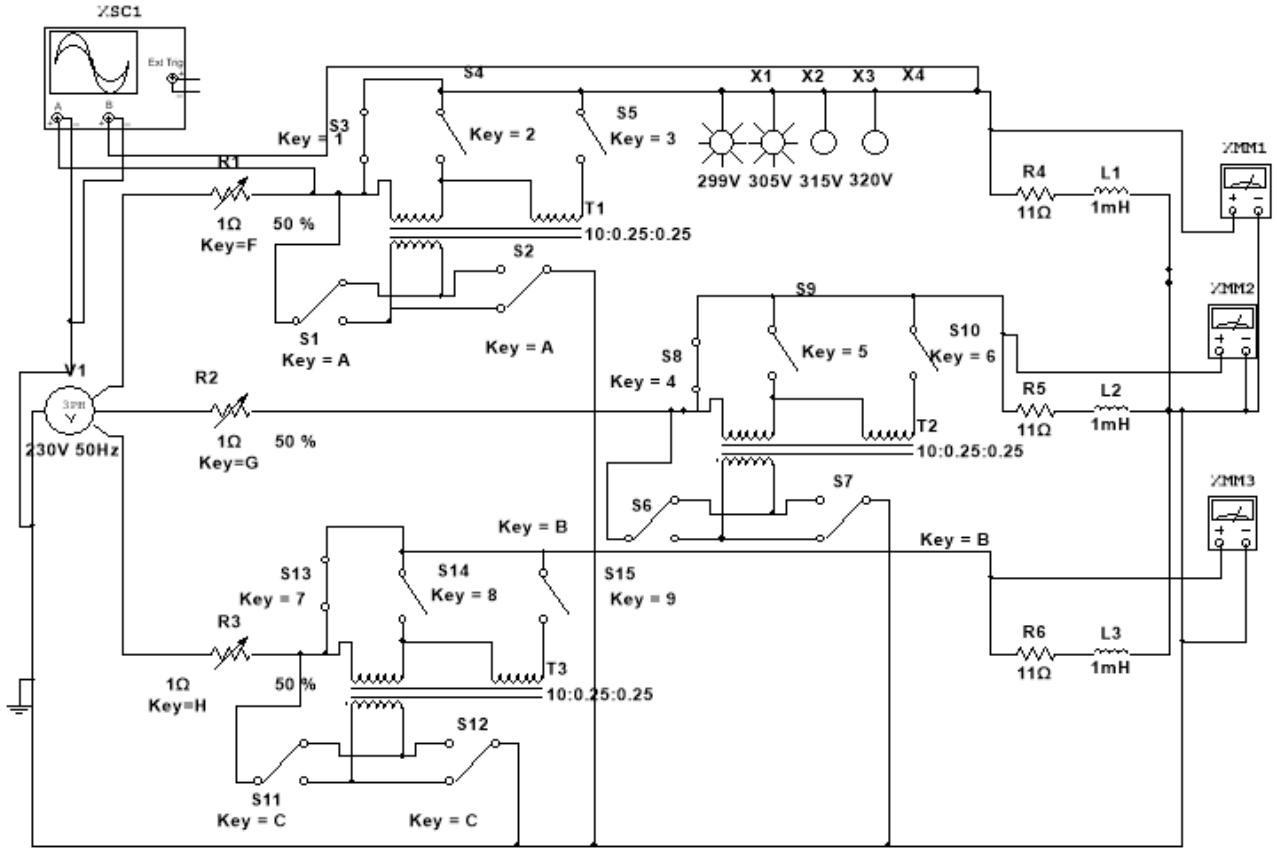


Рис. 1 – Модель симметрирующего устройства, основанного на принципе классической вольтодобавки

На рис.1 представлена модель трехфазной четырехпроводной низковольтной сети 0,4 кВ, в которой возможно создание несимметричных режимов для каждой из фаз или нескольких фаз одновременно посредствам регулирования значений сопротивлений резисторов R1, R2, R3 от 0 Ом до 1 Ом (0 % – 100 %). Сопротивления в каждой из фаз подобраны таким образом, что

при значении сопротивлений R1, R2, R3 0,5 Ом (50%) напряжение на нагрузке каждой из фаз равняется 220 В.

С целью создания несимметрии трехфазный источник имеет номинальное напряжение 230 В, что позволяет, изменяя значения сопротивлений R1, R2, R3 в диапазоне от 0% до 100%, обеспечивать несимметрию напряжений в диапазоне от -10 В до +10 В.

Регулирование напряжения осуществляется вручную посредствам трансформаторов T1, T2, T3. В зависимости от характера отклонения (положительного или отрицательного), первичная обмотка трансформатора включается в сеть согласно или встречно с помощью соответствующих ключей (например, для фазы А, это ключи S1 и S2). Далее, уже в зависимости от численного значения отклонения напряжения, соответствующими ключами (например, для фазы А, это ключи S3, S4 и S5) происходит включение необходимой отпайки (на 5 В и 10 В соответственно), которая в рассматриваемом диапазоне регулирования обеспечивает напряжение на нагрузке, близкое к номинальному.

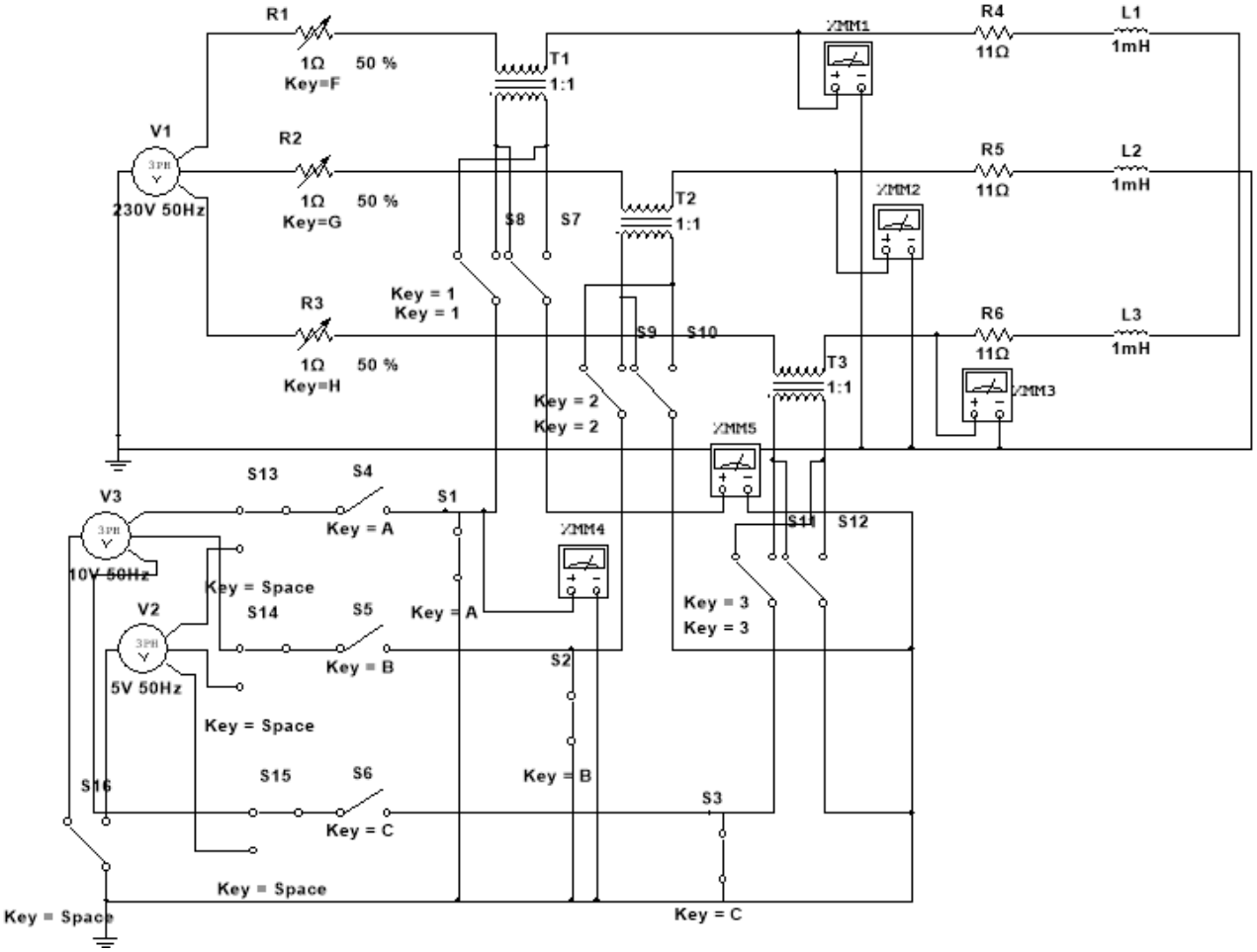


Рис. 2 – Модель симметрирующего устройства, основанного на принципе включения дополнительного источника питания через гальваническую развязку

Задание несимметрии в модели, представленной на рис.2, осуществляется аналогично модели, представленной на рис.1.

Особенностью данной модели (рис.2) является то, что вторичные обмотки трансформаторов T1, T2, T3, выполняющих функцию гальванической развязки, включаются в каждую из фаз последовательно при условии, что питание первичной обмотки происходит от дополнительного источника сравнительно небольшой мощности, выходное напряжение которого, в рассматриваемом случае, может принимать значение 5 В или 10 В (переключение соответствующих требуемой надбавке дополнительных источников питания осуществляется ключами S13, S14, S15, S16).

Факт включения трансформаторов T1, T2, T3 последовательно в цепь каждой из фаз обуславливает необходимость шунтирования (закорачивания) первичных обмоток данных трансформаторов ключами S1, S2, S3 в режиме, когда напряжение каждой из фаз не нуждается в корректировке.

Представленные компьютерные модели (рис.1, рис.2), как отмечалось ранее, являются результатом начального этапа проектирования симметрирующих устройств.

Последующие этапы разработки конечного концепта промышленно-реализуемой модели включают в себя разработку систем автоматического реагирования на изменение напряжений в каждой из фаз и последующее регулирование его в зависимости от величины и знака отклонения, а также разработку системы формирования требуемой добавки к напряжению, отклонение которого отличается от нормируемых значений, посредствам специальных блоков, питающихся непосредственно из сети, чтобы избежать применения дополнительных источников питания.

Описанные в данной работе компьютерные модели демонстрируют возможность использования симметрирующих устройств, основанных на принципах вольтодобавки для обеспечения качества электроэнергии как непосредвенно у потребителя, так и на заданном участке сети. Анализ работы компьютерных моделей симметрирующих устройств показывает их адекватность и возможность внедрения в составе автоматизированного комплекса в интеллектуальные системы электроснабжения.

Литература

1. Ананичева, С.С. Качество электроэнергии. Регулирование напряжения и частоты в энергосистемах / С.С. Ананичева, А.А. Алексеев, А.Л. Мызин. – Екатеринбург :УрФУ, 2012. – 93 с.
2. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке / Под общей ред. Ф. Д. Косухова: Монография. – СПб. :Издательство «Лань», 2016. – 280 с.
3. Самарин Г.Н., Ружьев В.А., Егоров М.Ю. Способы коррекции уровней напряжения и нессиметрии напряжения в сетях 0,4 кВ // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета.2017. №1. С. 279-286.

А.М. Седов, студ.; рук. Р.В. Солопов, доц., к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ

В воздушных линиях различают несколько видов коротких замыканий: однофазное, двухфазное, двухфазное на землю, трёхфазное, трёхфазное на землю. Все эти замыкания ведут к нарушению работы сети и её отключению до устранения неисправности.

Воздушные линии могут быть достаточно протяжёнными и поиск места повреждения ремонтными бригадами может занимать длительное время. Для локализации места короткого замыкания применяются различные приборы, фиксирующие токи и напряжения в сети в момент замыкания. Анализ работы этих устройств при различных условиях может помочь в улучшении точности определения места повреждения.

Для моделирования воздушных линий 110 кВ и выше применяются упрощённые схемы замещения (рис. 1) [1].

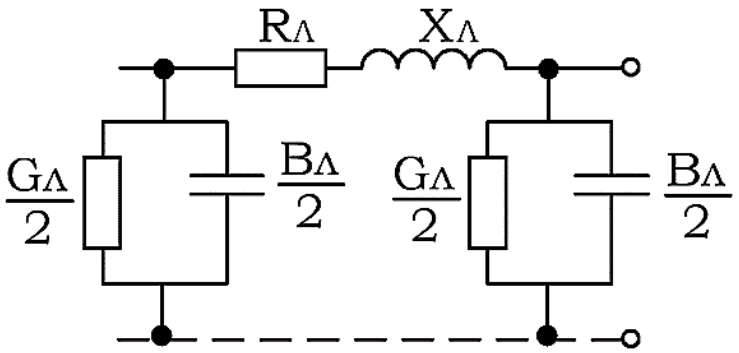


Рисунок 1 – Упрощённая схема замещения сетей 110 кВ

$R_л$ – активное сопротивление линии.

$X_л$ – реактивное сопротивление линии.

$G_л$ – активная проводимость линии, обусловленная потерями на корону и в изоляторах.

$B_л$ – емкостная проводимость линии, обусловленная наличием емкости между проводами разных фаз и землёй.

Создать физическую модель сетей с высоким напряжением для исследований технически сложно, так как необходимо соблюдать меры безопасности при работе с такой установкой. А стоимость оборудования способного выдержать высокие токи, возникающие при коротких замыканиях, достаточно высока.

В связи с вышеперечисленным моделирование производится на низком напряжении с помощью масштабных коэффициентов. Масштабный коэффициент определяется отношением измеряемого параметра оригинала и соответствующего параметра модели (1).

$$M_X = \frac{X_o}{X_м}; \quad (1)$$

Сетевое напряжение 380 В является опасным для работы персонала [2], для снижения напряжения до безопасных значений применяются понижающие трансформаторы.

При пониженных напряжениях и параметрах линии соответствующим реальным по установке будут протекать малые токи. Для приведения токов и напряжений к соответствующим для измерения устройствами релейной защиты применяются измерительные трансформаторы. Схема соединения трансформаторов и блока измерительной аппаратуры (ИА) для одной фазы представлена на рисунке 2.

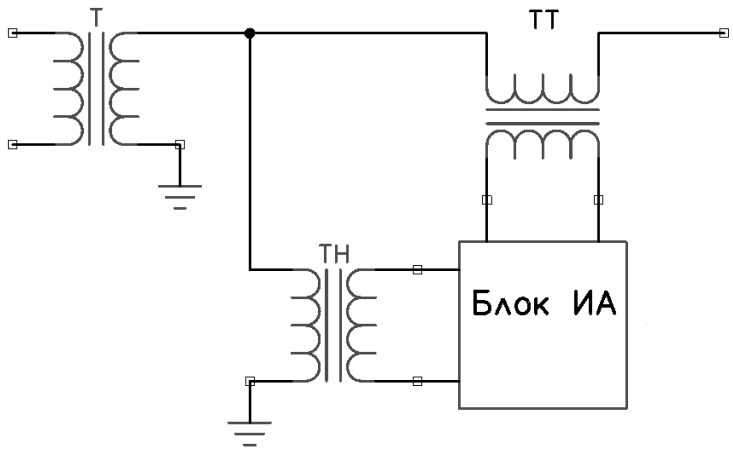


Рисунок 2 – Схема соединения понижающего трансформатора и измерительных трансформаторов

Для моделирования линии используются магазины сопротивлений, емкостей и индуктивностей, позволяющие регулировать параметры в широких пределах.

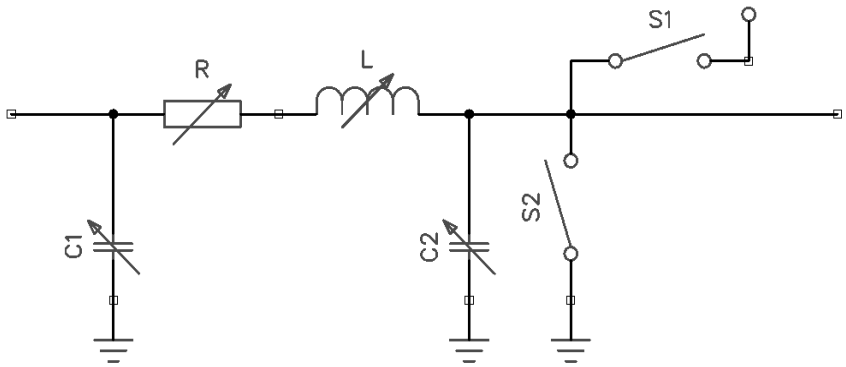


Рисунок 3 – Схема соединения элементов модели линии

На рисунке 3 представлен блок модели линии для 1 фазы. При помощи ключа *S*1 подключается внешнее присоединение, такое как измерительный трансформатор напряжения или соединение с другой линией, для создания межфазного короткого замыкания. Ключ *S*2 замыкает цепь на землю. В разрыв ключа может быть присоединено сопротивление для моделирования коротких замыканий с переходными сопротивлениями. Возможно соединение нескольких блоков линии для моделирования ответвлений или коротких замыканий на разных участках цепи.

Разработанная физическая модель позволяет получить сигналы, характеризующие различные виды коротких замыканий в широком диапазоне значений, что позволяет проводить научные исследования и наладку электротехнического оборудования. Установка может использоваться как с аналоговыми приборами , так и с микропроцессорными приборами автоматики и релейной защиты, например ИМФ 3Р, СИРИУС 3ЛВ и другими приборами.

Литература

1. Идельчик В. И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989.

2. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2, 3, 4). - М.: Стандартинформ, 2008.

А.С. Синицын, студ.; рук. Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА ОТ ЧАСТОТЫ

Контроль за обеспечением качества электроэнергии имеет большую важность. Это связано с тем, что, ухудшение качества электрической энергии приводит к спаду экономичности производства – росту потерь мощности и энергии в электрической сети и уменьшению ее пропускной способности, а, следовательно, увеличению издержек производства.

Актуальность данной проблемы возросла с появлением на производстве различных специальных технологических установок и вентильных преобразователей, среди которых сварочные установки и дуговые сталеплавильные печи, которые искажают форму питающего напряжения. Также значительную долю в объеме потребляемой энергии роль имеют телевизионные приемники, компьютеры и другие устройства, работающие на постоянном токе через выпрямитель, из-за чего оказывают отрицательное воздействие на качество электроэнергии в питающей сети. Поэтому следует уделять большое внимание процессу обнаружения искажений электроэнергии с помощью измерительных комплексов (ИК).

В связи с этим встаёт вопрос о достоверности показаний, получаемых на основе измерительных комплексов. Большое влияние на их погрешность ока-

зывает несинусоидальность контролируемого напряжения, а именно уровень высших гармоник.

Одним из основных элементов ИК являются измерительные трансформаторы тока (ТТ), которые в значительной степени оказывают влияние на результирующую погрешность ИК. Чтобы понять влияние высших гармоник на погрешности ИК необходимой задачей становится получение зависимости погрешности ТТ от частоты.

В качестве объекта аналитического исследования был выбран трансформатор тока ТПОЛ-10-300/5 со следующими параметрами:

Таблица 1 – Расчётные параметры трансформатора ТПОЛ-10-300/5

ρ, Ом·мм^2/м	$L_В$, м	W_2	q_2, мм	$h_м(H)$, мм	$D_н$, мм	$D_{вн}$, мм	a, град	$Z_{2н}$, Ом	$cos\varphi$	I_1. А	W_1,	$S_М$, м^2	$L_{ср}$, м
0,018	0,156	60	1,7	88	136	86	32,1	0,4	0,8	300	1	0,00836	0,339

ρ – удельное сопротивление провода вторичной обмотки;

$L_В$ – длина витка обмотки;

q_2 – сечение провода вторичной обмотки;

W_1 – число витков первичной обмотки;

W_2 – число витков вторичной обмотки;

$h_м$ – высота магнитопровода с наложенной вторичной обмоткой и изоляцией;

$D_н$ и $D_{вн}$ – наружный и внутренний диаметры магнитопровода с наложенной вторичной обмоткой и изоляцией;

a – угол секторной намотки вторичной обмотки;

H – принимается равной высоте магнитопровода $h_м$ при $D_{вн}$ менее 150 мм;

$S_М$ – активное сечение магнитопровода;

I_1 – первичный ток;

$L_{ср}$ – средняя длина магнитного пути магнитопровода;

$Z_{2н}$ – полное сопротивление вторичной нагрузки;

$cos\varphi$ – коэффициент мощности.

В процессе аналитического анализа, на основании подхода, представленного в [1], производился расчет токовой и угловой погрешности трансформатора тока, вычисляемых по формулам:

Для токовой погрешности

$$\delta_i = -100 \cdot \frac{F_0}{F_1} sin(\psi + \alpha),$$

где F_1 – МДС; F_0 – дополнительная МДС намагничивания, компенсирующая потери энергии при преобразовании тока; Ψ – угол потерь, определяемый по кривой зависимости ψ от $B_м$ для используемой марки стали; α – угол сдвига фаз между вторичной ЭДС E_2 и вторичным током I_2.

Для угловой погрешности

$$\theta_i = 3440 \cdot \frac{F_0}{F_1} sin(\psi + \alpha).$$

В качестве отправной точки аналитического расчета была выбрана номинальная частота 50 Гц. Расчёт производился в следующей последовательности:

1) Рассчитывалось активное сопротивление вторичной обмотки R_2.

2) Рассчитывалось индуктивное сопротивление вторичной обмотки для равномерно намотанной тороидальной катушки W_2.

3) Рассчитывались активная и индуктивная составляющая вторичной нагрузки $R_{2Н}$ и $W_{2Н}$.

4) Определялся угол сдвига фаз α между вторичной ЭДС E_2 и вторичным током I_2.

5) Рассчитывалось полное сопротивление цепи вторичного тока Z_2.

6) Для заданной кратности первичного тока I_1 (для 5% номинального первичного тока $I_{1н}$) определялась первичная МДС F_1.

7) Определялся I_2.

8) Определялась вторичная ЭДС E_2.

9) Определялось значение индукции $B_м$.

10) По кривой зависимости $F_{уд}$ от $B_м$ для используемой марки стали определялась и F_0.

11) По кривой зависимости ψ от $B_м$ для используемой марки стали определялся угол потерь ψ.

12) Рассчитывались токовая и угловая погрешности.

Для составления зависимости были взяты семь гармоник с соответствующими значениями частоты. На основании полученных данных была составлена таблица зависимости токовой и угловой погрешности трансформатора тока от частоты.

Таблица 2 – Результаты аналитических расчётов

$f_н$, Гц	50	100	150	200	225	350
X_2, Ом	9,118	18,24	27,35	36,47	41,03	63,83
$B_м$, Тл	0,421	0,21	0,14	0,105	0,093	0,06
F_0, А	3,729	2,373	1,695	1,39	0,949	0,712
ψ, град	53	45	42	39	37	35
δ, %	-1,012	-0,574	-0,389	-0,301	-0,197	-0,141
θ, %	24,83	18,73	14,1	12,12	8,517	6,561

Так же для наглядной характеристики зависимостей были построены графики функций f=$\delta_i(f)$ и f=$\theta_i(f)$:

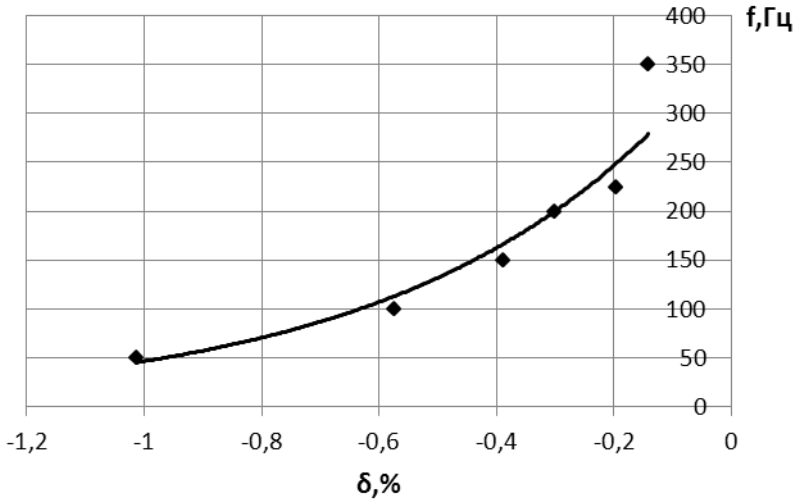


Рисунок 1 – Зависимость токовой погрешности от частоты

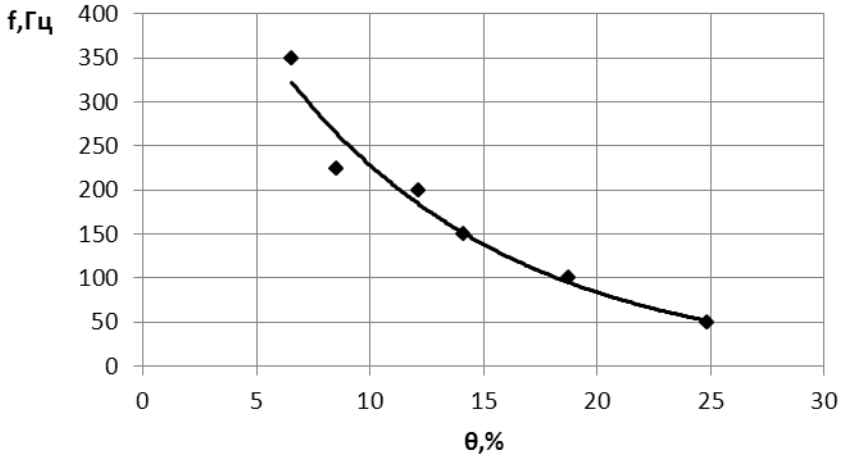


Рисунок 2 – Зависимость угловой погрешности от частоты

По результатам проведенного анализа полученных результатов, можно сделать вывод, что с ростом частоты, погрешности трансформатора тока уменьшаются. Таким образом, появление высших гармоник в питающей сети не приводит к увеличению погрешности измерительных трансформаторов тока.

Литература

- Раскулов Р.Ф. Анализ условий работы измерительных трансформаторов и исследование влияний воздействующих факторов на точностные характеристики трансформаторов в энергосистемах: дисс. на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва, 2004. – 197 с.

- Дрехслер Р.Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке: Пер. с чешск. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 112 с.

- Минин Г.П. Несинусоидальные токи их измерение. – М.: Энергия, 1979. – 112 с.

Д.Ю. Тарасов, студ.; А.В. Саутин, студ.; рук. Л.С. Певцова, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ И ГАЗОИЗОЛИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ УЗЛОВ

Кабели высокого напряжения (ВН) 110 кВ и выше из-за своей дороговизны, сложности эксплуатации и ряда других особенностей не могут конкурировать с воздушными линиями (ВЛ), предназначенными для передачи электроэнергии на дальние расстояния, но небольшие отрезки кабелей (кабельные вставки) находят применение при прокладке сетей в городах, в системах электроснабжения крупных промышленных узлов, для вывода мощности с электростанций, а также для передачи электроэнергии через труднопроходимые местности (водные пространства, горные районы).

Маслонаполненные кабели (МНК) с бумажно-масляной изоляцией в России остаются пока наиболее распространенными кабелями высокого напряжения. При этом, чем выше класс номинального напряжения кабелей, тем больше удельный вес МНК среди всех кабелей высокого напряжения.

Основные типы конструкций силовых МНК – это кабели низкого давления (до 3-5 атм.) в свинцовой или алюминиевой оболочке на номинальное напряжение 110 и 220 кВ и кабели высокого давления (10-15 атм.) в стальном трубопроводе на номинальное напряжение 110, 220, 330 и 500 кВ. Повышение давления масла приводит к увеличению электрической прочности бумажно-масляной изоляции и к возможности применения силовых МНК при более высокой рабочей напряженности электрического поля в изоляции кабелей (до 15 кВ/мм и более).

Силовые кабели с пропитанной маслом бумажной изоляцией, обладая высокими электрическими характеристиками и большой надежностью в эксплуатации не лишены ряда недостатков, таких как трудоемкий производственный процесс, высокая стоимость, наличие тяжелой металлической оболочки.

В настоящее время в РФ повысился интерес к кабелям из сшитого полиэтилена, которые в будущем заменят кабели с бумажно-пропитанной и поливинилхлоридной изоляцией.

Производство первых высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-кабели) на номинальное напряжение 110 кВ и выше началось еще в 70-х годах прошлого столетия. Основными недостатком этих кабелей было интенсивное старение полимерной изоляции. Главной проблемой были триинги (медленно развивающиеся в сильном электрическом поле каналы пробоя).

Современные СПЭ-кабели благодаря своей конструкции, технологии изготовления и новым изоляционным материалам технически более совершенны и более экономичны по сравнению с маслонаполненными кабелями.

Основными преимуществами использования кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена являются:

- Большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры жилы;
- Высокий ток термической стойкости;
- Отсутствие жидких компонентов, следовательно, нет необходимости в дорогостоящим подпитывающем оборудовании;
- Возможность быстрого ремонта в случае пробоя.

В последние годы кабельные линии высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена широко применяются при организации глубоких вводов в центральные районы крупнейших городов, так как они помимо надежного электроснабжения, обеспечивают минимальный землеотвод и максимальное сохранение окружающей среды.

В настоящее время в сетях высокого и сверхвысокого напряжения широкое распространение получили газоизолированные линии электропередачи (ГИЛ). В них используется элегаз – гексофторид серы (SF_6). Это связано с тем, что диэлектрическая прочность элегаза в однородном электрическом поле в 2 – 5 раз выше, чем у воздуха или азота (N).

ГИЛ можно разделить на два поколения. В первом поколении используется чистый элегаз. Во втором поколении ГИЛ при увеличенном на 45% рабочем давлении применяется газовая смесь, состоящая из 20 – 40% (SF_6) и 80 – 60% (N).

Современная элегазовая ЛЭП имеет коаксиальную конструкцию, в которой токопровод под высоким напряжением поддерживается неподвижными опорными изоляторами в центре заземленной оболочки. Пространство между ними заполнено элегазом или газовой смесью под избыточным давлением.

Для достижения высокой электропроводности проводник обычно выполняется в виде алюминиевой трубы, поддерживающая внутреннее давление газа оболочка – из алюминиевого сплава, стали или синтетических материалов. Металлическая оболочка ГИЛ обычно содержит защитное покрытие.

ГИЛ можно устанавливать над землей, монтировать в тоннелях и шахтах и закапывать непосредственно в грунт.

Техническое обслуживание ГИЛ схоже с обслуживанием ВЛ. Высокая пропускная способность позволяет обеспечивать такую же нагрузку, что и ВЛ той же ступени напряжения.

Потери активной мощности в газоизолированных линиях электропередачи существенно ниже, чем в кабельных и воздушных линиях. При этом диэлектрические потери ничтожны малы.

В случае пробоя изоляции внутри ГИЛ дуга КЗ остается внутри оболочки и не наносит вреда. Газоизолированная линия является жароупорной и не усиливает нагрузку во время пожара. Эти линии работают почти без дозаправки элегазом и без серьезных отказов.

Мировой опыт эксплуатации ГИЛ в течение многих лет показывает, что газоизолированные линии являются достаточно надежными системами для транспортировки больших объемов электроэнергии.

Будущее в кабельной промышленности – это сверхпроводящие кабели. Их можно разделить на две категории: на основе низкотемпературных сверхпроводниковых технологий (НТПС технологии) с хладагентом из жидкого гелия и на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) с критической температурой перехода в сверхпроводящее состояние. Кабели с НТПС технологией не получили широкого распространения в связи с использованием дорогого и невозобновляемого жидкого гелия. В ВТСП – кабелях используется более дешевый жидкий азот, что позволило повысить их надежность и сократить расходы.

Также большие перспективы открываются и перед ВТСП – кабельными линиями постоянного тока, так как они позволяют создать системы «высоковольтный генератор – сверхпроводящая КЛ постоянного тока», работающие на генераторном напряжении.

Реальным препятствием для широкого практического применения сверхпроводящих кабелей сегодня является лишь технологическая отработка производства лент сверхпроводников, их соединений, обеспечение стабильности их свойств, а также пока высокая стоимость сверхпроводниковых материалов.

Таким образом, при необходимости увеличения передаваемой мощности и при повышенных требованиях с точки зрения пожаробезопасности и экологии в системах электроснабжения крупных промышленных узлов будут находить широкое применение СПЭ – кабели с новыми современными изоляционными материалами, высоко надежные ГИЛ, обладающие повышенной пропускной способностью, а в ближайшем будущем – высокотемпературные сверхпроводники. Внедрение новых технологий в кабельной технике позволит существенно повысить в будущем конкурентоспособность кабельных линий по сравнению с воздушными линиями электропередачи.

Литература

- В. Н. Вариводов. Новые технологии для российских энергетических компаний. [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4011 (дата обращения 10.03.2019). Загл. С экрана.
- Силовые маслонаполненные кабели с бумажной изоляцией. [Электронный ресурс]. URL: https://pue8.ru/kabelnye-linii/130-silovye-maslonapolnennye-kabeli-s-bumazhnoy-izolyaciey.html (дата обращение 10.03.2019). Загл. С экрана.
- Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена. [Электронный ресурс]. URL: http://el-cab.ru/stati/kabeli-silovye-s-izolyaciej-iz-sshitogo-polietilena.html (дата обращения 10.03.2019). Загл. С экрана.
- Современные кабельные системы электропередач. [Электронный ресурс]. URL: http://stroyprofile.com/archive/3094 (дата обращения 10.03.2019). Загл. С экрана.
- Основы кабельной техники: учебник для студентов высших учебных заведений/[В.М. Леонов, И.Б. Пешков, И.Б. Рязанов, С.Д. Холодный]; под. Ред. И.Б. Пешковы. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.

Д.Ю. Тарасов, студ.; рук. Л.С. Певцова, ст. преп.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КАК СРЕДСТВА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Надежность современных систем производства и распределения электроэнергии в значительной мере определяются безотказностью работы электроустановок. Аварийные повреждения, часто сопровождающиеся разрушением оборудования, предаварийные состояния приводят к нарушению электроснабжения и большому экономическому ущербу у потребителя.

Подстанция представляет собой электроустановку, которая служит для преобразования и дальнейшего распределения энергии. Одним из главных элементов системы распределения электроэнергии являются силовые трансформаторы.

Для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей необходимо проводить комплексную диагностику силовых трансформаторов и другого электрооборудования подстанций.

Своевременное обнаружение дефектов трансформаторов позволяет предотвратить возникновение аварийных ситуаций, а также эффективнее планировать вывод трансформаторов из работы для проведения ремонтных работ.

Контроль технического состояния электрооборудования подстанции проводится оперативно-ремонтным и административно-техническим персоналом, либо специальным персоналом из инженерно – технических работников (ИТР) предприятия.

Обладая информацией об истинном состоянии электрооборудования, можно прогнозировать заказ только необходимых запасных частей, исключая приобретение тех элементов и узлов, которые не будут востребованы. Так же имеется возможность проводить ремонты и замену только конкретных элементов и узлов электрооборудования, требующих ремонта или замены.

Это позволит сократить время проведения ремонта, увеличить межремонтный интервал и сократить расходы, вызванные простоем оборудования.

Своевременная комплексная диагностика основного электрооборудования подстанций позволяет существенно сократить риск возникновения технологических нарушений, повысить надежность электроснабжения, а также продлить назначенный ресурс основных фондов.

Технологическая структура диагностики электрооборудования следующая:

Первый технологический уровень – автоматизированный контроль состояния основного электрооборудования по результатам мониторинга параметров нормальных и аварийных режимов работы.

Это направление работы не требует оснащения оборудования дополнительными датчиками и устройствами. Первичная информация может быть получена от существующих регистраторов аварийных событий, существующей

системы АСУ ТП подстанций и предприятий и АИИС КУЭ. Для интеграции в состав существующей системы АСУ ТП необходима разработка алгоритмов и программного обеспечения.

На этом же уровне может использоваться информация от специализированных систем диагностики, устанавливаемых на электрооборудовании. При этом, установка таких систем диагностики на электрооборудование должна осуществляться только при наличии технологического и экономического обоснования.

Второй технологический уровень – периодический контроль параметров работающего в нормальном режиме оборудования под рабочим напряжением с использованием современных методов и аппаратуры.

Третий технологический уровень – проведение испытаний и измерений на отключенном оборудовании. Такой контроль должен осуществляться только в тех случаях, когда отсутствуют методы и аппаратные средства выявления каких – либо дефектов оборудования на первом и втором технологических уровнях или для уточнения характера и места дефекта, его опасности и технологии устранения дефектов (объемы и методы ремонтно-восстановительных работ), выявленных на первом или втором технологическом уровнях. [3]

В результате современных методов диагностики и испытаний электрооборудования трансформаторных подстанций можно:

1. Оценить состояние диагностируемого электрооборудования.
2. Определить тип, масштабы, локацию и причины появления дефекта.
3. Принять решение о дальнейшем использовании оборудования или его замене, ремонте, дополнительном обследовании.
4. Оценить остаточный ресурс работы оборудования.
5. Поддерживать его эксплуатационную надежность.

В настоящее время существует множество методов оценки технического состояния трансформаторов. Предпочтительными являются те методы, для осуществления которых не требуется снятие рабочего напряжения.

Наибольшее распространение получили следующие методы:

1. Тепловизионное обследование;
2. Вибродиагностика;
3. Анализ масла из бака трансформатора;
4. Метод измерения частичных разрядов.

Тепловизионное обследование основывается на анализе изменения температуры контролируемых объектов с помощью тепловизоров. При режимах отличных от нормального, изменение температуры является первым показателем,

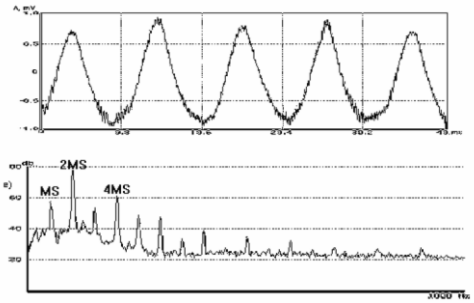
указывающим на неисправность. Наиболее перспективным методом является инфракрасная диагностика. Она обладает следующими преимуществами:

- Достоверность, объективность и точность получаемых сведений;
- Безопасность персонала при проведении диагностики;
- Отсутствие необходимости отключения оборудования;
- Малые затраты на производство измерений на единицу оборудования.

Принцип действия основывается на том, что при наличии дефектов оборудования, вызывается изменение температуры дефектных элементов и изменение интенсивности инфракрасного излучения, которое регистрируется тепловизорами.

Динамические силы, воздействующие на силовой трансформатор, это не только источник шума и вибрации, но и различных дефектов, которые изменяют свойства сил и, соответственно, характеристики шума и вибрации. Можно сказать, что функциональная диагностика машин без смены режима их работы — это изучение динамических сил, а не собственно вибрации или шума. Большое количество информации теряется при преобразовании сил и совершаемой ими работы в тепловую энергию. Поэтому, из двух видов сигналов (температура и вибрация) в диагностике предпочтение отдают вибрации.

Этот метод быстро развивается благодаря большому объему информации, которую он дает о нормальных и аварийных режимах работы оборудования. Метод основан на высокоточных средствах измерения вибрации и цифровой обработки сигнала. Он используется в основном для защиты оборудования по величине низкочастотной вибрации.



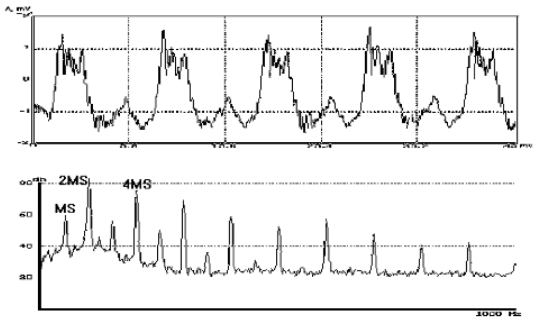


Рис. 1. Формы и спектры вибрации сердечника трансформатора, работающего в нормальном режиме.
Рис. 2. Формы и спектры вибрации сердечника трансформатора при перегрузке, сопровождающейся магнитным насыщением сердечника.

В нормальном режиме величина низкочастотной вибрации не совсем определяет реальное состояние оборудование, но в предаварийном состоянии связь между звеньями цепочки быстро развивается и существенно усиливается.[1]

Состоянию масла в баке трансформатора уделяется особое внимание. Под воздействием электромагнитных полей происходит изменение молекулярного состава. Анализ масла проводится для выявления неисправностей трансформатора путем испытания на электрическую прочность, кислотность, наличие ме-

ханических примесей, цвета, тангенса угла диэлектрических потерь и содержание водорастворимых кислот.

В наибольшей степени получил распространение хроматографический анализ газов. Состояние трансформатора оценивается сравнением количественных данных с граничными значениями концентрации газов и скорости роста концентрации газа в масле. Для трансформаторов 110 кВ и выше проводится не реже 1 раза в 6 месяцев. Он включает в себя:

- Определение содержания растворенных в масле газов;
- Определение содержания антиокислительных присадок – ионов и др.;
- Определение влагосодержания;
- Определение процентного содержания газов.

Метод измерения частичных разрядов относится к электрическому методу неразрушающего контроля. К внешним проявлением развития процессов частичных разрядов относятся: электрические и акустические явления; выделение газов; нагрев изоляции.

Выделяют три метода для обнаружения частичных разрядов: электрический, электромагнитный и акустический.

Метод частичных разрядов (ЧР) основан на определении значения частичного разряда или проверки того, что значение частичного разряда не превышает установленное значение при заданном напряжении и чувствительности.

Электрической метод требует контакта измерительного прибора с объектом контроля. Это наиболее популярный метод, так как он дает возможность получения комплекса характеристик, позволяющих оценить свойства частичных разрядов с определением их количественных значений. Однако, он имеет сильную чувствительность к помехам.

Электромагнитный (дистанционный) метод позволяет обнаружить объект с ЧР с помощью направленного приемного СВЧ антенно-фидерного устройства. Он не требует контакта измерительного прибора с контролируемым оборудованием. Метод позволяет производить обзорное сканирование группы оборудования, но не дает количественной оценки заряда ЧР, ЧР и мощности.

В настоящее время разрабатываются и вводятся в эксплуатацию автоматизированные системы диагностики силовых трансформаторов. Одной из них является система контроля и диагностики «НЕВА – АСКДТ». Она предназначена для диагностики и контроля масляных трансформаторов класса напряжения 10 – 750 кВ и мощностью 2500 кВА – 1250 МВА. К ее основным функциям относятся: диагностика технического состояния трансформаторов; предоставление данных в виде мнемосхем, таблиц и графиков на локальном мониторе и автоматизированном рабочем месте (АРМ) дежурного оператора; передача данных

измерений и событий в сеть автоматизированной системы управления (АСУ) подстанций по каналам Ethernet 10/100.

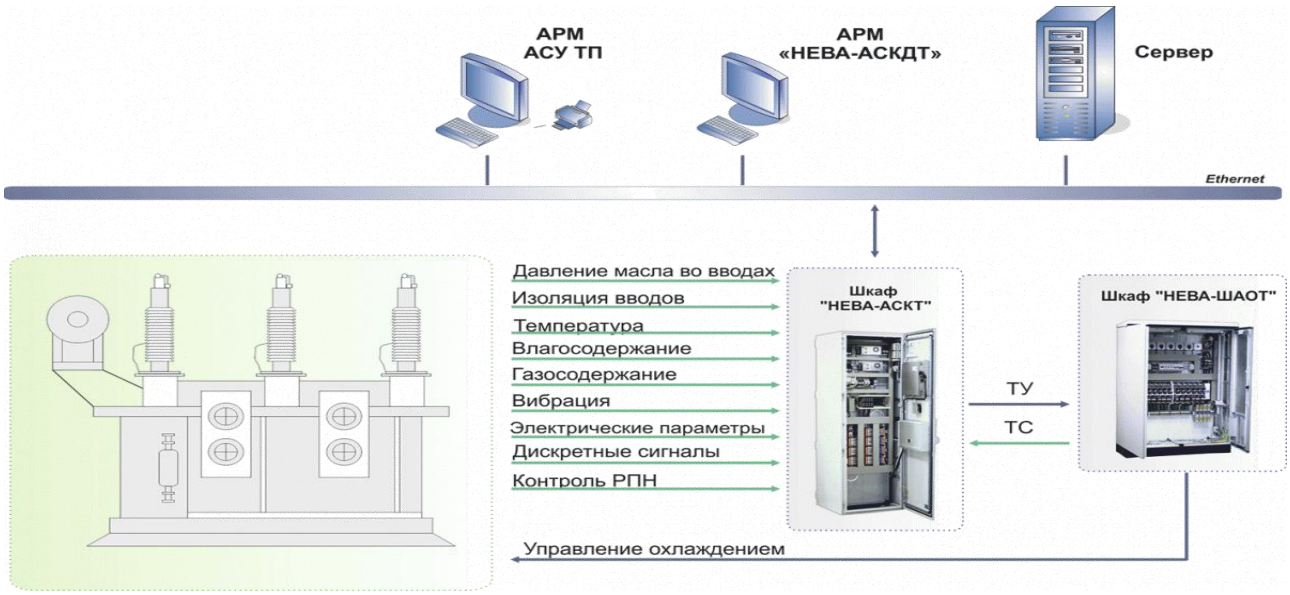


Рис.3. НЕВА – АСКДТ

Таким образом, современные методы диагностики электрооборудования подстанций позволяют предупредить возникновение аварийных ситуаций, сократить количество ремонтов, ввести обоснованную политику замены устаревшего оборудования на новое.

Литература

- Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций : учебное пособие / А. И. Хальясмаа [и др.]. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 64 с.
- Научно – производственная фирма энергосоюз. [Электронный ресурс]. URL: https://www.energosoyuz.spb.ru/ru/content/avtomatizirovannaya-sistema-kontrolya-i-diagnostiki-transformatora-neva-askdt (дата обращения 07.02.2019). Загл. С экрана.
- Школа для электрика. [Электронный ресурс]. URL: http://electricalschool.info/elstipod/1778-diagnostika-jelektrooborudovanija.html (дата обращения 07.02.2019). Загл. С экрана.

Д.С. Царьков, студ.; рук. С.В. Почечуев, к.т.н.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ОСОБЕННОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КРУПНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Долгосрочное прогнозирование потребления электрической энергии и мощности играет важную роль присоставлении балансов электроэнергии и мощности как отдельных энергосистем, так и единой энергетической системы (ЕЭС) в целом.

Порядок долгосрочного прогнозирования предназначен для использования при прогнозировании потребности в электроэнергии (мощности) по субъектам федерации.

Выполнение прогноза потребности в электроэнергии по территории субъекта федерации (операционной зоне) осуществляется в 2 этапа:

- Формирование статистической базы прогнозирования. Определение коэффициента прогнозного прироста электропотребления.
- Осуществление прогноза электропотребления на период прогнозирования.

При формировании статистической базы прогнозирования необходимо учитывать изменение электропотребления в базовом периоде за счет:

- изменения нагрузки существующих крупных потребителей на территории субъекта федерации (операционной зоны) с выделением потребителей введенных в базовом периоде или дискретно изменивших собственное максимальное потребление мощности по сравнению с предыдущим годом;
- изменения потребления собственных нужд электрических станций обусловленного вводом новых и демонтажем генерирующих мощностей;
- прироста мелкомоторной, бытовой и прочей нагрузки.

Определение прогноза на период осуществляется длясуществующих крупных потребителей в год N периода прогнозирования на конец базового периода и подлежащих вводу в N-ом году периода прогнозирования.

Суммарное прогнозное потребление определяется как сумма прогнозного потребления бытовой и мелкомоторной нагрузки, прогнозируемой нагрузки крупных потребителей с учетом федеральных и территориальных программ развития, прогнозного потребления электростанций.

На основании анализа перспективных схем развития энергосистем регионов выбираются крупные объекты потребления (группы потребителей), процент реализации ввода этих объектов выбирается в соответствии с Таблицей 1, (выполняется если нет выданных ТУ на этот объект, но он планируется к вводу с N-го года).

Таблица 1

Условия реализации ТУ и ожидаемого ввода нового потребителя	$k_{реал\,ТУ}$
Объект в стадии строительства	1,0
Выполнены и выполняются проектные работы	0,75
Проектные работы по объекту не начинались. Имеются намерения по началу строительства. Есть заявка на ТУ.	0,5
Объект объявлен к строительству однако отсутствует заявка на присоединение	0,25

Смоленская область – индустриально развитый регион Центрального федерального округа, располагающий значительным потенциалом в сфере обра-

батывающих производств. На территории Смоленской области действуют около 2 000 организаций обрабатывающей промышленности, из которых около 500 относятся к категории крупных и средних.

Прогноз потребления электроэнергии на 2018-2023 годы в отношении крупных потребителей представлен в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование предприятия, место расположения	Вид деятельности	2018 год, Млн. кВт·ч	2019 год, Млн. кВт·ч	2020 год, Млн. кВт·ч	2021 год, Млн. кВт·ч	2022 год, Млн. кВт·ч	2023 год, Млн. кВт·ч
1.	ПАО «Дорогобуж», Дорогобужский район, пос. Верхнеднепровский	химическая промышленность	280	280	280	280	280	280
2.	ГУП г. Москвы «ЛПЗ», г. Ярцево	черная металлургия	234,7	233,9	233,9	233,9	233,9	233,9
3.	ООО «ИДК», Холм-Жирковский район, ст. Игоревская	производство древесных плит	38	38	38	38	38	38
4.	АО «Авангард», г. Сафоново	химическая промышленность	28	29	29	29	29	30
5.	ОАО «РЖД», на территории Смоленской области	транспорт и связь	285	314,6	314,6	314,6	314,6	314,6
6.	ООО «Газпром трансгаз-СанктПетербург» (КС-3 Смоленская, Смоленский район и КС-2 ХолмЖирковская, Холм-Жирковский район)	трубопроводный транспорт	98,3	98,3	98,3	98,3	98,3	98,3
7.	ООО «ЭГГЕР ДРЕВПРОДУКТ ГАГАРИН»	деревообработка	193	194	207	208	209	200

Прогноз ПАО «Системный оператор Единой энергетической системы» Смоленской области в отношении потребления электроэнергии (млн. кВт·ч) на 2018-2023 годы, соответствующий проекту схемы и программе развития Единой энергетической системы России на 2018-2023 годы, представлен нарис. 1.

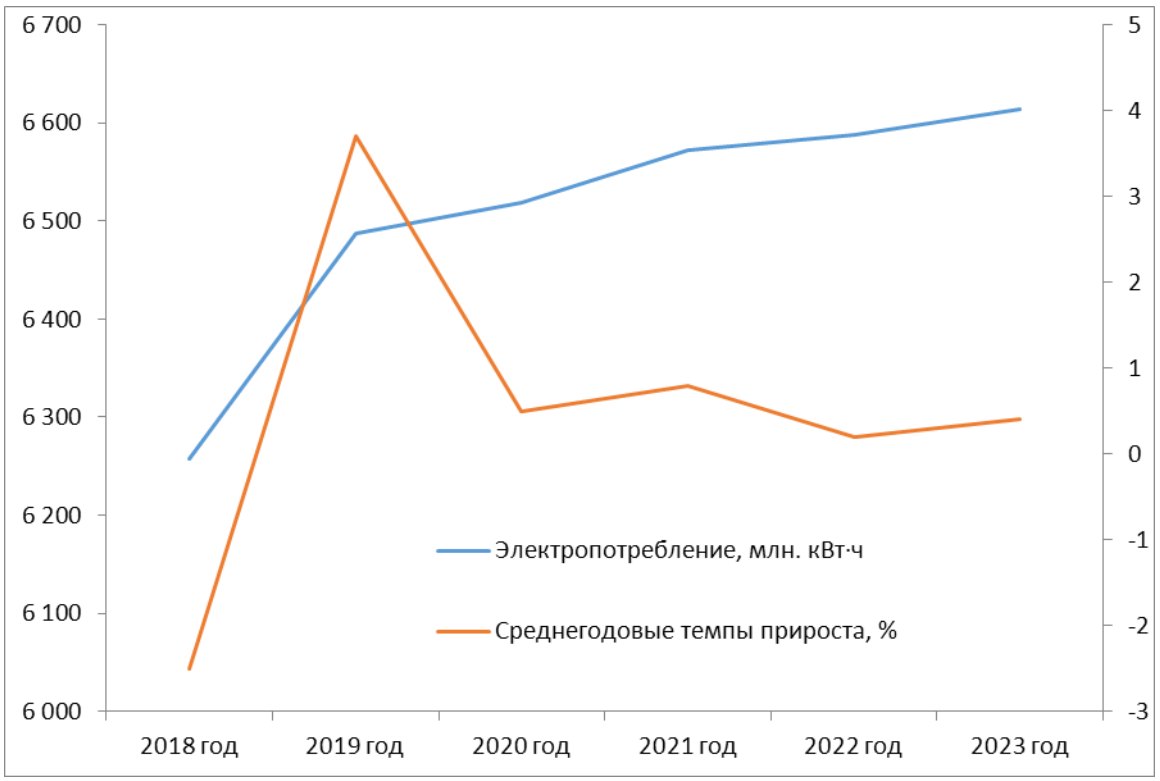


Рис 1. Прогнозэлектропотребления Смоленской области

Увеличение потребления электроэнергии в 2018-2023 годах будет связано в том числе с реализацией инвестиционных проектов. Наиболее крупные инвестиционные проекты 2018-2023 годов приведены в таблице 4.

Таблица 4

№ п/п	Вид экономической деятельности, характеристика и объемы производства	Место расположения	Год реализации	Присоединяемая мощность, МВт, наименование подстанции	Год присоединения мощности	Годовое потребление электроэнергии, тыс. кВт·ч
1	Производство метанола (50 тыс. тонн в год)	Смоленский район, восточнее дер. Зыколино	2018	50	2018	-
2	Строительство тепличного комплекса по производству овощных культур	Гагаринский район, дер. Покров	2016-2021	20 МВт, проектируемая ПС 110 кВ инвестора	2018	-
3	Производство 396 тыс. кв. м древесноволокнистых плит в год	Холм-Жирковский район, ст. Игоревская	2009-2018	31,4 МВт, ПС 110 кВ Светлая	2018	121 000
4	Территория опережающего социально-экономического развития «Дорогобуж»	г. Дорогобуж	2018-2026	25 МВт, проектируемая ПС 110 кВ Звезда	2018	-

До 2019 года электропотребление в Смоленской области значительно возросло, однако, дальнейший прогноз потребления электроэнергии предполагает некоторый спад роста до 2023 года в отношении крупных потребителей. В

промежуток с 2019 по 2022 год тенденция среднегодовых темпов прироста потребления электроэнергии отрицательна, после чего наблюдается плавное увеличение. Это обусловлено реализацией инвестиционных проектов, самыми крупными из которых являются производство метанола с присоединяемой мощностью в 50 МВт (Смоленский район, восточнее дер. Зыколино), а также производство древесноволокнистых плит (Холм-Жирковский район, ст. Игоревская), присоединяемая мощность которой составляет 31,4 МВт.

Литература

1. *Программа развития электроэнергетики Смоленской области на 2019-2023 годы, электронный ресурс: http://rek.admin-smolensk.ru*
2. *Порядок долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии и мощности, электронный ресурс:https://so-ups.ru/*

И.Д. Черненков, асп.; рук. Н.Ш. Чемборисова, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА САЛЬДО-ПРОВОДИМОСТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЭС

Для описания, расчета и управления работой электроэнергетических систем (ЭЭС) используются различные математические модели, в основе которых лежит описание процессов с использованием матриц обобщенных параметров, отображающих конфигурацию и значения параметров исследуемых электрических цепей. При решении задач оптимизации режимов ЭЭС важно найти новые эффективные методы, одним из которых является использование обобщенных параметров схемы. Таким информативным параметром может быть разность между собственной и суммой взаимных проводимостей узлов схемы замещения ЭЭС. Исследования показали, что использование этого показателя, оценивающего степень сенсорности или жесткости узлов, целесообразно для эффективного решения ряда задач оптимизации и управления режимами особенно в современных сложнозамкнутых ЭЭС [1-4]. Поскольку предлагаемый подход базируется на предварительном (до расчета или оптимизации режима) анализе параметров системы, то успешным может стать обучение на тренажерах, использующее этот подход. У проходящего обучение появляется возможность на базе анализа схемы сопоставить возможные изменения режима в различных узлах сети и провести эффективную расстановку (или выбор уже установленных) устройств компенсации реактивной мощности.

Для иллюстрации проводится проверка эффективности указанной методики на примере фрагмента математической модели электроэнергетической системы, используемой в режимном тренажере диспетчера «Финист» (рис.1) [5]. Исследуемый фрагмент включает сложно разветвленную электрическую сеть напряжением 110кВ и 220 кВ. В сеть поступает электрическая энергия от трех электрических станций разной мощности и системы.

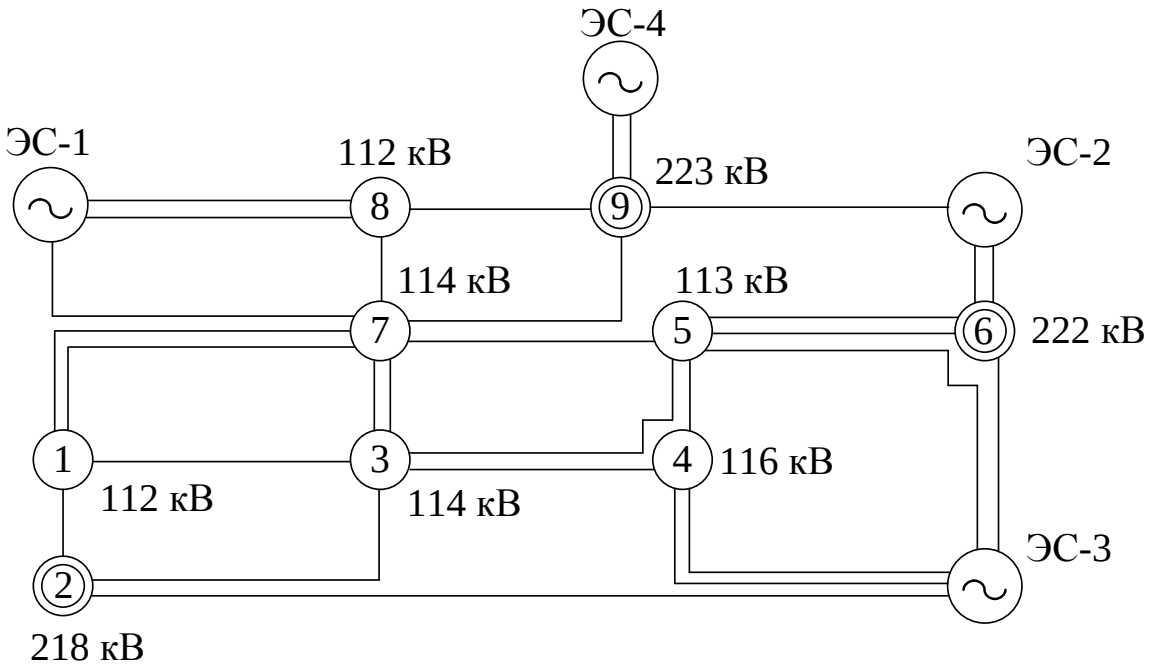


Рис. 1 Схема исследуемого фрагмента сети 220 кВ ◎ и 110 кВ ○

Исследуем свойства узлов рассматриваемой схемы сети, не прибегая к достаточно трудоемкому расчету установившегося режима. Воспользуемся матрицей узловых проводимостей исследуемой сети и определим мнимую составляющую сальдо-проводимостей ее узлов.

Метод сальдо-проводимостей основан на определении разности между диагональными и недиагональными элементами матрицы узловых проводимостей [3,4]:

$$\Delta B_i = B_{ii} - \sum_{j=1}^{N} B_{ij} = \mathrm{Im}\left(Y_{ii} + \sum_{j=1}^{N} Y_{ij} \right)$$

где $\sum_{j=1}^{N} B_{ij}$, мкСм – сумма мнимых частей комплексных величин продольных проводимостей N присоединенных к i-му узлу ветвей;

B_{ii}, мкСм – мнимая часть i-го диагонального элемента матрицы узловых проводимостей.

Диагональный и недиагональный элементы матрицы узловых проводимостей определяются по формулам следующего вида:

$$Y_{ii} = \sum_{j=1}^{N_Л} Y_{i-j} + \tfrac{1}{2} \cdot \sum_{j=1}^{N_Л} Y_{Ci-j} + Y_{i-0},$$

где $N_Л$ – число присоединенных к узлу линий электропередачи; Y_{i-j} – продольные проводимости этих ветвей, Y_{i-0} – проводимость узлового шунта на землю.

Результаты экспресс анализа сальдо-проводимостей узлов исследуемой схемы приведены на Рис. 2 в виде диаграммы, которая наглядно иллюстрирует различие узлов схемы по исследуемому признаку. Следует сразу отметить, что наиболее жесткими узлами будут генераторы станций, поэтому эти узлы подробно не рассматриваются. Наибольшая разница между собственной и взаимной проводимостью с преобладанием емкостной составляющей наблюдается в

узлах 2,6 и 9 с напряжением 220 кВ. Эти узлы являются жесткими, а их напряжение менее чувствительно к изменению реактивной мощности. Узлы с напряжением 110 кВ с индуктивным характером проводимости имеют разную степень сенсорности. В качестве узлов управления выбраны наиболее сенсорные узлы 3 и 7. Установка в них устройств компенсации реактивной мощности позволяет наиболее эффективно стабилизировать напряжение в этих и примыкающих к ним узлах 110 кВ до уровней, отличающихся от номинального менее, чем на 3,6%. Отличие в напряжениях для базового режима составляло 5,4 % Компенсация реактивной мощности позволяет также уменьшить потери активной мощности и электрической энергии при ее передаче на 14 %.

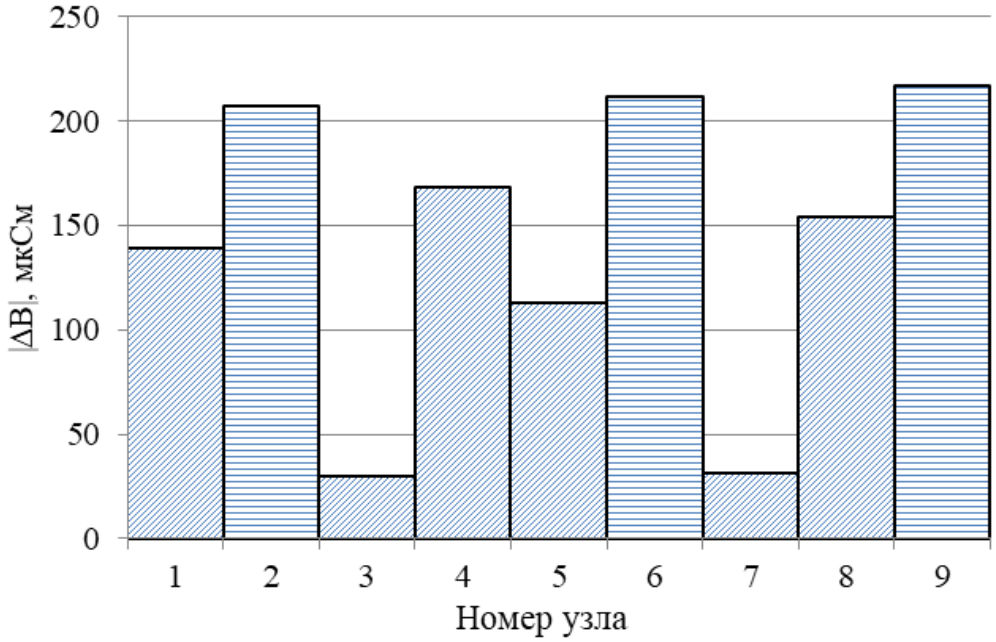


Рис.2. Диаграмма сальдо-проводимостей узлов схемы с индуктивным (1,3,4,5,7,8) и емкостным (2,6,9) характером.

Таким образом, использование метода сальдо-проводимостей узлов позволяет формализовать оценку схемы ЭЭС на выявление «жестких» и «сенсорных» узлов, в том числе для обучения в режимных тренажерах. Такой подход упрощает и оптимизирует решение задач по регулированию напряжения, расстановке устройств компенсации реактивной мощности, снижению потерь активной мощности при ее передаче.

Литература

1. Лопатин О.А., Чемборисова Н.Ш. Использование параметров сети и обобщенных показателей режима для расстановки компенсирующих устройств // Электричество, №3, 2011. С. 10-12.

2. Фролов О.В., Чемборисова Н.Ш. Предварительный анализ параметров сети для расстановки устройств ограничения токов короткого замыкания в сетях мегапоисов // Электричество, №8, 2012. С. 26-30.

3. Баранов И.Л., Чемборисова Н.Ш. Определение чувствительности узлов электроэнергетических систем на основной частоте и высших гармониках // Электричество, №8, 2013. С. 15-20.

4. Чемборисова Н.Ш., Фролов О.В., Баранов И.Л., Баширов И.Н. Использование обобщенных показателей схемы при анализе режимов электроэнергетических систем // Вестник МЭИ, №1, 2015. С. 66-73.

5. Режимный тренажер диспетчера Финист. http://www.monitel.ru/download/Finist.pdf

Е.С. Шельмакова, студ.; рук. В.П. Кавченков, д.т.н.,
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, г. Смоленск)

АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОНЕСУЩЕГО ИЗОЛИРОВАНОГО ПРОВОДА

В последние годы широко пропагандируется использование кабеля марки СИП для строительства воздушных линий электропередач и подсоединения различного рода потребителей электричества к источникам электроснабжения. СИП — это самонесущий изолированный провод 2-х или 4-х жильной скрученной в жгут структуры, изготовленный из алюминиевого сплава и покрытый изоляцией из светостабилизированного сшитого или термопластичного полиэтилена.

Конструктивные особенности кабеля СИП намного выше применявшегося до него алюминиевого и сталеалюминевого провода, которые не имеют изоляции и монтируются отдельно на изоляторах. Монтировать СИП проще и быстрее, жгут крепится на опоре или стене здания натянутый между опорами с помощью лебедки или другого приспособления, такая особенность позволяет быстро производить монтаж воздушной линии с СИП в стесненных городских условиях с применением укороченных опор и совместной подвески кабелей с другими кабелями в допустимой близости от них без дополнительных опор.

Главным требованием к изоляции проводов для ВЛ является их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды. Изоляция СИП выполнена из сшитого полиэтилена. При неблагоприятных погодных условиях СИП намного надежнее голого провода. При ураганном ветре обрывы и перехлестывание неизолированного алюминиевого провода приводит к коротким замыканиям и обесточиванию. У СИП перехлестывания исключены конструктивно, и порвать четыре скрученных в жгут проводника сложнее. Стойкость к атмосферным осадкам у изолированного провода выше, в холодное время года не происходит намерзание льда с последующим обрывом под его тяжестью, вода и снег скатываются с покрытых изоляцией кабелей.

Еще одним преимуществом СИП перед голым проводом является резкое снижение (до 80%) затрат, вызванное высокой надежностью и бесперебойностью обеспечения потребителей, а также отсутствием необходимости в широких просеках для прокладки воздушных линий с изоляцией в лесных массивах и расчистки просек в процессе эксплуатации.

Организации, продающие электричество на этапе подключения новых абонентов, обязуют использовать кабели марки СИП, это связано с тем, что применения такого проводника, практически полностью исключает воровство электричества и несанкционированного подключения снаружи. При использовании соответствующей арматуры отводы и подключения можно проводить без снятия напряжения с линии, изоляция на проводе снижает вероятность поражения электротоком обслуживающего персонала и повышает электробезопасность таких линий.

Ещё одним достоинством самонесущих проводников является малая потеря электрической энергии при передаче на большие расстояния за счёт почти втрое меньшего реактивного сопротивления ВЛ с изоляцией по сравнению с обычной ВЛ. Следовательно, самое большое достоинство такого кабеля — это высокая надёжность и простота монтажа, а также бесперебойность в подаче электричества потребителям.

Самонесущий изолированный провод на фоне всех преимуществ имеет два недостатка:

1. СИП дороже провода марки А и АС;
2. Для монтажа изолированного провода необходима соответствующая квалификация рабочего персонала, и еще не до конца разработаны стандарты, нормы и правила по монтажу и обслуживанию таких линий.

Проведем сравнительный анализ стоимости 1 км ВЛ 0,4 кВ с применением различных типов проводов по ценовым данным. В каждом варианте использовано равное количество опор на 1 км: сложных опор – 3, промежуточных – 29. В варианте с голым проводом использовались стойки СВ-95, с СИП – СВ-85.

Для более наглядного сравнения в таблице 1 приведены стоимости по проводам.

Таблица 1

Наименование	Голый провод 4*А70, руб.	СИП-2А 3*70+54,6, руб.	СИП-2 3*70+95, руб.	СИП-2а 3*70+95, руб.	СИП-4 4*70, руб.
Провод	192720	219560	251040	275016	219930
Опоры	64000	57600	57600	57600	57600
Линейная арматура	12500	12500	12500	12500	12500
Подготовка трассы	12500	6300	6300	6300	6300
Строительно-монтажные работы	69000	56000	56000	56000	56000
Прочие затраты	18400	18400	18400	18400	18400
Всего	369120	370360	401840	425816	370730

Таким образом стоимость 1 км линии с использованием самонесущего изолированного провода оказалась не на много выше стоимости 1 км линии с использованием неизолированного. При замене голого провода на СИП в дальнейшем уменьшаются эксплуатационные расходы за счет того, что сокращаются объемы аварийно-восстановительных работ, упрощается ремонт при работе под напряжением, не требуется систематической расчистки трасс. Соответственно можно сделать вывод, что переход на СИП экономически целесообразен и может произойти без особых дополнительных затрат.

Литература

1. Каменский М. К., Мещанов Г. И., Образцов Ю. В. Провода изолированные и защищенные воздушных линий электропередач // Наука и техника. 2004. - № 6. - 5. С.

2. Шаманов Д. Г. Про самонесущие изолированные провода 0,4 – 1 кВ. плюсы и минусы различных систем. // [Электронный ресурс] - http://masters.donntu.org/2011/etf/kurov/library/article5/article5.htm (дата обращения 01.03.2019)

3. https://e-kc.ru/ (дата обращения 01.03.2019)

СЕКЦИЯ 2
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

А.И. Авдеев, студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН

В настоящее время в практике использования электрических машин на производствах распространена ситуация, когда компании, производящие электрические машины, передают потребителю только основные параметры двигателей, которые и указываются на заводской табличке и в паспорте на изделие. Это номинальные мощность, частота, напряжение, КПД, коэффициент мощности, кратности моментов и токов, массогабаритные показатели.

Более глубокие сведения по показателям электрической машины, а именно – параметры схемы замещения производителями машин воспринимается как коммерческая информация, не подлежащая передаче потребителям.

В то же время, при построении современных систем электроприводов или технологических линий эти параметры необходимы для синтеза структур и параметров регуляторов. Существуют различные методики расчетов этих параметров. Первая (наиболее глубокая) – при проектировании электрической машины [1]. Её затруднительно использовать эксплуатирующим организациям. Другие – упрощенные методики оценки параметров, например [2], [3], позволяют оценивать их с некоторыми погрешностями. Попытка использовать аналог машин старых серий с указанными в справочнике [4] параметрами не всегда гарантирует их корректность.

В статье ставится задача сопоставления расчетов параметров схемы замещения по разным методикам, а также оценки их корректности средствами компьютерного моделирования.

По одной из базовых дисциплин учебного плана по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника» электромеханического профиля проектируется асинхронный двигатель общего назначения. Используется одна из проверенных методик инженерного проектирования машин по [1]. Рассмотрим конкретный пример двигателя со средней мощностью 90 кВт, номинальным напряжением питания 380 В. Спроектированный асинхронный двигатель по своим показателям находится на уровне выбранного заранее аналога 4АМ250М4У3, а по некоторым показателем даже превосходит его. Однако эти показатели являются расчетными и на практике (или какими-то иными средствами) проверены не были. Ко всему прочему, данная методика проектирования не идеальна и является не единственной, поэтому было принято решение сравнить параметры спроектированного асинхронного двигателя по [1] с параметрами того же самого двигателя, рассчитанного по упрощенной методике [2], с последующей проверкой путем компьютерного моделирования.

При проектировании по [1] техническое задание содержало следующие данные: номинальная полезная мощность, напряжение, частота сети, синхронная частота вращения, степень защиты, исполнение по способу монтажа, способ охлаждения, климатическое исполнение и категория размещения.

Основными характеристиками асинхронного двигателя являются рабочие и пусковые характеристики. Основными расчетными параметрами являлись – номинальная мощность, КПД, коэффициент мощности, номинальное скольжение, кратность пускового момента и тока. Также были рассчитаны параметры Т-образной схемы замещения (r_1, x_1, r_2', x_2',x_μ) при номинальном режиме работы.

Активное сопротивление обмотки статора:

$$r_1=k_R\rho_{115}\frac{L_1}{q_{э.ср}a}=1\cdot\frac{10^{-6}}{41}\cdot\frac{74{,}395}{19{,}7\cdot10^{-6}\cdot1}=0{,}091\ \text{Ом}$$

где для класса нагревостойкости изоляции F расчётная температура $v_{расч}=115°C$; для медных проводников $\rho_{115}=10^{-6}/41$ Ом·м, L_1 - длина проводников фазы обмотки, $q_{э.ср}$ – площадь поперечного сечения эффективного проводника, k_R – коэффициент увеличения активного сопротивления фазы обмотки от действия эффекта вытеснения тока.

Индуктивное сопротивление обмотки статора:

$$x_1=15{,}8\cdot\frac{f_1}{100}\cdot\left(\frac{w_1}{100}\right)^2\cdot\frac{l_\delta'}{pq_1}\cdot(\lambda_{п1}+\lambda_{л1}+\lambda_{д1})=15{,}8\cdot\frac{50}{100}\cdot\left(\frac{60}{100}\right)^2\cdot\frac{0{,}262}{2\cdot5}\cdot$$

$\cdot(1{,}79+1{,}325+1{,}291)=0{,}328$ Ом, где $\lambda_{п1}$ - магнитная проводимость, $\lambda_{л1}$ - магнитная проводимость лобового рассеяния обмоток статора, $\lambda_{д1}$ - добавочная проводимость, l_δ' - длина магнитопровода, p – число полюсов, q_1 - число пазов на полюс и фазу, w_1 – число витков в фазе обмотки.

$$L_1=\frac{x_1}{2\pi f}=1{,}044\ \text{мГн}$$

Сопротивление обмотки ротора приведенной к числу витков обмотки статора:

$r_2'=r_2\nu_{12}=0{,}063$ Ом , где ν_{12} – коэффициент приведения, $r_2=r_c+\frac{2r_{кл}}{\Delta^2}$ – сопротивление обмотки ротора, r_c - сопротивление литых стержней ротора, $r_{кл}$ - сопротивление короткозамыкающих колец, Δ - площадь поперечного короткозамыкающего кольца.

Индуктивное сопротивление приведенной фазы ротора:

$x_2'=x_2\nu_{12}=0{,}262$ Ом , где ν_{12} – коэффициент приведения, $x_2=7{,}9f_1l_\delta'(\lambda_{п2}+\lambda_{л2}+\lambda_{д2}+\lambda_{ск})\cdot10^{-6}$ - индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора, $\lambda_{п2}$ – магнитная проводимость пазового рассеяния обмоток ротора, $\lambda_{л2}$ -

магнитная проводимость лобового рассеяния обмоток ротора, $\lambda_{д2}$ - добавочная магнитная проводимость, $\lambda_{ск}$ – магнитная проводимость скоса.

$$L_2'=\frac{x_2'}{2\pi f}=0{,}834 \text{ мГн}$$

Сопротивление взаимной индукции обмоток статора и ротора:

$x_{12}=\frac{U_{1м}}{I_\mu}-x_1=\frac{380}{20{,}39}-0{,}328=18{,}306$ Ом ,где $U_{1м}$ – номинальное линейное напряжение, I_μ – намагничивающий ток, x_1 - индуктивное сопротивление обмотки статора.

$$L_\mu=\frac{x_{12}}{2\pi f}=58{,}27 \text{ мГн}$$

Помимо этого, был выполнен расчет параметров схемы замещения другим способом – по [2].

Активное сопротивление ротора, приведенное из условия равенства механических потерь электрическим потерям в роторе:

$r_2'=\frac{M_н \cdot w_0 \cdot s_н}{3 \cdot I_{2н}^2}=0{,}02$ Ом, где $M_н$ – номинальный момент, w_0 – угловая скорость, $s_н$ – номинальное скольжение, $I_{2н}$ – приведенный ток ротора.

Активное сопротивление статора:

$r_1=Z_k\cos\varphi_{пуск}-\sigma_1 r_2'=0{,}036$ Ом, где Z_k – полное сопротивление короткого замыкания, $\cos\varphi_{пуск}$ – коэффициент мощности при пуске, σ_1 – коэффициент рассеяния.

Сумма индуктивных сопротивлений: $x_{сум}=\sqrt{Z_k^2-(r_1+r_2')^2}=0{,}192$ Ом

Индуктивные сопротивления статора и ротора:

$x_1=x_2'=\frac{x_{сум}}{2}=0{,}096$ Ом; $L_1=L_2'=\frac{x_{сум}}{2\cdot 2\pi f}=0{,}3053$ мГн

Индуктивное сопротивление намагничивания: $x_\mu=\frac{0{,}9\cdot U_{1н}}{\sqrt{3}\cdot I_{0н}}=5{,}988$ Ом,

где $U_{1н}$ – номинальное линейное напряжение, $I_{0н}$ – ток намагничивания.

$$L_\mu=\frac{x_\mu}{2\pi f}=19{,}0 \text{ мГн}$$

Сравнительная таблица полученных параметров схемы замещения представлена ниже:

Таблица 1 Параметры схемы замещения, рассчитанные разными способами.

Способ расчета	Параметры схемы замещения				
	r_1, Ом	L_1, мГн	r_2', Ом	L_2', мГн	L_μ, мГн
По [1]	0,091	1,044	0,063	0,834	58,27
По [2]	0,036	0,3053	0,02	0,3053	19,0
По справочнику [4]	0,024	0,296	0,014	0,382	15,92

Сравнивая полученные данные, можно заметить, что каждая из величин, рассчитанная по [1], как минимум в три раза больше величины, рассчитанной по

[2]. Полученные параметры по [2] близки к параметрам из справочника [4]. Для проверки их работоспособности в системе компьютерной математики MatLab была разработана имитационная модель пуска асинхронного двигателя (рис 1). Проведена серия компьютерных экспериментов, заключающихся в проверке пусковых параметров и устойчивости работы асинхронного двигателя с различными параметрами схем замещения.

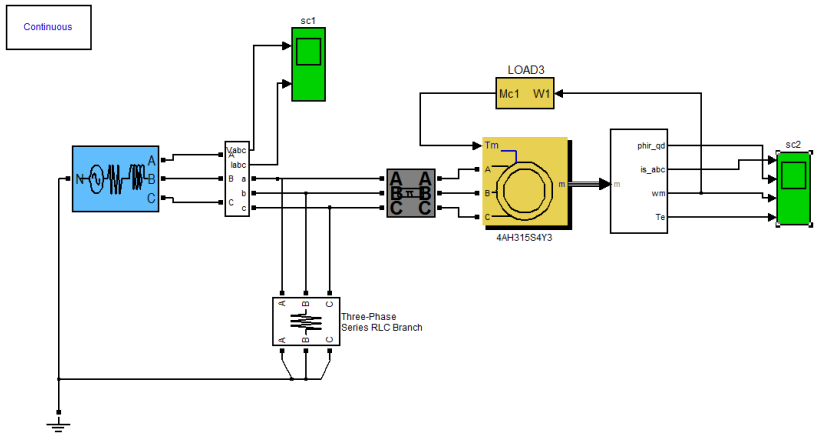


Рисунок 1 – Имитационная модель пуска асинхронного двигателя.

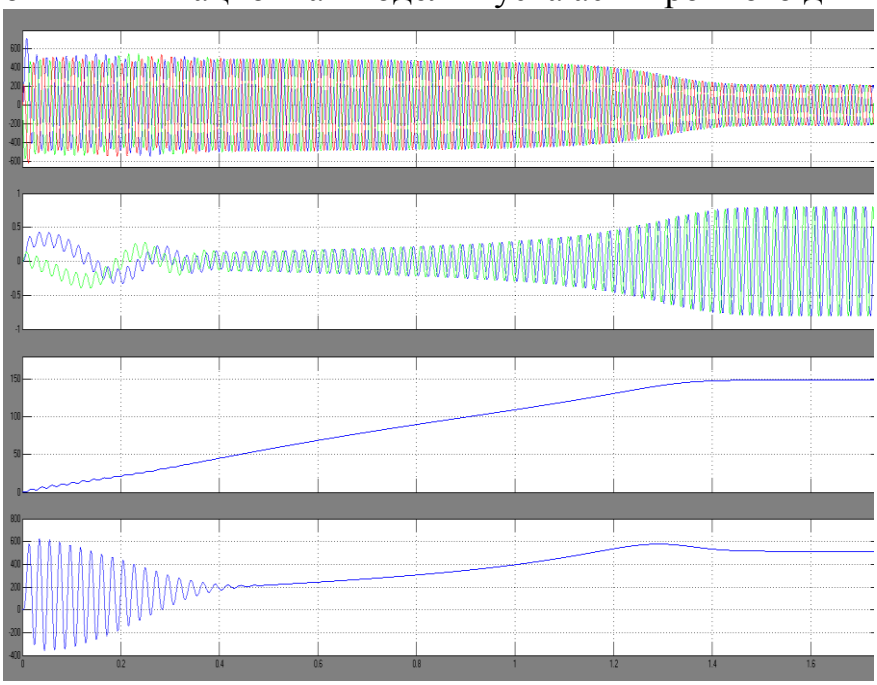


Рисунок 2 – Графики пусковых характеристик асинхронного двигателя спроектированного по [1].

В ходе проведения компьютерных экспериментов выявлено следующее: Запуск асинхронного двигателя с параметрами схемы замещения по [1] и по [2] возможен. Оба двигателя оказались работоспособны, но есть отличия в пусковых характеристиках (рис.2 и рис.3).

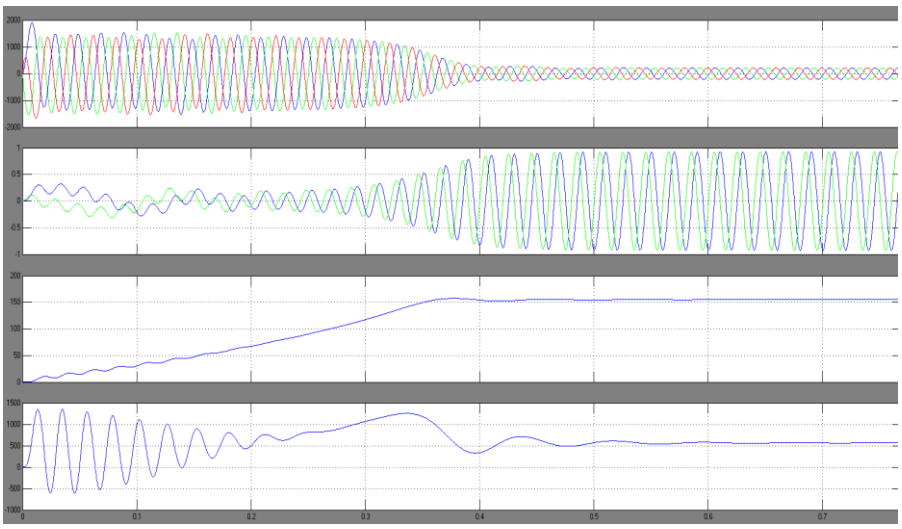


Рисунок 3 – Графики пусковых характеристик асинхронного двигателя спроектированного по [2].

Таблица 2 – Сравнение пусковых величин асинхронного двигателя при различных параметрах схемы замещения.

Способ расчета	Пусковые величины			
	$I_{пуск}$, А	$I_{уст}$, А	$M_{макс}$, Н · м	$M_{уст}$, Н · м
По [1]	709	220	623	513
По [2]	1500	212	1353	564

Двигатель, спроектированный по [2], имеет большой бросок пускового тока, что не есть хорошо, но при этом большую кратность максимального момента, а также время запуска примерно в 4 раза меньшее, чем двигатель, спроектированный по [1]. Двигатель, спроектированный по [1], имеет гораздо меньший бросок пускового тока, но при этом меньшую кратность максимального момента и критически большое время запуска.

В целом, проектирование по [1] является более глубоким, учитывает массу параметров и факторов, но требует значительного количества расчетов и не исключает возможных ошибок. Расчет параметров схемы замещения по [2] имеет место быть, так как позволяет относительно быстро, но с некоторой погрешностью рассчитать параметры схемы замещения. Однако для более детальной проработки двигателя данный расчет не подходит.

Литература

1. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин: учебник для вузов / Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш.шк, 2002. – 757 с.: ил.

2. http://wwwcdl.bmstu.ru/fn7/Gridin.pdf. *Электронный ресурс.* Гридин В.М. Расчет параметров и характеристик асинхронных двигателей. Дата обращения 10.03.2019 г.
3. **Ильинский Н.Ф.** Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 208 с.

4. **Кравчик А.Э.** Асинхронные двигатели серии 4А.Справочник / М.М. Шлаф, В.И.Афонин. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с.: ил.

А.И. Артёменко, асп.; рук. А.С. Коваль, к.т.н., доц.
(ГУВПО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь)

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОЙ НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА

Сегодня частотно-регулируемый ЭП переменного тока основной тип регулируемого привода в лифтах [1]. Особенностью приводов лифтов является работа с меняющейся нагрузкой, что обеспечивает функционирование привода как в двигательных режимах, так и в генераторных (рекуперативное торможение). Если в редукторных приводах лифтов, с учетом к.п.д. редуктора, использование генераторных режимов малоэффективно, то в безредукторных регулируемых приводах появляется возможность использования рекуперированной энергии. Генераторные режимы работы лифта могут прогнозироваться с учетом загрузки кабины лифта и направления её движения. Величина рекуперируемой двигателем привода лифта энергии определяется и скоростью перемещения кабины лифта. Максимальный эффект использования генераторных режимов работы возможен, если номинальная скорость перемещения кабины лифта будет увеличена для всех тех поездок, где возможен такой режим работы [2]. Ограничением увеличения скорости для электропривода лифта, рассчитанного на заданную номинальную скорость перемещения, являются характеристики используемых двигателей [4]. Например, лифтовый синхронный двигатель переменного тока с поверхностным расположением магнитов (СДПМ) допускает увеличение скорости ориентировочно на 20%-30% от номинальной. Увеличение скорости перемещения в пределах круговой поездки (подъем – спуск кабины) кабины лифта в генераторных режимах выше номинальной также формирует предпосылки для увеличения и производительности лифта, которая непосредственно связана со скоростью движения кабины. Оценим, например, возможное изменение в производительности лифтов при работе в круговой поездке с увеличенной номинальной скоростью перемещения кабины до 30% в режиме подъема кабины при её загрузке меньше номинальной (рекуперативное торможения двигателя привода наиболее вероятно). Исходные данные для расчета указаны в таблице 1. Методика расчета приведена в [5]. Пример для расчета взят из [6]. Рассматриваем режимы:

- круговая поездка совершается с постоянной номинальной скоростью движения кабины;
- круговая поездка совершается с увеличенной номинальной скоростью перемещения кабины, например, только при спуске кабины (генераторный режим).

Второй режим создает предпосылки для увеличения производительности лифта. Рассчитаем возможное изменение в этом случае производительности лифта.

Производительность лифта при двустороннем пассажиропотоке [5]:

$$P = \frac{3600 \cdot (y_П + y_C)}{T} \quad (1)$$

Здесь: $y_{п,} y_с$ - коэффициенты заполнения кабины при подъеме и спуске; T - время кругового рейса .

Обозначим: $3600 \cdot (y_П + y_C) = Y$. Тогда (1) имеет вид:

$$P = \frac{Y}{T}$$

Единственная величина, зависящая от скорости лифта - время кругового рейса кабины:

$$T = \frac{2 \cdot H_В + h \cdot (N_П + N_C + 1)}{V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_П + N_C + 1) \cdot t_П] \quad (2)$$

где: $H_в$ - вероятная высота подъема кабины лифта; h – путь движения кабины с неустановившейся скоростью при разгоне и замедлении;
$N_п$, N_c – число вероятных остановок кабины при подъеме и спуске;
V – расчетная скорость установившегося движения кабины; k_t – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты времени; t_0 – затраты времени на ускорение, замедление и пуск лифта, на открытие и закрывание дверей кабины; $t_п$ – затраты времени на вход и выход пассажиров при движении вверх и вниз.

Время кругового рейса T можно представить в виде:

$$T = \frac{a_1}{V} + b \quad (3)$$

где: $a_1 = 2 \cdot H_В + h \cdot (N_П + N_C + 1)$; $b = k_t \cdot [t_0 \cdot (N_П + N_C + 1) \cdot t_П]$

Подставив (3) в (1) получим: $P = \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V}$. Если считать величины: h, t_0, k_t, входящие в выражение (3) неизменными и равными этим значениям при движении кабины лифта с постоянной скоростью верх и вниз, то время кругового цикла при движении с разными скоростями вверх - вниз можно разделить на сумму времени подъема $T_п$ и времени спуска $T_с$ со скоростью $V_C = k \cdot V$ (k – коэффициент увеличения скорости при спуске):

$$T_1 = T_П + T_C = \frac{H_В + h \cdot (N_П + 0{,}5)}{V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_П + 0{,}5) + 0{,}5 \cdot t_П] +$$
$$+ \frac{H_В + h \cdot (N_C + 0{,}5)}{V_C} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_C + 0{,}5) + 0{,}5 \cdot t_П] \quad (4)$$

Преобразуем выражения (4) к виду:

$$T_1 = \frac{(k+1) \cdot H_В + h \cdot [0{,}5 \cdot (k+1) + k \cdot N_П + N_C]}{k \cdot V} + k_t \cdot [t_0 \cdot (N_C + N_П + 1) + t_П] \quad (5)$$

Выражение для T_1 можно представить в виде:

$$T_1 = \frac{a}{k \cdot V} + b \quad (6)$$

где: $a = (k+1) \cdot H_В + h \cdot [0{,}5 \cdot (k+1) + k \cdot N_П + N_C]$.

Подставив (6) в (1) получим выражение производительности лифта с увеличенной скоростью спуска:

$$P_1 = \frac{Y}{T_1} = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a + k \cdot b \cdot V}$$

Изменение в производительности лифта:

$$\Delta P = P_1 - P = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a + k \cdot b \cdot V} - \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V} = \frac{Y \cdot V \cdot (k \cdot a_1 - a)}{(a_1 + b \cdot V) \cdot (a + k \cdot b \cdot V)}$$

В процентном соотношении изменение производительности:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P}{P} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{(k-1) \cdot [H_B + h \cdot (N_C - 0{,}5)]}{H_B \cdot (k+1) + h \cdot [0{,}5 \cdot (k+1) + k \cdot N_П + N_C] + k \cdot V \cdot k_t \cdot [t_0 \cdot (N_П + N_C + 1) + t_П]} \cdot 100\%$$

Результаты расчета изменения производительности для лифта (таблица 1) при изменении скорости спуска в диапазоне (1,1-1.3)□$V_{ном}$ приведены в таблице 2.

Таблица 1. Исходные данные для расчета.

$H_в$, м	h, м	$N_п$	$N_с$	$t_п$, сек.	$t_о$, сек.	k_t
33,6	2,5	12,71	8,02	35,4	10	1,05

Таблица 2. Изменение производительности лифта.

$V_{ном}$	k□$V_{ном}$	ΔP, %
1,6м/с	V=1,1□$V_{ном}$	0,9
	V=1,2□$V_{ном}$	1,62
	V=1,3□$V_{ном}$	2,26
1,0м/с	V=1,1□$V_{ном}$	1,2
	V=1,2□$V_{ном}$	2,3
	V=1,3□$V_{ном}$	3,2

Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6м/с увеличение скорости кабины лифта в круговой поездке при спуске от 10% до 30% от номинальной сопровождается ростом производительности лифта от 0,9% до 2,26%. Для этого же примера, но с номинальной скоростью лифта 1м/с такое же увеличение скорости при спуске дает увеличение производительности от 1,2% до 3,2%.

В рассматриваемом примере круговая поездка - это подъем с нижнего этажа на верхний и обратно. Также, как и загрузка кабины лифта, этажность круговой поездки пассажирских лифтов тоже определяется случайным пассажиропотоком, что не отражено в проведенном расчете.

В [3] в качестве среднестатистической поездки в жилых зданиях для лифтов определена круговая поездка, для которой среднее расстояние при подъеме составляет 9м, а при спуске –11,7м. Рассмотрим и для этого случая круговой рейс кабины с увеличенной номинальной скоростью перемещения движения только вниз.

В этом случае, при допущении одинаковой высоты подъема и спуска, производительность лифта определяется выражением (1).

В формуле расчета времени кругового рейса T с учетом нового значения номинальной скорости движения $V=k\cdot V_{ном}$ сделаем замену:

$$T_2 = \frac{a_1}{k \cdot V} + b = \frac{a_1 + k \cdot b \cdot V}{k \cdot V}$$

Получаем два выражения для времени кругового рейса T:

T первоначальное и T_2, при увеличенной скорости перемещения вниз: $V=k\cdot V_{ном}$.

Тогда производительность лифта при времени круговой поездки T_2 запишем в виде:

$$P_2 = \frac{Y}{T_2} = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a_1 + k \cdot b \cdot V}$$

Изменение производительности лифта:

$$\Delta P_2 = P_2 - P = \frac{Y \cdot k \cdot V}{a_1 + k \cdot b \cdot V} - \frac{Y \cdot V}{a_1 + b \cdot V} = \frac{Y \cdot V \cdot a_1 \cdot (k-1)}{(a_1 + b \cdot V) \cdot (a_1 + k \cdot b \cdot V)}$$

Изменение производительности лифта в процентах

$$\Delta P = \frac{P_2 - P}{P} \cdot 100\% = \frac{a_1 \cdot (k-1)}{a_1 + k \cdot b \cdot V} \cdot 100\%$$

Результаты расчета изменения производительности для лифта (таблица3) приведены в таблице 4.

Таблица 3. Исходные данные для расчета.

$H_в$, м	h, м	$N_п = N_с$	$t_п$,сек.	$t_о$, сек.	k_t
9	2,5	3	17,7	10	1,05

Таблица 4. Изменение производительности лифта.

V	$k\cdot V_{ном}$	ΔP, %
1,6м/с	V=1,1$\cdot V_{ном}$	1,7
	V=1,2$\cdot V_{ном}$	3,3
	V=1,3$\cdot V_{ном}$	4,6
1м/с	V=1,1$\cdot V_{ном}$	2,5
	V=1,2$\cdot V_{ном}$	4,8
	V=1,3$\cdot V_{ном}$	6,8

Для среднестатистической круговой поездки увеличение номинальной скорости от 10% до 30% при движении кабины в одну сторону (вниз) дает расчетное увеличение производительности лифта:

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1м/с от 2,5% до 6,8%;

-при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1,6м/с от 1,7% до 4,6%.

Приведенные расчеты показывают, что наряду с возможным повышением энергоэффективности пассажирских лифтов за круговую поездку за счет увеличения номинальной скорости перемещения кабины лифта в режиме рекуперативного торможения (требует отдельной оценки), увеличение номинальной

скорости перемещения кабины лифта в этих режимах создает предпосылки и для увеличения общей производительности лифта.

Выводы.

С целью повышения энергоэффективности пассажирских лифтов с безредукторной лебедкой возможно увеличение номинальной скорости движения кабины лифтов в пределах круговой поездки в режимах, при которых вероятен генераторный режим работы двигателя. Это увеличение номинальной скорости определяется возможностями используемого двигателя (СДПМ с поверхностным расположением магнитов на роторе – ориентировочно на 20% - 30%). Увеличение номинальной скорости перемещения кабины лифта в пределах круговой поездки создает предпосылки и для увеличения общей производительности лифта. Для лифта с номинальной скоростью перемещения 1,6м/с увеличение скорости кабины лифта в круговой поездке при спуске от 10% до 30% от номинальной сопровождается ростом производительности лифта от 0,9% до 2,26%. Для этого же примера, но с номинальной скоростью лифта 1м/с такое же увеличение скорости при спуске дает увеличение производительности от 1,2% до 3,2%.

Для среднестатистической круговой поездки увеличение номинальной скорости от 10% до 30% при движении кабины в одну сторону (вниз) дает расчетное увеличение производительности лифта:

- при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1м/с от 2,5% до 6,8%;

-при номинальной скорости перемещения кабины лифта 1,6м/с от 1,7% до 4,6%.

Литература

1. Коваль, А.С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А.С. Коваль, А.В. Шваяков // Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2009. – N4 – С.113-120.

2. Гайдукевич В.И. Случайные нагрузки силовых электроприводов/ В.И. Гайдукевич, В.С. Титов. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 159

3. Особенности расчета загрузки пассажирских лифтов/А.А.Бойко// Науково-технічный та виробничий журнал «Підйомно-траспортна техніка». -Вып.1 (41).-Одеса:Інтерпрінт,2014.-С.90-93.

4. Коваль, А.С. К вопросу разработки электропривода пассажирских лифтов с регулируемой номинальной скоростью движения кабины лифта А.С. Коваль, Е.В.Ефименко// Вестн. Беларус. – Рос. ун-та. – 2015. – N1 – С.96-102.

5. Лифты: учеб. для вузов/ Г.Г Архангельский [и др.]; под общей редак. Д.П. Волкова. – М.: изд-во Ассоц. строит. вузов, 1999. – 479 с.

6. Справочное пособие к СНиП2.08-01-89/ Проектирование жилых зданий. Объемно-планировочные решения.М.: Стройиздат.1991г.

А.М. Басин, бак.: рук. Д.И. Баловнев, д.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОДНОКОЛЕСНЫЙ И ДВУКОЛЕСНЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ

На современном этапе значение транспорта неизмеримо выросло. Наибольшую популярность набирает электротранспорт.

Транспорт как особо динамичная система всегда был одним из первых потребителей достижений и открытий самых различных наук, включая фундаментальные.

Дальнейший прогресс транспорта требует использования последних, постоянно обновляемых результатов передовой техники и науки и технологии.

Уницикл – средство передвижения инновационное с системой стабилизации гироскопической (самобалансировки), в виде мотор-колеса, защищенного корпусом внешним. Популярность его растет постоянно благодаря компактности, маневренности, экономичности, экологичности и мобильности.

Рис.1 Устройство моноколеса

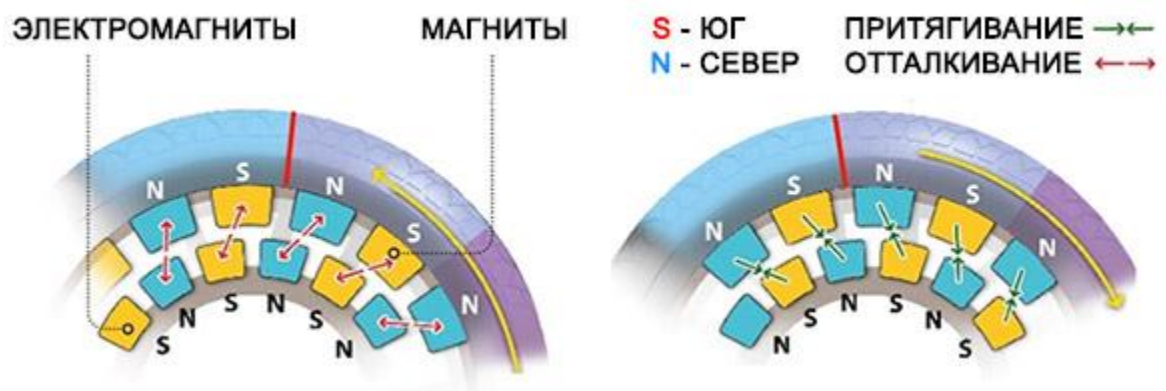


Рис.2 Принцип работы двигателя велосипеда

Состоит из аккумулятора, электрического мотора, датчиков балансировки (гироскопов) и контроллера или материнской платы для управления моноциклом.

Заряда батареи аккумуляторной хватает на 17-67 км пути, для каждой модели этот показатель свой. Скорость может развивать до 25 км/ч.

Принцип действия базируется на функционировании гироскопических датчиков.

Несущей конструкцией центральной является рама. Самым важным элемент - привод, мощность и тип определяются которого во многом целевым назначением. Сегодня в электросамокатах используют два вида привода: мотор-колесо Дуюнова и с использованием цепной передачи.

Эффективным решением конструктивным является мотор-колесо, объединяющем в одном узле электрическую машину и колесо. Существует два основных вида колес: безредукторные и с использованием редуктора.

При использовании безредукторного колеса неподвижно закрепленные на оси обмотки создают магнитное поле, приводящее в движение ступицу с постоянными магнитами.

Электрической энергия пребразуется в механическую в электросамокатах, а в качестве электродвигателей используются как коллекторные, так и бесколлекторные двигатели.

Двигатели простой конструкции коллекторные, и не требуют сложных схем управления. Электрическая машина может быть изготовлен без использования постоянных магнитов и работать как на переменном, так и на постоянном токе. Недостатком этой машины является наличие собственно коллектора, так как механические контакты создают шум и электромагнитные помехи, а также имеют срок службы ограниченный и требуют ухода.

Вентильные машины постоянного тока механических контактов не содержат. Для создания вращающегося поля в вентильных двигателях требуется коммутатор, который формирующий ток в неподвижных обмотках статора на основании текущего положения ротора. Для работы двигателя требуются как минимум две обмотки.

Подъем популярности электровелосипеда – экологически чистого транспорта с ходовыми качествами скутера – растет с каждым годом. Все больше людей предпочитают доступный и практичный электробайк автомобилю.

Мы вступили в век электротранспорта. И если электромобили пока массовыми назвать нельзя, то электроскутеры и электровелосипеды — самое что ни на есть настоящее.

Для разработки контроллера необходимо разобраться с принципом работы самого электродвигателя.

Электртческая машина состоит из фазных обмоток, магнитов и датчиков Холла.

Конструктивно электродвигатели делятся на два типа: прямой и обратной конструкции.

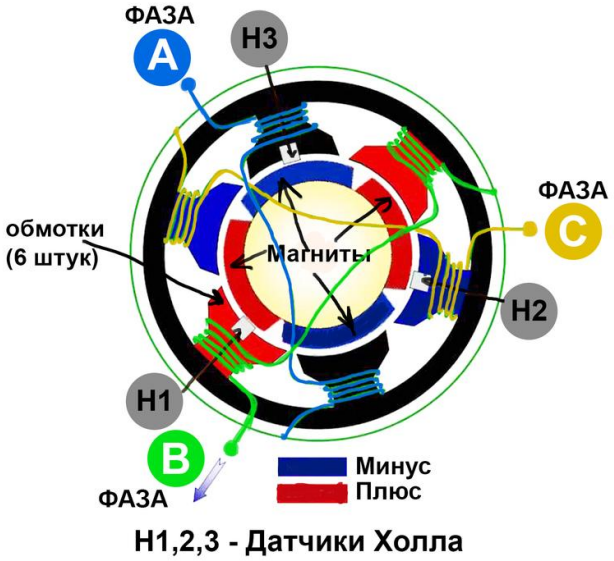


Рис.3 Принцип работы электродвигателя велосипеда

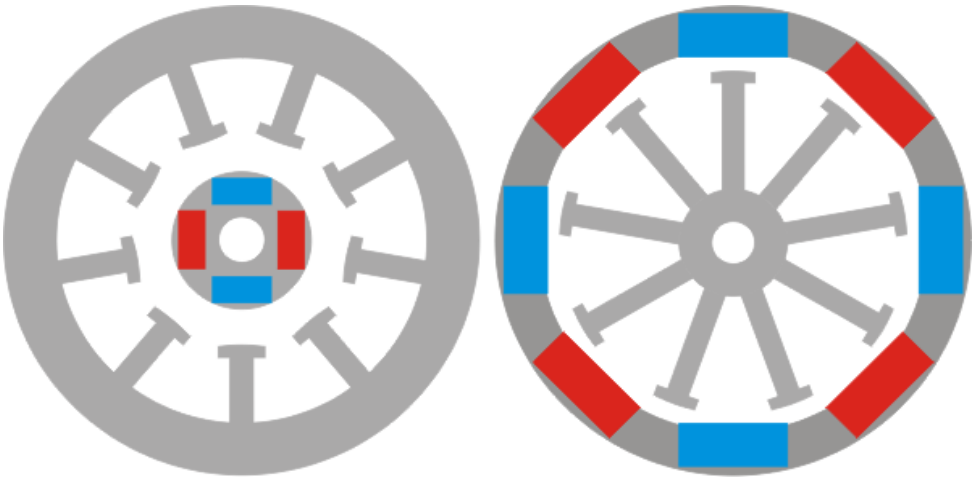


Рис. 4 Расположение магнитов для двух типов конструкций

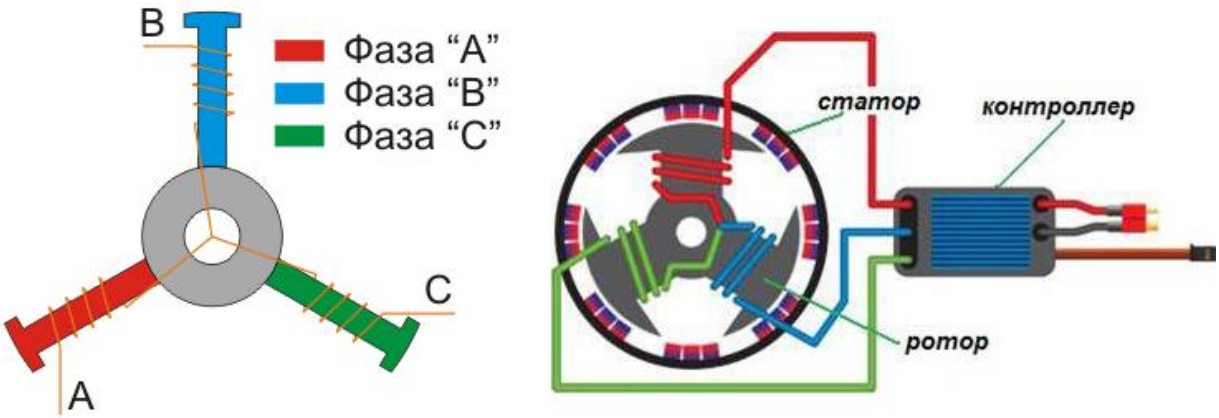


Рис.5 Схема соединения контроллера.

У прямой магнитные пластины крепятся на вал, а обмотки располагаются на барабане (статоре), в этом случае в движение приводится вал. В случае обратной

всё наоборот: на валу — фазные обмотки, а в барабане — магнитные пластины. Это приводит в движение барабан.

Так как у велосипеда колесо крепится валом на раму, то здесь применен тип outrunnera.

На этом рисунке условно представлены три фазы с обмотками, соединёнными между собой. На самом деле обмоток больше, они располагаются равномерно с чередованием по фазам по окружности машины. Чем больше обмоток — тем плавнее, чётче, эластичнее работает двигатель.

В электрической машине имеются три датчика Холла. Они реагируют на магнитное поле, определяя положение ротора относительно статора двигателя. Устанавливаются с интервалами в 60 или 120 электрических градусов. Необходимо учитывать, что чем больше в двигателе обмоток на каждую фазу, тем больше происходит электрических оборотов за один физический оборот мотор-колеса.

Из обзора всего электротранспорта смотря на характеристики, конструктивные особенности и перспективные особенности наиболее перспективным является электротранспорт. В своей диссертации я буду производить расчет двигателя на электровелосипед.

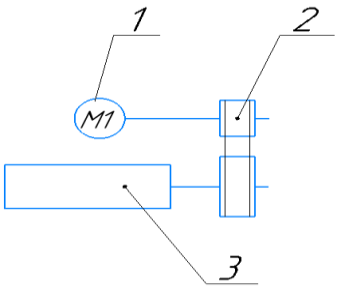
М.А. Василенко, студ.; рук. Л.Г. Черная, к.т.н., доц.,
(Межгосударственное образовательное учреждение
высшего образования «Белорусско-Российский университет»)

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНРТЕРЕФТАЛАТА

Открытое акционерное общество «Могилевхимволокно» является единственным в Республике Беларусь крупным производителем полиэтилентерефталата , который используется для производства полиэфирных волокон и нитей, композиционных материалов, кровельных материалов, геотекстиля, нетканых полотен, ленты обвязочной, пленок, в том числе пищевого назначения. В зависимости от назначения, полиэтилентерефталат подвергают измельчению до гранул определенного размера с последующей обработкой, согласно разработанных технологических регламентов для получения полимера с заданной степенью полимеризации.

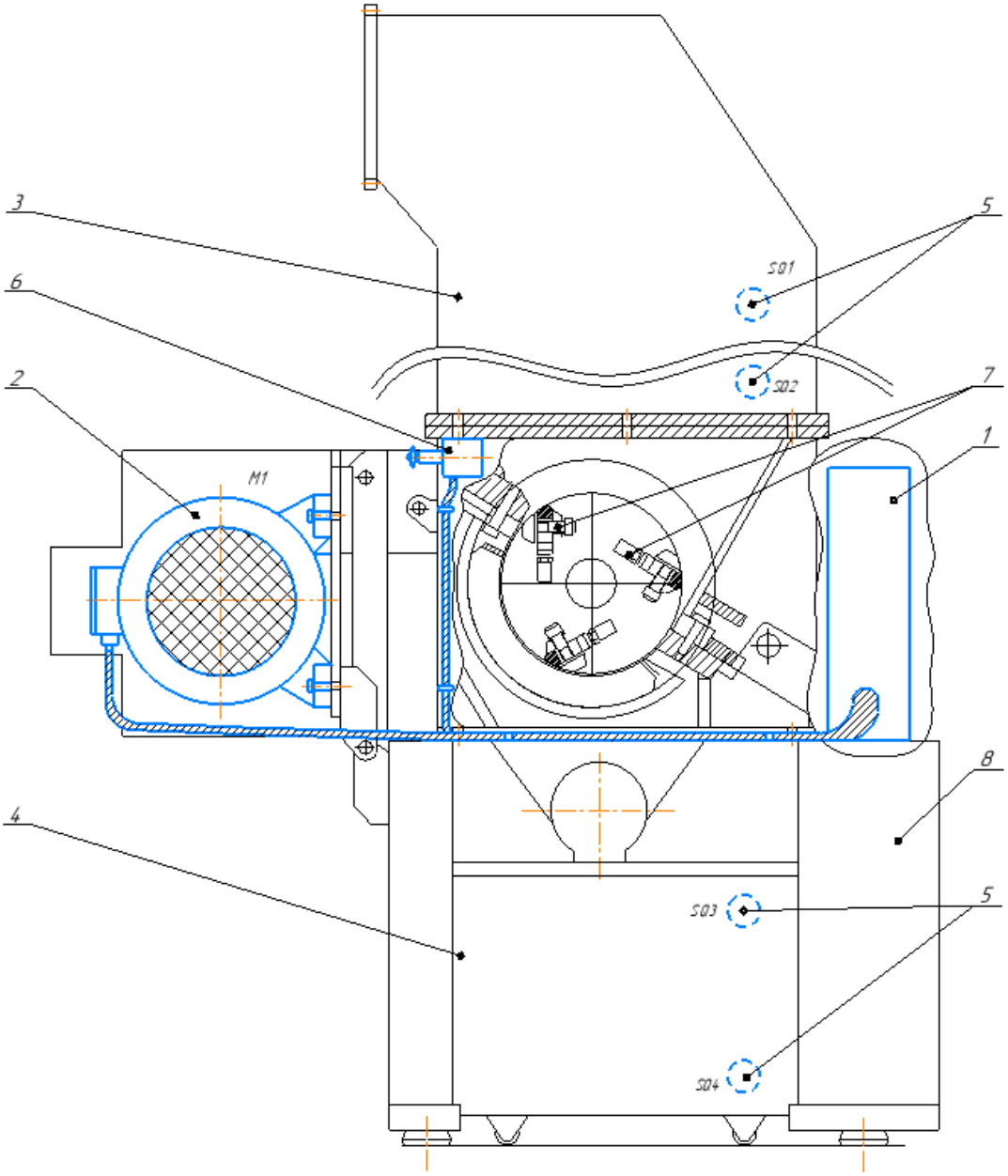
Выпускаемая продукция соответствует мировым стандартам качества, пользуется широким спросом: более 65% производимой продукции поставляется на внешние рынки.

Технологическое назначение гранулятора заключается в измельчении твердых, хрупких или вязких пластмасс. На рисунке 1 изображена кинематическая схема грынулятора.



1 – электродвигатель; 2 - клиноременная передача;. 3- рабочий орган (роторные ножи).

Рисунок 1.2 – Кинематическая схема гранулятора



1 - шкаф управления, 2 – электродвигатель, 3 – верхний бункер, 4 – нижний бункер, 5 – датчик уровня емкостной, 6 – датчик свободного выбега, 7 – крепления статорных ножей, 8 – станина.

Рисунок 1– Общий вид гранулятора

Принцип работы гранулятора: крутящий момент от вала электродвигателя 1 через клиноременную передачу 2 передается на с рабочий орган 3 (ротор с роторными ножами). Измельчаемый материал (пластмасса-полиэтилентерефталат) разрезается внутри гранулятора с помощью острых ножей, а именно, между вращающимися роторными ножами и неподвижными статорными ножами, установленными в корпусе гранулятора.

На рисунке 2 представлен общий вид гранулятора с размещением электрооборудования.

При разработке информационно-управляющей системы автоматизации установки измельчения полиэтилентерефталата должны быть реализованы технические требования к электроприводу. Главными требованиями к электроприводу гранулятора являются: режим работы электродвигателя с переменной нагрузкой и возможность регулирования скорости для обеспечения заданного размера гранул в зависимости от применения полиэтилентерефталата по выбранному назначению.

Наибольшее распространение, согласно указанным требованиям, получили две системы:

– электропривод постоянного тока регулируемый с управляемым выпрямителем;

– асинхронный частотно-регулируемый электропривод.

Эти системы электроприводов позволяют бесступенчато регулировать скорость вращения в требуемом диапазоне регулирования.

Достоинством электропривода постоянного тока регулируемого с управляемым выпрямителем является то, что он обладает линейной механической характеристикой, что упрощает управление его работой. Кроме этого, в электродвигателе постоянного тока, в отличие от асинхронного электродвигателя, существует возможность регулирования скорости вращения вниз от номинальной без применения сложных законов управления. К недостаткам электропривода постоянного тока регулируемого с управляемым выпрямителем можно отнести значительные затраты по его обслуживанию, низкую надежность и низкие энергетические показатели.

Асинхронный частотно-регулируемый электропривод позволяет использовать наиболее надежные и дешевые асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. При частотном регулировании асинхронных двигателей их энергетические характеристики остаются практически неизменными. Также возможность регулируемого пуска позволяет значительно уменьшить потери электроэнергии.

Следовательно, необходимо использовать асинхронный частотно-регулируемый электропривод, позволяющий реализовать требуемую точность регулирования скорости согласно указанным требованиям, при этом данный способ регулирования является более экономичным.

При разработке системы управления технологическим процессом измельчения выбрана информационно-управляющая система автоматизации, базирующаяся на микропроцессорном контроллере и промышленном компьютере.

Можно выделить следующие преимущества применения промышленных информационно-управляющих систем автоматизации:

а) полная автоматизация опроса и регистрации измеряемых параметров;

б) программная и аппаратная совместимость с персональными компьютерами вышестоящих и смежных систем управления;

в) обеспечение высокой надежности работы в экстремальных ситуациях;

г) высокая скорость опроса каналов;

д) высокая достоверность и точность обработки результатов измерений;

е) непрерывный контроль над ходом технологического процесса на экране монитора и регистрация измерительной информации в форме, удобной для дальнейшей обработки по сложным алгоритмам;

ж) архивирование результатов.

В качестве информационно-управляющей системы автоматизации установки измельчения полиэтилентерефталата разработана трёхуровневая системы супервизорного управления с использованием локального микропроцессорного контроллера MicroPC и компьютера промышленного исполнения PC, рисунок 3.

Верхний уровень реализован на промышленном компьютере PC. На компьютер возложены функции: расчета оптимальных режимов работы, отображения хода технологического процесса в форме графического интерфейса, понятном для пользователя, регистрации.

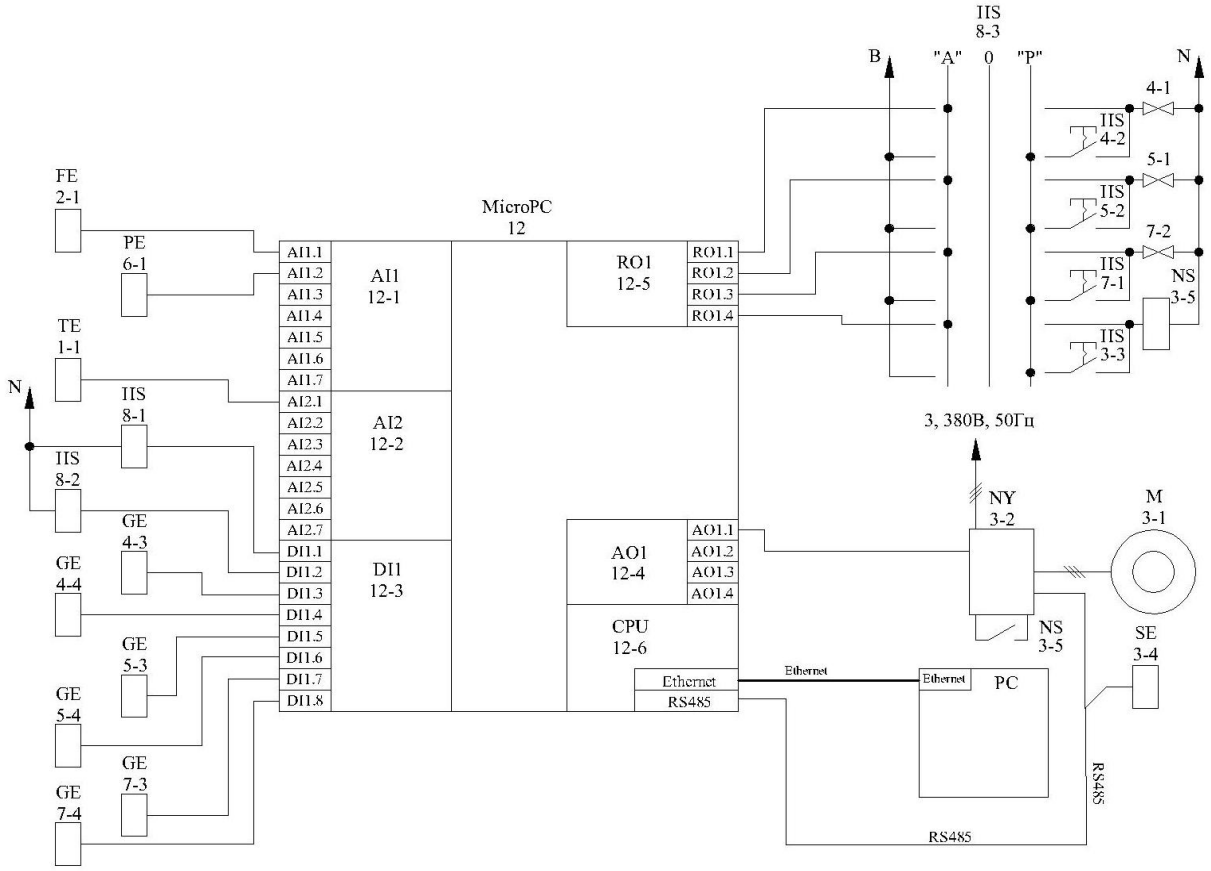


Рисунок 3 – Структурная схема информационно-управляющей системы автоматизации установки измельчения полиэтилентерефталата

Средний уровень реализован на базе свободно программируемого микропроцессорного контроллера MicroPC, обеспечивающего сбор информации, регулирование технологических переменных, программно-логическое управление, а также сигнализацию и блокировку. Связь с датчиками (FE, PE, TE, GE), кнопками (HS 8-1, HS 8-2) и исполнительными механизмами (клапанами 4-1, 5-1, 7-2, реле NS 3-5) осуществляется с помощью подключаемых модулей: аналогового ввода AI1,AI2; дискретного ввода DI1; релейной коммутации RO1; аналогового вывода AO1). В центральном процессорном модуле CPU микропроцессорного контроллера MicroPC имеются следующие интерфейсные разъемы:

– RS-485 (для связи с частотным преобразователем NY, датчиком скорости SE);

– Ethernet (для связи с промышленным компьютером верхнего уровня PC).

Система автоматизации обеспечивает реализацию автоматического и ручного (наладочного) режимов работы с помощью переключателя режимов HS 8-3 и кнопок дистанционного управления HS 4-2, HS 5-2, HS 7-1, HS 3-3.

Разработка информационно-управляющей системы автоматизации установки измельчения полиэтилентерефталата позволила произвести модернизацию электрооборудования гранулятора, заключающуюся в замене нерегулируемого электропривода частотно-регулируемым электроприводом, с возможностью задания различных скоростей вращения и, как следствие, получением гранул измельчаемых пластмасс заданных размеров с требуемой точностью.

В.С. Геркис, студ.; рук. Л.В. Жесткова, ст. преподаватель
(Белорусско-Российский университет, г. Могилёв, Республика Беларусь)

ВАРИАНТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА ФОРМИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ ЖГУТА ПРЯДИЛЬНОЙ ЛИНИИ

Производство химических волокон – одна из важнейших отраслей мировой экономики, динамично развивающаяся, несмотря на изменчивость рынка. Наряду с наращиванием объёма выпуска традиционных волокон и нитей расширяется ассортимент выпускаемой продукции с улучшенными потребительскими свойствами.

Процесс получения полиэфирного волокна включает следующие этапы: формирование элементарных нитей, укладку сформованного жгута в контейнеры, комплектование шпулярника, нанесение препарации, ориентационное вытягивание, гофрирование, термофиксацию, резку и упаковку готового волокна в кипы.

Формование может осуществляться из расплава, полученного как непосредственно в процессе синтеза полимера, так и при плавлении гранулята. После фильтрации в центральном фильтре расплав полимера по обогреваемому расплавопроводу поступает в формовочную балку и затем в дозирующие насосы,

приводимые в действие двигателем постоянного тока через индивидуальную муфту сцепления. Формирование струек расплава происходит в фильерах, вмонтированных в комплекты формовочного устройства.

Охлаждение элементарных струек расплава производится кондиционированным воздухом в обдувочных шахтах различных конструкций. Для снятия электростатического заряда и придания сформованным жгутикам компактности производится их обработка прядильной препарацией.

С каждого места машины формования жгутики собираются в общий жгут и проходят счётчик дефектов с суммирующим устройством. Затем сформованный жгут подаётся на приёмные ролики – секстет, который состоит из трёх пар хромированных роликов с индивидуальным приводом, расположенных в два ряда по три ролика в каждом. Между верхним и нижним рядами роликов секстета имеются регулируемые нитепроводники для регулирования угла обхвата ролика жгутом.

Для изменения линейной скорости жгута диаметр роликов увеличивается по направлению движения жгута с 236 до 240 мм. При этом скорость жгута возрастает на 30 м/мин.

Все новые высокопроизводительные формовочные машины для полиэфирного жгута оборудованы механизмами укладывания жгута с вращающимися зубчатыми колёсами. Соотношение между скоростью выхода жгута с роликов секстета и скоростью колёс жгутоукладчика задаётся сихронизатором скоростей, разница составляет около 10%. В результате обеспечивается необходимое натяжение жгута и исключается провисание и подматывание жгута на роликах секстета.

Затем жгут проходит через направляющую жгутоукадчика и захватывается зубчатыми колёсами, вращающимися навстречу друг другу. Для равномерного натяжения и приёма жгута зазор между зубьями колёс регулируется.

Сформованный жгут укладывается в круглый контейнер, установленный на платформе поворотного стола. Окружная скорость платформы регулируется таким образом, чтобы обеспечить равномерную укладку жгута по сечению контейнера.

Подвижный контейнер в целях равномерной укладки жгута может совершать возвратно-поступательное движение либо в двух взаимно перпендикулярных направлениях, либо только в одном направлении, параллельном фронту машины.

Замена контейнера происходит автоматически. Захватывающий механизм состоит из двух пар упоров, расположенных на разной высоте. После наработки упоры захватывают контейнер и перемещают его на рольганг, а затем устанавливают пустой контейнер на платформу поворотного стола. Для обеспечения одновременной смены контейнеров применяются счётчики метража или датчики веса.

Автоматизация технологического процесса является одним из важнейших резервов снижения затрат на производство продукции и повышения её качества. Основными предпосылками внедрения автоматизированной системы управле-

ния технологическим процессом формирования и укладки жгута являются: необходимость увеличения быстродействия и надёжности системы; участившиеся случаи отказов с последующим ремонтом и устаревшая релейно-контакторная схема управления.

К автоматизированной системе управления участка формирования и укладки жгута прядильной линии предъявляются следующие основные требования:

1) обеспечение эффективной и безотказной работы прядильной машины во всех предусмотренных режимах;

2) наличие контрольно-сигнальных устройств, подтверждающих правильность срабатывания механизмов, выдерживание заданных режимов работы;

3) возможность ручного управления машиной (в случае отказа автоматики), а также отдельными агрегатами (при выходе из строя некоторых механизмов машины);

4) наличие защитных блокировок, предотвращающих попадание обслуживающего персонала в опасные зоны, а также возникновение аварийных ситуаций;

5) доступность элементов системы для осмотра, замены и ремонта;

6) контроль и регулирование основного технологического оборудования.

Одним из вариантов модернизации электрооборудования участка формирования и укладки жгута является замена релейно-контакторной системы управления на систему управления, построенную с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК), которая будет полностью отвечать указанным требованиям.

С помощью подключения к ПЛК дополнительных модульных элементов можно изменять количество его входов и выходов. К входам ПЛК могут быть подключены кнопки, датчики технологических параметров, к выходам - клапаны, реле. Как правило, фирмы, производящие ПЛК, предлагают различные интерфейсы связи: RS-232, RS-485, Ethernet и др., что упрощает процесс коммутационного обмена между внешними вычислительными устройствами. Работа ПЛК представляет собой цикл, состоящий из трёх этапов: опрос входов; выполнение пользовательской программы; запись значений на управляющие выходы.

В рассматриваемом варианте модернизации электрооборудования участка формирования и укладки жгута предложено использовать ПЛК фирмы Delta Electronics серии DVP, которые дают возможность создать высокоэффективную систему автоматического управления при невысоких затратах на приобретение оборудования.

Преимуществами контроллеров Delta Electronics являются:

– высокая производительность (до 0,24 мкс на базовую команду);

– широкий функционал, в том числе высокоскоростные счетчики, высокочастотный вывод до 500 кГц, встроенные команды линейной и круговой многоосевой интерполяции и прямое исполнение G-кодов и M-кодов;

– большая номенклатура модулей расширения, в том числе ввод сигналов от термопар, термометров сопротивлений, унифицированных токовых и анало-

говых сигналов с разрешением до 14 бит, модулей позиционирования, скоростных входов и выходов [1].

Delta Electronics предоставляет бесплатное программное обеспечение для своих ПЛК, что позволяет использовать известные языки IL, LAD, SFC для их программирования. Контроллеры могут работать в реальном масштабе времени и применяться для построения узлов локальной автоматики и систем распределенного ввода-вывода с организацией обмена данными по RS-485 (MODBUS), DeviceNet, CANopen, Profibus, Ethernet интерфейсам. Контроллеры Delta Electronics сочетаются с панелями оператора, частотными преобразователями и сервоприводами различных производителей.

Работа участка формирования и укладки жгута прядильной машины реализована в двух режимах: ручном и полуавтоматическом. В полуавтоматическом режиме управление осуществляется за счёт ПЛК, а в ручном – с помощью кнопок с пульта оператора, обеспечивающих работу отдельных механизмов.

Новые технические решения в предложенном варианте модернизации заключаются в следующем.

В первую очередь был убран вариатор регулирования скорости поворотного стола. Изменение скорости поворотного стола предложено производить с помощью преобразователя частоты через интерфейс RS-485.

На шесть двигателей секстета поставлен один общий преобразователь частоты, что позволит точнее контролировать скорость двигателей, так как задание будет поступать от одного источника.

Установлены концевые выключатели: для контроля закрытых ограждений на секстете; для контроля обрыва жгута на жгутоукладчике; для подсчета пройдённых оборотов контейнера; для контроля положения захвата контейнера и положения самого устройства замены.

Было добавлено устройство для автоматической обрезки жгута. Дополнительно установлен датчик контроля уровня жидкости. Сложное устройство для контроля обрыва жгута заменено на простое устройство, предложенное одним из сотрудников предприятия. В алгоритм программы был добавлен блок автоматической подачи пустого контейнера.

Сложная система контроля состояний прядильной линии через все вышеперечисленные устройства позволяет точно установить место возникновения неисправности.

Был разработан пульт оператора для ручного управления, контроля и настройки линии.

Новая автоматизированная система управления участком формирования и укладки жгута прядильной линии позволила избавиться от услуг оператора; от частых перенастроек времени оборота стола, так как пустой контейнер устанавливался вручную и обрезка жгута происходила вручную. Облегчился поиск неисправного устройства, т.к. на семисегментный индикатор на пульте выводится номер ошибки. Система компактна и позволяет собирать продукцию в контейнеры и в дальнейшем отправлять её на тот вид обработки, который необходим, т.е. работать в том направлении, которое востребовано на рынке.

Замена коммутационной аппаратуры на аппаратуру фирм-производителей «ОВЕН» , «Meyertec» , «Siemens» , «Omron» и др. позволила повысить надёжность, улучшить эргономичность и обеспечить визуализацию состояния технологического процесса. Разработка единого пульта управления для прядильной линии позволило улучшить обслуживание этой установки.

Предлагаемый вариант модернизации системы автоматического управления участка формирования и укладки жгута прядильной линии позволяет отказаться от оператора, повысить надёжность и безопасность производства, увеличить производительность установки, снизить затраты на электроэнергию и тем самым сократить себестоимость выпускаемой продукции.

Литература

1 Программируемые контроллеры. Каталог продукции DELTA Electronics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.delta-electronics.info/PLC (дата обращения: 12.03.2018).

М.А. Екименков, студ.; рук. В.В. Льготчиков, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ВОЗМУЩАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЕГО УЧЁТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Разрабатывая электропривод, инженер, как правило, сталкивается с проблемами стопорения механизма. Такие проблемы называются возмущающими воздействиями. С ними так же встречаются в лаборатории микропроцессорной техники нашего института. В частности, в не так давно установленных стендах, микропроцессорного управления следящим электроприводом, шток автомобильного корректора фар застревает в крайних положениях. Что чревато временным выходом стенда из строя. Однако в ликвидации этой проблемы имеется и современный микропроцессорный метод разрешения. Его стоит изучить.

Возмущающим воздействием считается момент сопротивления или нагрузки M_c, изменения которого могут вызвать значительные динамические ошибки даже в следящей системе, предварительно скорректированной для заданного типового управляющего воздействия, но без учёта возмущения.

Обратимся к САУ (Система Автоматического Управления) с обратными связями по выходному углу и его первой производной. Для устранения влияния возмущения здесь может быть применена положительная жёсткая обратная связь по этому возмущению. Она может осуществляться с помощью различных датчиков момента, таких как проволочные, полупроводниковые, мессдозы, прессдукторы и др.

Физика работы этой обратной связи вкратце сводится к следующему. Если момент сопротивления нагрузки постоянен $M_c = const$, то при установившемся режиме напряжение ошибки u_δ будет иметь постоянную составляющую $u_\text{М}$, а, следовательно, уменьшится ошибка установившегося режима.

Если теперь положить, что момент сопротивления изменяется во времени независимо от управляющего воздействия $\theta_з(t)$, то с ростом $M_c(t)$ пропорционально возрастают сигналы $u_{у1}$ и $u_Д$. Вместе с $u_Д$ возрастают ток и момент двигателя $M_Д$ (принято $L_я \approx 0$). Следовательно, теоретически одновременно с изменениями момента сопротивления изменяется момент двигателя, компенсирующий эти изменения, и дополнительной ошибки, связанной с возмущением, не возникает. Система автоматического управления, как говорят, становится инвариантной по отношению к возмущению [1].

Физика работы САУ, естественно, подтверждается математическим описанием. Ниже записана система уравнений, составленных для всех элементов и связей САУ:

$$\delta = \theta_з - \theta_{ос}; \quad (1)$$

$$u_\delta = K_1 \delta; \quad (2)$$

$$u_у = u_\delta - k_д \frac{d\theta_{ос}}{dt}; \quad (3)$$

$$u_Д = K_2 u_{у1}; \quad (4)$$

$$C_M I_к - \beta \frac{d\theta_{ос}}{dt} - M_c = J \frac{d^2\theta_{ос}}{dt^2}. \quad (5)$$

$$u_{у1} = u_у + u_М; \quad (6)$$

$$u_М = K_М M_c. \quad (7)$$

Здесь к уравнениям системы, записанным без обратной связи по возмущению, добавились уравнения (6) и (7), описывающие обратную связь. Связь, как было указано, - положительная и безынерционная, поэтому её выходной электрический сигнал $u_М$ прямо пропорционален моменту сопротивления M_c. Система уравнений (1) – (7) соответствует структурной схеме на рисунке 1. Но с незначительными изменениями.

Еже ли используется датчик тока, то, придерживаясь пропорциональности момента и тока, из уравнения движения получаем:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_c; \quad (8)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = kI_{дв} - kI_c; \quad (9)$$

$$I_c = I_{дв} - \frac{J}{k} \frac{d\omega}{dt}. \quad (10)$$

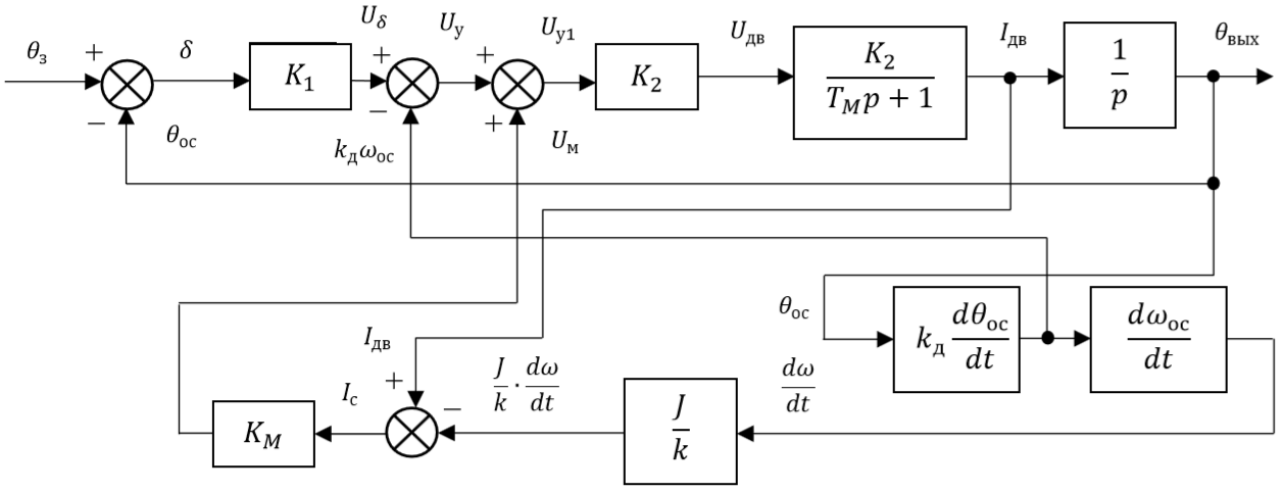


Рис. 1 Структурная схема системы с коррекцией по возмущающему воздействию

Таким образом, получается, что мы снимаем с двигателя ток и берём вторую производную от выходного сигнала, затем согласно (10) вычисляем I_c. При этом отношение J/k подбираем в процессе настройки сами (если этот параметр невозможно определить).

Исключив из полученной системы уравнений (1) – (7) все переменные, кроме $\theta_з, \delta$ и M_c, получим следующее уравнение ошибки в изображениях:

$$Jp^2\delta + \left(\beta + \frac{C_M K_2 k_д}{r_я}\right)p\delta + \frac{C_M K_1 K_2}{r_я}\delta =$$
$$= Jp^2\theta_з + \left(\beta + \frac{C_M K_2 k_д}{r_я}\right)p\theta_з + \left(1 - \frac{C_M K_2 K_M}{r_я}\right)M_c. \qquad (11)$$

Для получения передаточной функции по возмущению $W_M(p)$ принимается в (11)

$$\theta_з = 0 \qquad (12)$$

и записывается следующее выражение:

$$W_M(p) = \frac{\delta}{M_c} = \frac{1 - \frac{C_M K_2 K_M}{r_я}}{Jp^2 + \left(\beta + \frac{C_M K_2 k_д}{r_я}\right)p + \frac{C_M K_1 K_2}{r_я}}. \qquad (13)$$

Предполагается, что величина $k_д$ выбрана нужной для коррекции без учёта возмущения. В этом случае нельзя изменять знаменатель.

Для инвариантности САУ необходимо, чтобы передаточная функция по возмущению равнялась нулю,

$$W_M(p) = 0. \qquad (14)$$

Следовательно, условие ивариантности для рассматриваемого случая получается приравниваем к нулю числителя передаточной функции (13)

$$1 - \frac{C_M K_2 K_M}{r_я} = 0, \qquad (15)$$

или

$$K_M = \frac{r_я}{C_M K_2}. \qquad (16)$$

Согласно этой формуле, достаточно правильно выбрать коэффициент передачи обратной связи по возмущению K_M, для того чтобы в рассматриваемой САУ ошибка не изменялась при любых изменениях момента сопротивления M_c [3].

Однако, в бывают случаи, когда коэффициент K_M через параметры двигателя не выразить (некоторые микромашины, в том числе двигатель электропривода, упомянутого в начале доклада). Но уравнение (11) напоминает уравнение математического маятника, где $C_M K_1 K_2 / r_я$ является амплитудой сигнала рассогласования. Соответсвенно можно подобрать нужное значение коэффициента усиления.

Очевидно, что точность компенсации ошибки, вызываемой моментом сопротивления, зависит в реальных САУ от точности поддержания параметров. В рассматриваемом случае, например, коэффициент K_M зависит от сопротивления якоря $r_я$, изменяющегося с температурой обмотки, и от коэффициента усиления преобразователя K_2, изменяющегося в связи с «насыщением» электрической машины.

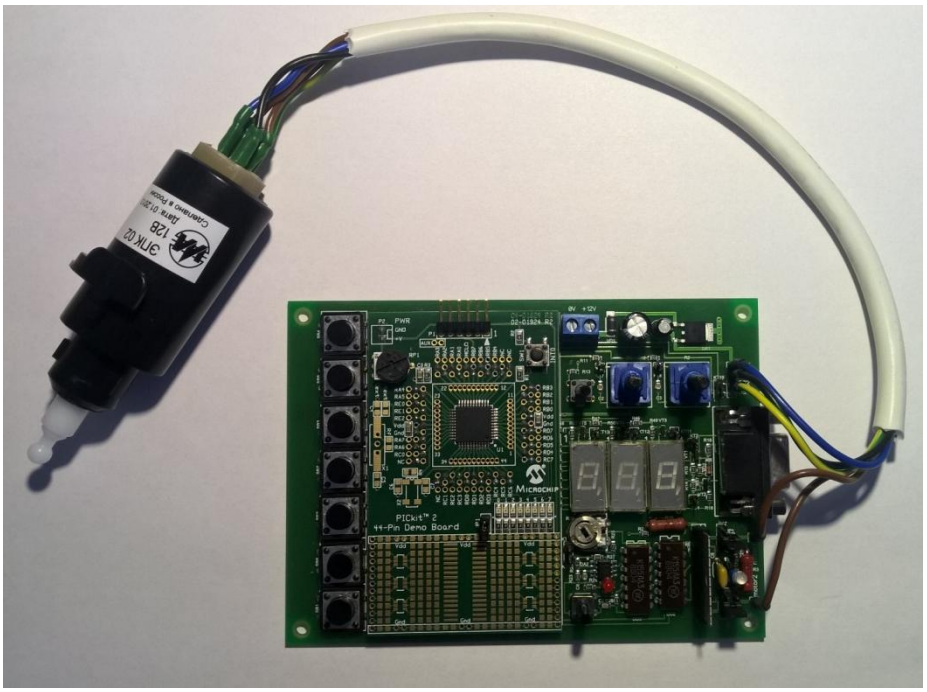


Рис. 2 Лабораторный стенд микропроцессорного управления следящим электроприводом

Опишем процесс вычисления I_c согласно (10). Лабораторные испытания проводились на стенде (рисунок 2) микропроцессорного управления следящим электроприводом. Его проблема была описана выше. Нам потребуется значение тока двигателя, которое мы возьмём с датчика тока, подключенного к третьей ножки PORTA микроконтроллера, и преобразуем в АЦП (Аналого-Цифровой Преобразователь). Попутно возьмём вторую производную от выходного сигнала. Подобранный коэффициент J/k, домножаем на значение производной. Далее вычитаем из величины тока двигателя, найденное перед этим, произведение. И

умножаем коэффициент K_M на I_c. Так как ОС положительная, то к u_y прибавляем u_M. Полученный сигнал подаём на выход микроконтроллера CCPR1L.

Программное решение регулятора с коррекцией по возмущающему воздействию в докладе приведена не будет. Стоит лишь дополнить, что при проверке работоспособности полученного программного кода, удалось избавиться от застревания штока в крайних положениях. А это значит, и ликвидировать простой стенда при возникновении данной проблемы.

Литература

1. Гусев Н.В., Букреев В.Г. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие /Н.В. Гусев, В.Г.Букреев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 213с.
2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с., ил.
3. Лифанов В.А. Расчёт электрических машин малой мощности с возбуждением от постоянных магнитов: учебное пособие / В.А. Лифанов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Челябинск: Издательский центр ЮурГУ, 2010. – 164 с.

Д.О. Зуев, магистр; рук. В.А. Михайлов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ

Промышленные предприятия, расходуя значительные количества топлива, тепловой и электрической энергии, являются источниками вторичных тепловых энергоресурсов (ВЭР) в виде различных технологических потоков, продуктов сгорания, вторичного пара и конденсата [1]. Использование средне- и низкопотенциальных ВЭР на предприятиях позволяет снизить энергопотребление на 15-20%.

С целью полезного использования избыточных ВЭР предприятий возможна передача их в системы централизованного теплоснабжения и уменьшения тепловых нагрузок существующих ТЭЦ и котельных [2]. Схема работы системы теплоснабжения по предложенному варианту представлена на рисунке 1. Передача избыточной теплоты промышленных предприятий происходит следующим образом: обратную воду подают в утилизаторы теплоты 16, где она нагревается до 60-70°С и с помощью дополнительного подкачивающего насоса 12 направляют через задвижку 9 в коллектор прямой сетевой воды ТЭЦ. При этом задвижки 8, 20, 21 находятся в закрытом состоянии. В случае полного отключения потребителей от теплосети возможна подача обратной воды после сетевого насоса 2 через открытую задвижку 20 в подающий трубопровод предприятия, из которого по перемычке с задвижкой 21 она поступает в теплоутилизаторы. Задвижка 19 при этом должна быть закрыта. Во втором варианте охлажденный и обеспаренный конденсат из сборных баков 14 с помощью конденсатных насосов прокачивается через утилизаторы 16 и транспортируется на источник теплоснабжения, где охлаждается в водоводяном теплообменнике 4,

установленном между основным сетевым подогревателем 3 и пиковым котлом 5. При включенном пиковом котле эта схема позволяет уменьшить в нем расход топлива.

Представленная схема предусматривает использование в качестве источника теплоты паротурбинную ТЭЦ. Однако она может быть применена и при теплоснабжении от котельной. Достигаемый при этом топливный эффект будет различным.

Экономическая оценка использования избыточных ВЭР в системах теплоснабжения определяется по приросту интегрального эффекта, руб:

$$\Delta Э_{ин} = \sum_{t=0}^{T}(\Delta И_т + \Delta И_{ос} - С_Q^{пп} \cdot \Delta Q_{взр}^{г}) \cdot \left(\frac{1+h}{1+E}\right)^t \cdot (1 - н) - \Delta К_{рек}, \quad (1)$$

$$\Delta И_т = \frac{С_т \cdot y_{тф}}{Q_н^р} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{этф}} - \frac{1}{\eta_э^р}\right) \cdot \Delta Q_{взр}^{г}, \quad (2)$$

$$\Delta И_{ос} = \sum_{\lambda=1}^{n} В_{ит} \cdot V_{ит} \cdot \eta_\lambda \cdot С_\lambda \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

$$С_Q^{пп} = \left(\frac{\Delta И_{пер} + \Delta И_{аро} + \Delta И_{тп}}{\Delta Q_{взр}^{г}}\right) \cdot \left(1 + \frac{r}{1-н}\right), \quad (4)$$

$$\Delta К_{рек} = К_{то} + К_н + К_{арм}, \quad (5)$$

где $\Delta И_т$, $\Delta И_{ос}$ – экономия топлива на источнике теплоснабжения и уменьшение платы за вредные выбросы, руб/год;

$С_Q^{пп}$ – удельная стоимость отпущенной от промпредприятия руб/ГДж; $\Delta Q_{взр}^{г}$ – количество тепловой энергии, отпущенное за счет ВЭР, ГДж/год; $\Delta И_{пер}, \Delta И_{аро}, \Delta И_{тп}$ – увеличение эксплуатационных затрат на перекачку теплоносителя, амортизацию, ремонт и обслуживание дополнительно устанавливаемого оборудования, изменение стоимости тепловых потерь, руб/год;

$\Delta К_{рек}, К_{то}, К_н, К_{арм}$ – капиталовложения суммарные в реконструкцию системы и установку теплообменного оборудования, насосы, арматуру с учетом монтажа, руб.

Как видно из приведенных формул, в них отсутствует количественная оценка изменения надежности отпуска теплоты от источника теплоснабжения.

Расчеты $\Delta Э_{ин}$ выполнены на примере действующего промышленного предприятия по изготовлению резинотехнических изделий с установленными подогревателями отопления, в которые в летний период подается оборотная вода для конденсации вторичного пара и охлаждения конденсата. В зависимости от степени загрузки предприятия тепловая мощность, которую необходимо отвести при конденсации пара, изменяется в пределах 7-10 МВт.

Отпуск заданного количества теплоты при температуре 65°С на горячее водоснабжение производится регулированием расхода воды в системе. В качестве источника теплоснабжения рассматривались ТЭЦ с ПТУ на начальные давления 13 МПа и котельная с водогрейными котлами. Замещение электрической мощности производилось за счет конденсационной выработки энергии на турбине Т-110/120-130, установленной на ТЭЦ.

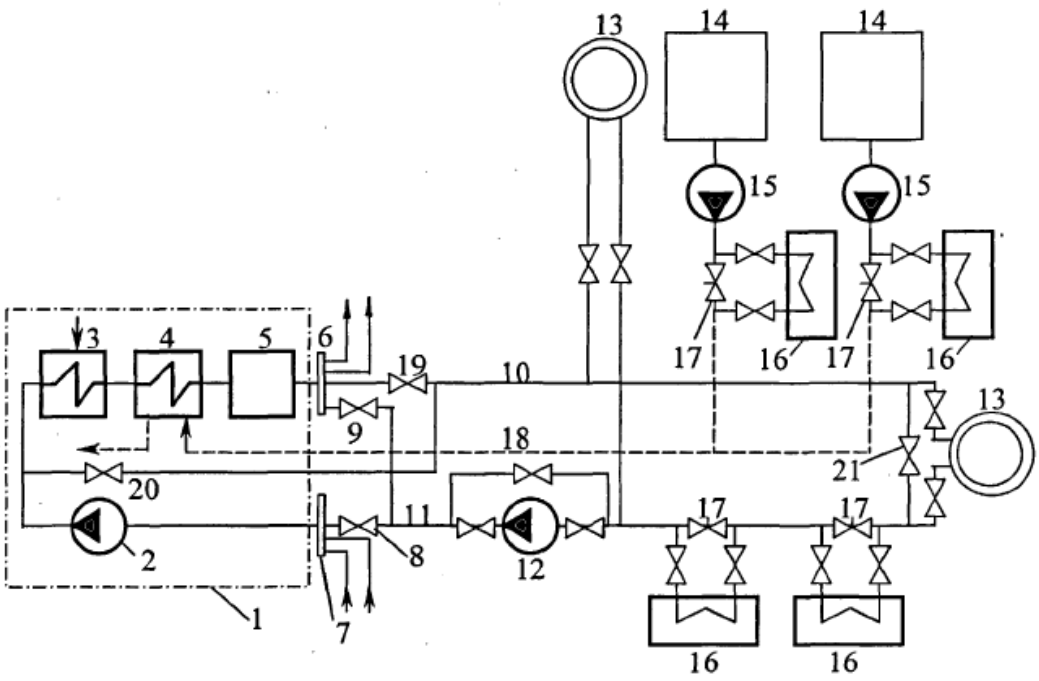


Рисунок 1 – Способ использования избыточных ВЭР промышленных предприятий в централизованных системах теплоснабжения: 1 – теплоподготовительная установка ТЭЦ, 2 – сетевой насос, 3 – основной сетевой подогреватель ТЭЦ, 4 – охладитель конденсата, 5 – пиковый котел, 6,7 – коллекторы прямой и обратной сетевой воды, 8,9,19,20,21 – запорные задвижки, 10,11 – трубопроводы прямой и обратной воды, 12 – дополнительный подкачивающий насос, 13 – тепловые потребители, 14 – сборные баки конденсата, 15 – конденсатные насосы, 16 – теплоутилизаторы, 17 – регулирующие клапаны, 18 – конденсатопровод.

Вычисления проводились при следующих исходных данных: $C_т$ =0,6 руб/кг, $y_{тф}$ =0,55, $\eta_{э,тф}$ =0,306 (Т-110/120- 130), $\beta_{пер}$ =0,006, $\eta_{тр,т}$ =0,95, E=0,1, h=0,05, температурный график 65/40°С. Стоимость дополнительно устанавливаемого оборудования оценена по прайс-листам завода АО «Белэнергомаш», монтажные работы приняты в размере 50% от стоимости оборудования. Результаты расчетов схемы при утилизации теплоты ВЭР обратной сетевой водой для $\Delta Q_{вэр}$=3 МВт показаны в табл.1.

Таблица 1

Результаты экономических расчетов использования ВЭР промпредприятий в системах теплоснабжения

Наименование показателя и единицы измерения	**Источник**	
	ТЭЦ	**Котельная**
1 .Количество отпущенной теплоты за счет ВЭР,·10^3 ГДж/год	50,6	50,6
2.Экономия топлива на источнике, млн. кг/год	0,26	2,02
3.Уменьшение теплофикационной выработки электроэнергии, млн.кВт·ч/год	7,8	-
4.Стоимость сэкономленного топлива, млн.руб/год	0,15	1,21
5.Уменьшение платы за загрязнение окружающей среды, тыс.руб/год	0,1	0,34

6.Увеличение затрат на перекачку теплоносителя, тыс.руб/год	35,1	35,1
7.Стоимость тепловых потерь, тыс.руб/год	34,6	34,6
8.Капиталовложения в насосы и арматуру, млн.руб	1,07	1,07
9.Стоимость эксплуатации дополнительного и существующего оборудования для отпуска избыточной теплоты, млн.руб/год	0,37	0,37
10.Срок окупаемости, год	-	1,7

По результат расчета следует заметить, что положительный эффект получается при утилизации ВЭР в системах теплоснабжения с котельными и ТЭЦ среднего давления.

Таким образом, использование избыточных ВЭР в системах централизованного теплоснабжения экономически оправдывается при замещении тепловых нагрузок котельных и ТЭЦ с низкими начальными параметрами пара. Для современных ТЭЦ высокого давления замещение теплоты из отборов в летний период экономически неэффективно. При этом наибольший эффект получается при замещении теплоты котельной.

Литература

1. Данилов О.Л., Гаряев А.Б., Яковлев И.В., Клименко А.В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов – Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.

2. А.с. 1772529 СССР, МКИ A1 F 24 D 3/02. Способ утилизации теплоты в системах теплоснабжения промпредприятий / Ю.М. Хлебалин, Ю.Е. Николаев, В.В. Захаров, Ю.В. Мусатов.

В.В. Иванова, маг.; рук. В.А. Михайлов, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПАРАМЕТРЫ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ТЕПЛИЦ СВЕТОНЕПРОНИЦАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ

В последние годы очень остро стоит вопрос ипортозамещения в России. В этих условиях необходимо оптимизировать и расширять объемы производства как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Что касается сельского хозяйства, в развитии нуждаются как животноводство, так и растениеводство. Если первое можно интенсифицировать путем рационального и продуманного использования и подготовки кормовой базы, то последнее нуждается в более детальной научно обоснованной проработке. Так как из-за погодно-климатических особенностей (неожиданные заморозки, затяжная весна, поздняя осень, проливные дожди и т.д.) средней полосы России диапазон температур в течение года достаточно широкий (климатическая норма января ≈-20 °С, а климатическая норма июля ≈+17 °С), а почва в части регионов весьма скудна, то многие области, как например Смоленская, являются зонами рискованного земледелия.

Это означает, что ведение растениеводства не гарантирует урожайности, которая покрывала хотя бы затраченные ресурсы.

Выходом из ситуации для овощного сельского хозяйства является использование теплиц и тепличных комплексов. В теплицах, в отличие от прочих строений защищенного грунта, поддерживается определённый микроклимат. Наряду с этим наблюдаются в течение суток сравнительно небольшие колебания температуры и влажности. Благоприятные условия и наиболее выгодные режимы работы оборудования создать при правильной организации вентиляции, орошения и обогрева.

Теплицы используются для выращивания рассады, теплолюбивых ягодных и овощных культур. Основное назначение теплиц состоит в получении рассады для открытого и закрытого грунта, а также в производстве свежих овощей. Также очевидным преимуществом теплиц является защита растений от болезней и вредителей.

Зачастую теплицы имеют светопрозрачную кровлю, что приводит к некоторым сложностям в процессе их эксплуатации в зимнее время [1].

В данной работе обосновывается эффективность теплицы со светонепроницаемой конструкцией.

Светопроницаемое покрытие обосновывается только доступностью для растений электромагнитного излучения от солнца. В этом случае то излучение сплошного спектра солнца, которое будет достигать растений, будет характеризоваться пропускающей способностью покрытия теплицы.

В составе растений присутствуют пигментные вещества, которые по-разному реагируют на электромагнитные волны различной длины. Например, пигменты, восприимчивые к излучению красного спектрального диапазона, отвечают за развитие корневой системы и созревание плодов. Пигменты, чувствительные к синей составляющей света, играют важную роль в увеличении зеленой массы растения. Лучи зеленого светового спектра стимулируют фотосинтез в листьях нижнего яруса, куда практически не попадают красные и синие световые волны. На рисунке показана зависимость величины поглощения излучения растениями от его длины волны.

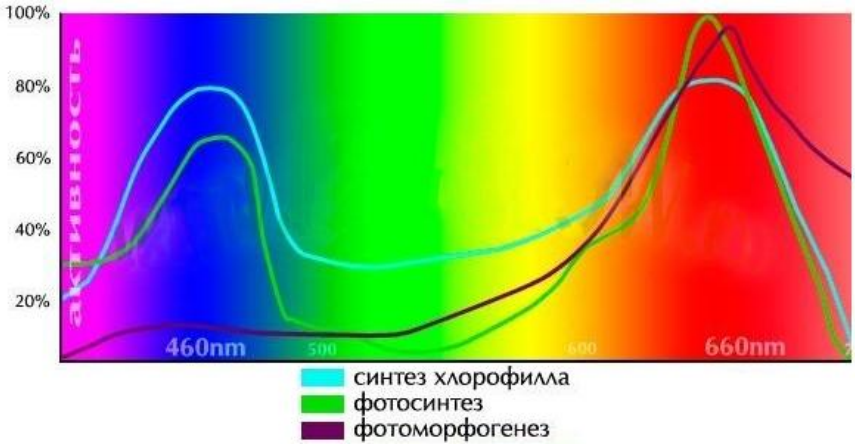


Рисунок – Поглощение излучения растениями в зависимости от его спектрального состава

Как видно из рисунка, максимальное поглощения излучения растениями приходится на сине-фиолетовую (≈460 нм) и красную (≈660 нм) области. Остальное излучение в малой степени или практически не поглощается растениями. Также в спектре источника должен присутствовать ближний ультрафиолет (315–380 нм), который замедляет вытягивание стебля, повышает холодоустойчивость и бактерицидные свойства растений. Однако следует помнить, что для разных сельскохозяйственных культур эти значения могут существенно варьироваться.

Для снижения тепловых потерю через стенки и купол теплицы предлагается изготавливать их либо из полностью непроницаемых блоков (только с искусственным освещением), либо делать светопрозрачными только стенки (комбинированное освещение) при помощи двойных стеклопакетов, заполненных газом (газами) с хорошими изолирующими способностями [2]. Наличие светопрозрачного купола теплицы, который обязательно должен быть остеклен одинарно, не является конструктивным, так как в зимний период в связи с погодными условиями может быть обледенение, налипание толстого слоя снега, что может приводить к сколам и разрушению кровли.

При использовании искусственного освещения главной проблемой является выбор источников излучения. В первую очередь следует определиться со спектральным составом излучателя. В целом для оптимального развития растений диапазоны излучения следует распределять следующим образом: красный (620-720 нм) – 50%; синий (380-490 нм) – 30%; зеленый (490-565 нм) – 20%, но для большей эффективности диапазоны излучения следует подбирать из условия той или иной культуры, которую планируется освещать [3].

Далее, после подбора диапазонов излучения, следует рассмотреть следующие характеристики. Мощность показывает количество потребленной энергии за 1 час непрерывного свечения лампы. Световом поток, с учетом которого от каждого источника, можно организовать осветительную систему с оптимальным количеством источников излучения. Это можно сделать благодаря известной для данного вида источника кривой светораспределения (КСС). КСС представляет собой пространственное распределение силы света, представляющей собой отношение светового потока к элементарному углу телесному углу, в пределах которого он распространяется.

После выбора основных световых величин следует обратить внимание на важные эксплуатационные характеристики, важными из которых являются пыле- и влагозащищенность. Так как в теплицах среда пыльная и влажная, то источники следует выбирать с герметичным корпусом во избежание как прекращения работы самого источника, так и короткого замыкания из-за повышенной влажности. Немаловажной характеристикой является экономичность. Используемые источники излучения в системе освещения обязательно должны быть энергоэффективными. При постоянно растущих тарифах на электрическую энергию источники с высоким потреблением энергии значительно снизят рентабельность сельскохозяйственного предприятия.

В тепличном хозяйстве могут применяться следующие виды ламп: люминесцентные, галогенные, светодиодные. Выбор ламп той или иной категории должен быть оправдан необходимыми характеристиками.

Литература:

1. Исследование возможности использования теплоизолирующей и поглощающей способности углекислого газа. Михайлов В.А., Суслонов Н.Н, Иванова В.В. // Энергетика, информатика, инновации-2018 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции. – В. 3-х т. – Т. 1. – Смоленск: Универсум. – 2018. – 321 с., С. 168-170.
2. Использование поглощающей способности газов для реализации ограждающих конструкций теплиц. Михайлов В.А., Суслонов Н.Н, Кондрашова М.Е. // Энергетика, информатика, инновации-2018 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сборник трудов VIII Международной научно-технической конференции. – В. 3-х т. – Т. 1. – Смоленск: Универсум. – 2018. – 321 с., С. 164-168.
3. Искусственное светодиодное освещение теплиц зимой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atomsvet.ru/press/info/sistemy-iskusstvennogo-osvescheniya-teplic/ (Дата обращения: 01.03.2019).

М.В. Иванова, маг.; рук. И.С. Саватеева, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЗЛА ИЗОЛИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

В кабельной промышленности повсеместно используется группа машин, предназначенных для наложения изоляции на токопроводящую жилу кабеля методом обмотки. Обмотка — это технологический процесс спирального наложения на токопроводящую жилу или заготовку кабеля лент, нитей или проволок.

Обмоточная машина состоит из отдающего устройства, одного или нескольких обмотчиков, тягового и приемного устройств.

Основным технологическим параметром при обмотке является шаг, с которым накладывается изоляция на провод или кабель - шаг обмотки. Его величина определяется соотношением частоты вращения обмотчика и линейной скорости движения провода, задаваемой тяговым устройством.

Для обеспечения заданных требований к изоляции и формирования качественного провода с равномерной плотностью обмотки необходима согласованная работа всех устройств. Неравномерность и непостоянство натяжения ленты, резкий пуск машины, дестабилизация линейной скорости, - эти и многие другие причины влияют на производительность и качество обмотки, а, следовательно, снижают производительность труда и качество изоляции.

Из основных технических требований, предъявляемых к электроприводам этих механизмов, можно выделить плавное регулирование и стабилизацию скоростей, включая согласование линейной скорости изолирования и скорости вращения обмотчиков.

Решение этих задач ложится на электропривод транспортирующего устройства и обмотчиков. В машинах для наложения изоляции, как правило,

применяется однодвигательный электропривод технологического узла наложения изоляции. От этого двигателя посредством разветвленных механических передач вращение передается как на тяговое устройство, так и на обмотчики, за счет чего обеспечивается их согласованное движение. Такие передачи не только усложняют и удорожают машины, но и ведут к снижению общего КПД механизма. Кроме того, разветвленная кинематическая схема из-за наличия длинного вала, эксцентриситета и зазоров в зубчатых передачах в ряде случаев может существенно влиять на качество производимой продукции, в частности – на стабильность шага обмотки. Шаг обмотки может изменяться как за счет колебаний длинного вала, так и за счет погрешности в согласовании скоростей движения обмотчика и линейной скорости транспортировки провода.

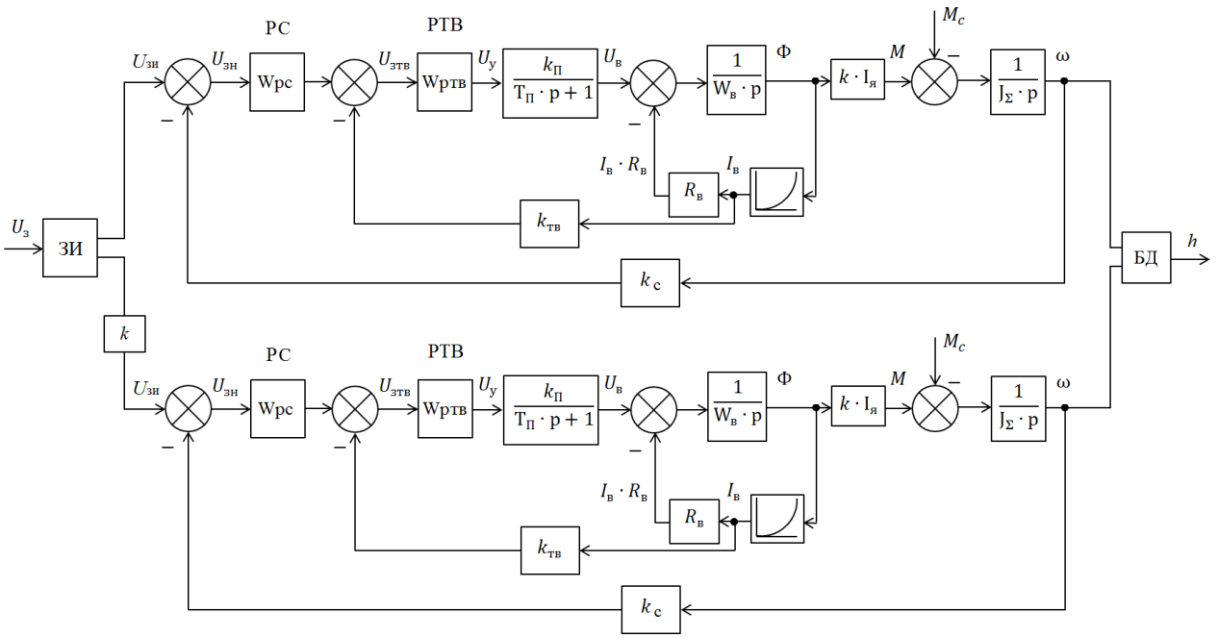


Рис.1. Структурная схема двухдвигательного электропривода с учетом нелинейности кривой намагничивания

В связи с этим была поставлена задача разработки электропривода, позволяющего исключить механическую связь с помощью использования индивидуальных приводов тяги и обмотчиков, работа которых синхронизируется системой управления.

Процесс наложения изоляции требует не высокого быстродействия, а плавного протекания переходных процессов. Поэтому в данной работе для технологического узла обмотки предпочтительным является двухдвигательный электропривод, в котором якорные цепи двигателей получают питание от нерегулируемого преобразователя - параметрического источника тока, а регулирование координат осуществляется по цепи возбуждения.

Приводы тягового устройства и обмотчиков должны обеспечивать стабилизацию скоростей, поэтому они выполнены с обратной связью по скорости. Система подчиненного регулирования скорости выполняется как двухконтурная

с внутренним контуром тока возбуждения и наружным контуром скорости. Выходной координатой системы является технологический параметр - шаг обмотки, который определяется как отношение

$$h = \frac{V_1 \cdot 1000}{n_2} = \frac{\omega_1 \cdot \left(\frac{R_к \cdot 60}{i_1} \right) \cdot 1000}{\omega_2 \cdot \left(\frac{30}{\pi} \right)}$$

Модель системы была разработана в среде Mathlab. Она состоит из задатчика интенсивности; двух моделей двигателей, в состав которых входит: регулятор скорости, блок ограничения напряжения регулятора скорости, регулятор тока возбуждения, преобразователь, нелинейный блок кривой намагничивания, блок задания момента нагрузки и обратные связи по току возбуждения и скорости; и блок деления, в котором происходит вычисление шага.

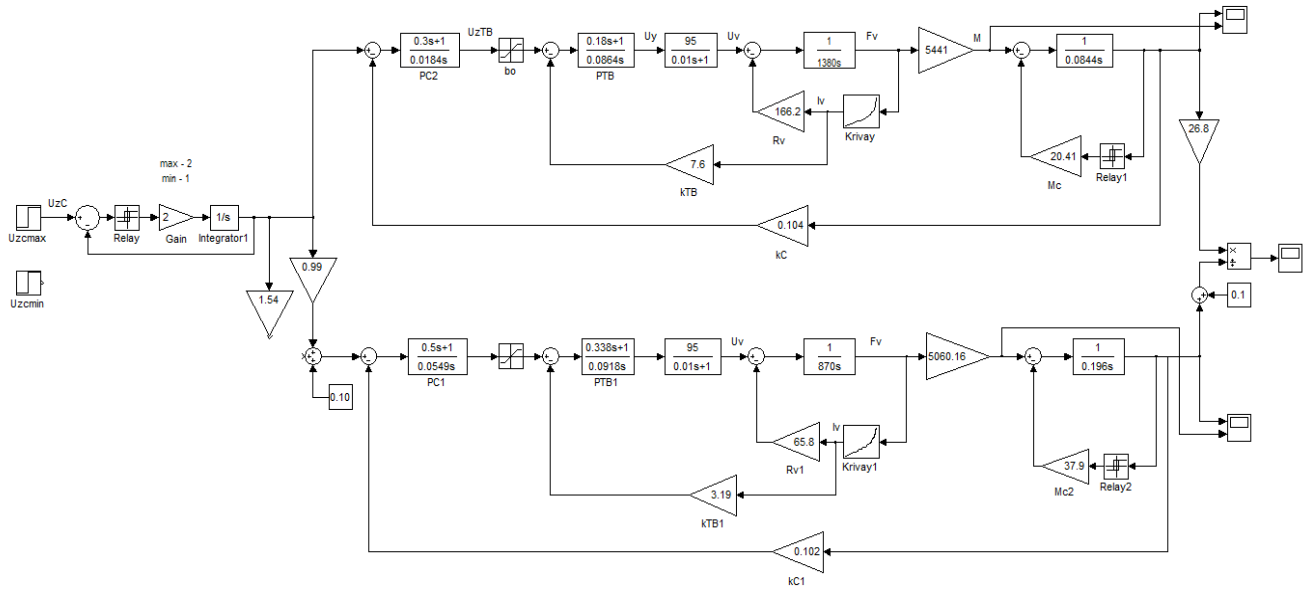


Рис. 2. Модель системы двухдвигательного электропривода

На рис. 3 и 4 представлены графики переходных процессов момента и скорости с разными напряжениями задания для формирования различных значений шага.

Как показывают расчеты, спроектированная система электропривода обеспечивает постоянство шага обмотки за счет электрического согласования скорости вращения обмотчика и линейной скорости транспортировки провода. Как видно из графиков, за счет регулирования соотношения скоростей можно обеспечить диапазон изменения шага. Анализ процессов показал, что спроектированный привод соответствует заданным требованиям стабилизации и согласования скоростей тягового устройства и устройства обмотчиков. Также выполнены требования плавного пуска и плавного регулирования скоростей во всем диапазоне скоростей.

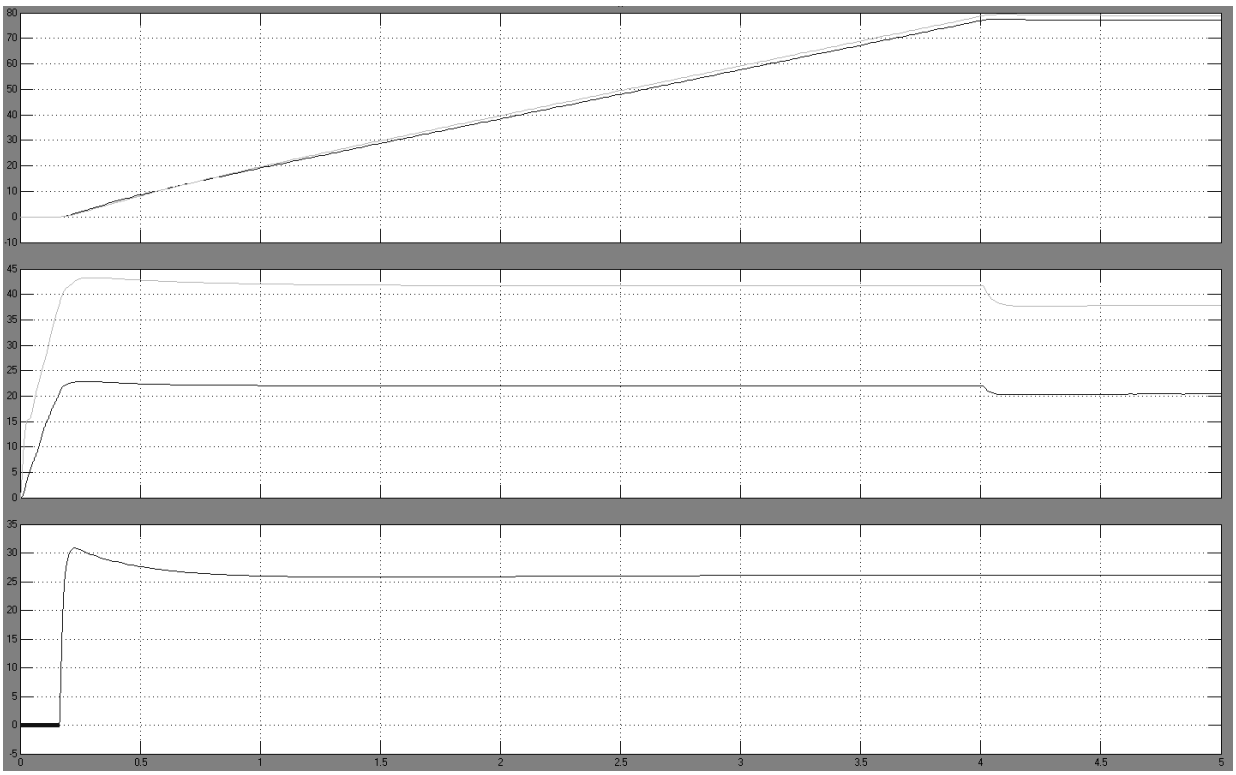


Рис.3. Графики переходных процессов пуска системы электропривода при h = 27 мм

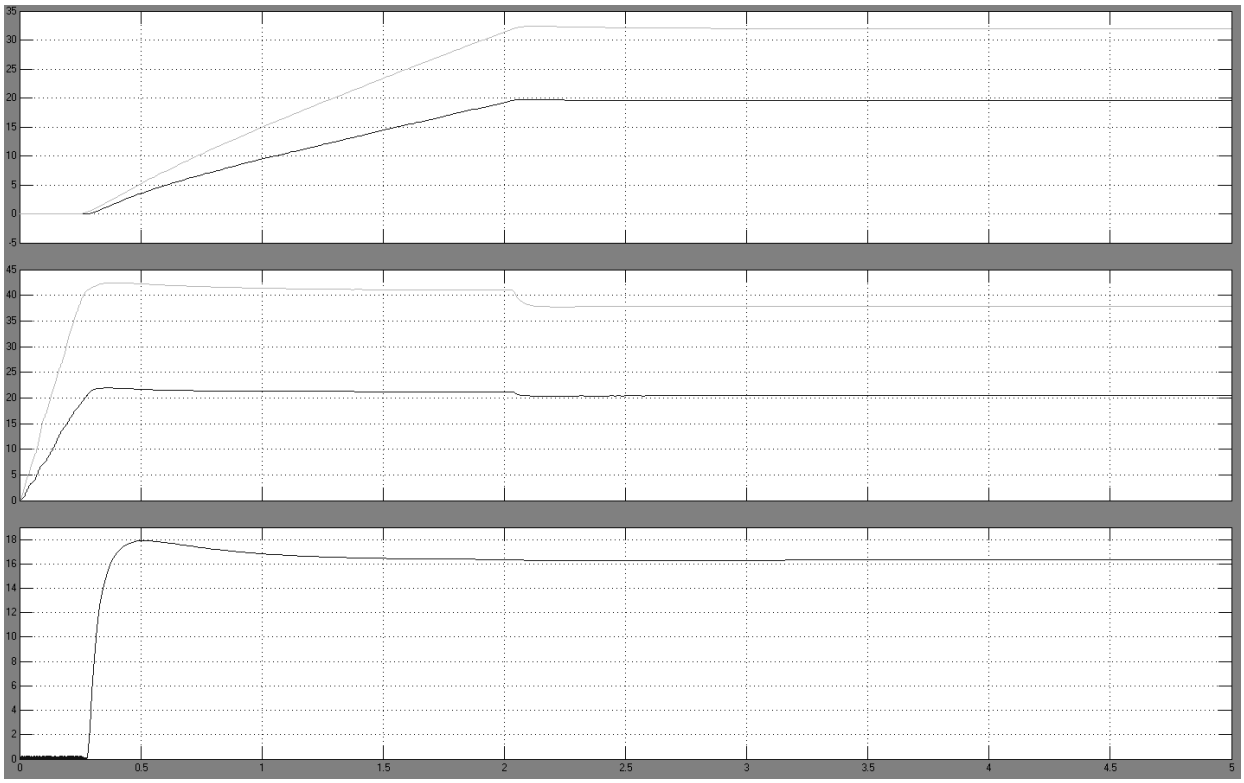


Рис.4. Графики переходных процессов пуска системы при h = 16 мм

Возможность наложения изоляции с любым шагом, определяемым техническими данными машины, может значительно повысить вариативность выпускаемой продукции.

Литература

1. Данилов П.Е. Основы теории электропривода. Часть первая. Конспект лекций по курсу «Теория электропривода» [Текст]: конспект лекций / П. Е. Данилов. – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2011. 168 с.
2. Системы стабилизации в электроприводах с источниками тока[Текст] / В. П. Петров,В. И. Лабовский// Ред. П.Е. Данилова. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1986. – 80 с
3. Многодвигательные электроприводы производственных механизмов с параметрическими источниками тока [Текст] / В. И. Лабовский, В. П. Петров, И. С. Саватеева // Ред. П. Е. Данилов; Моск. энерг. ин-т., 1989. - 71,[4] с.

К.Н. Каберник, В.С. Геркис, Д.С. Авраменкова, студ.;
рук. Л.Г. Черная, к.т.н., доц., В.Н. Абабурко, ст. преподаватель
(Межгосударственное образовательное учреждение
высшего образования «Белорусско-Российский университет»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ

Возможность взрывобезопасной эксплуатации стандартного самовентилируемого взрывозащищенного электродвигателя, питаемого от преобразователя частоты с помощью длинного кабеля достигается определением допустимой полезной мощности во всем диапазоне частот с помощью теплового расчета электродвигателя.

При модернизации системы автоматизации технологического процесса, связанной с требованиями регулирования частоты вращения приводного электродвигателя, следует проявлять осторожность, особенно, если частотный преобразователь, предназначенный для питания электродвигателя, не сертифицирован в комплекте с электродвигателем, установленным во взрывоопасной зоне. Это связано с дополнительным нагревом самоветнилируемого взрывозащищенного электродвигателя, ухудшением охлаждения и, как следствие, это может привести к изменению температурного класса, повышению максимальной температуры электродвигателя, что недопустимо для взрывоопасной зоны с заданной по проекту температурой воспламенения.

Расчет тепловой нагрузки, а именно допустимой полезной мощности взрывозащищенных самовентилируемых асинхронных электродвигателей, работающих в длительном режиме при частотном управлении проводится по методу эквивалентных греющих потерь с учетом обобщенной тепловой модели.

Эквивалентные греющие потери определяют интегральную теплоотводящую способность конструкции электродвигателя с данной системой охлаждения.

Основное уравнение этого метода имеет следующий вид:

$$\tau = R_\tau(\alpha)\left[\Delta P_{Э1} + к_Р(\alpha)\Delta P_{Э2} + к_С(\alpha)\Delta P_С + к_М \Delta P_М + к_Д \Delta P_Д\right],$$

где $\alpha = \frac{f_1}{f_{1н}}$ - относительная частота статора, определяемая отношением частоты тока статора к ее номинальному значению;

τ - допустимое установившееся превышении температуры, зависящая от класса изоляции и максимальной температуры поверхности взрывозащищенного электрооборудования;

$\Delta P_{Э1}, \Delta P_{Э2}, \Delta P_С, \Delta P_М, \Delta P_Д$ - потери в обмотках статора и ротора, потери с стали статора, механические и добавочные потери;

$R_\tau(\alpha)$, град/Вт - тепловое сопротивление машины;

$к_Р(\alpha), к_С(\alpha), к_М, к_Д$ - коэффициенты, характеризующие влияние на нагрев обмотки статора соответствующих потерь в обмотке ротора, стали, механических и добавочных (зависят от частоты вращения, и основных размеров сердечника и корпуса машины).

В качестве исходных данных для теплового расчета используются кроме паспортных данных асинхронного электродвигателя также и параметры Т-образной схемы замещения, маркировка взрывозащиты, данные частотного преобразователя, законы частотного управления, характеристика кабеля, характеристика приводного механизма.

С целью согласования проекта применения взрывозащищенного электропривода (ЭП) с частотным регулированием для технологической установки D401-A1 (A2, A3) цеха 401 завода «Полимир» «ОАО «Нафтан» разработана методика и проведен тепловой расчет с использованием необходимых исходных данных.

1.1 Исходные данные технологического механизма. Технологический механизм – привод вращения ротора демономеризатора поз. 401-A1 (A2, A3) цеха 401. Электродвигатель приводит в движение механизм через цилиндрический редуктор. Между редуктором и двигателем установлена компенсирующая гидромуфта VOITH Typ 487TF.

- тип редуктора – цилиндрический;
- число ступеней редуктора – 2;
- передаточное отношение редуктора – 1:8,22;
- КПД редуктора – 97%;

Установка находится во взрывоопасной зоне класса В-1а с подгруппой взрывоопасной смеси IIB. Параметры технологического процесса:

- максимальная частота вращения – 180 об/мин;
- минимальная частота вращения – 160 об/мин;
- номинальная требуемая мощность установки – 95 кВт;
- максимальная мощность – 105 кВт.

1.2 Исходные данные электродвигателя. Взрывозащищенный электродвигатель имеет следующие характеристики:

- тип: 1MJ7310-4CA64-Z;

- производитель: Siemens (ФРГ);
- маркировка по взрывозащите: 1ExdeIICT4;
- номинальная мощность на валу, $P_{2н}$=110 кВт;
- номинальное напряжение статора при частоте 50 Гц, U_1=380 В;
- номинальное значение коэффициента мощности, $\cos\varphi_н$=0,86;
- номинальное значение КПД, $\eta_н$=94,8 %;
- ток статора номинальный, $I_{1н}$= 205 А;
- класс изоляции – Н;
- число пар полюсов p=2;
- номинальная частота вращения, $n_н$=1485 об/мин;
- кратность максимального момента к номинальному, $\mu_к$=2,7;
- кратность пускового момента к номинальному $\mu_п$=2,5;
- кратность пускового тока к номинальному $i_п$=7.

Маркировка взрывозащиты электродвигателя соответствует классу взрывоопасной зоны, а также подгруппе и температурному классу взрывоопасной смеси.

Двигатель обеспечивает заданную максимальную частоту вращения технологической установки с учетом передаточного отношения редуктора:

$$n_{\max} = \frac{n_н}{i_p},$$

где $n_н$ – номинальная частота вращения электродвигателя;
$i_р$ – передаточное отношение редуктора.

$$n_{\max} = \frac{1485}{8{,}22} = 180.6 \text{ об/мин.}$$

1.3 Исходные данные преобразователя частоты. Требуемый диапазон регулирования технологической установки определяется на основе данных п.1.1:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}},$$

где n_{max} – максимальная частота вращения установки;
n_{max} – минимальная частота вращения установки.

$$D = \frac{180}{160} = 1.125.$$

Преобразователь частоты установлен во взрывобезопасной зоне и является двухзвенным автономным инвертором напряжения (АИН) с широтноимпульсной модуляцией (ШИМ) со параметрами:

– тип преобразователя –VACON 0100-3L-0261-5-xxxx;
– производитель: Danfoss Drive;
– номинальная мощность электродвигателя – 132 кВт;
– требуемый диапазон регулирования частоты вращения – D=1,5;
– номинальный выходной ток – 261 А;

– максимальная частота на выходе – 320 Гц;
– минимальная частота на выходе – 0,01 Гц;
– максимальная несущая частота ШИМ – 6 кГц;
– минимальная несущая частота ШИМ – 1,5 кГц;

1.4 Параметры кабеля для подключения электродвигателя:

– марка кабеля – SR20ZR/4 (ВБшв);
– сечение силовых жил кабеля, $S_к$=70 мм^2;
– длина кабеля, $L_к$=135 м;
– способ прокладки – в лотках по стене.

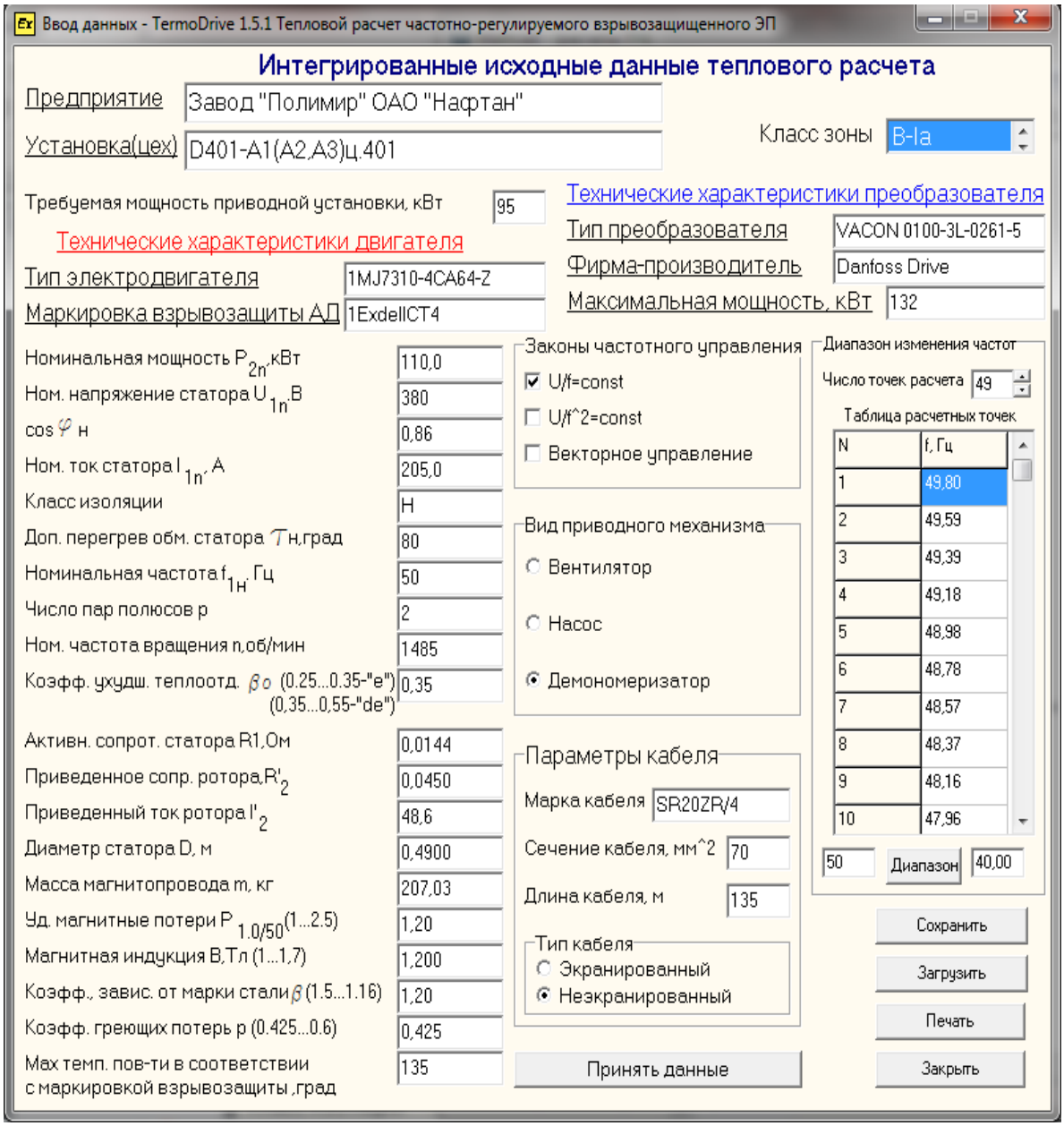
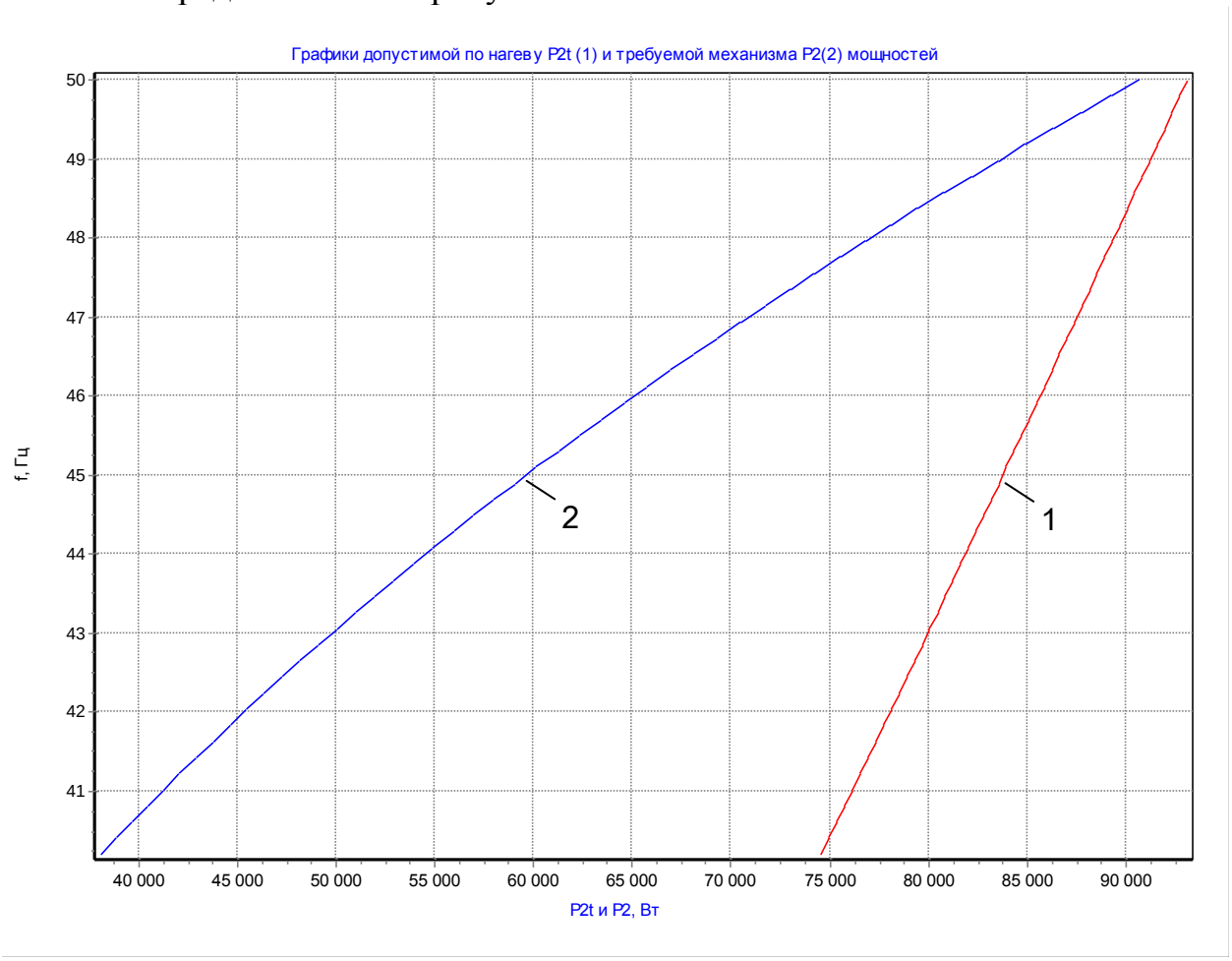


Рисунок 1 - Исходные данные теплового расчета частотно-регулируемого взрывозащищенного электропривода с приводным механизмом (демономеризатор).

Тепловой расчет выполнялся методом имитационного моделирования по разработанному программному обеспечению TermoDrive v. 1.5.1 в среде программирования C++Builder, v.6.0.

Исходные данные теплового расчета частотно-регулируемого взрывозащищенного электропривода с приводным механизмом (демономеризатор) представлены на рисунке 1.

Графики допустимой мощности взрывозащищенного асинхронного электродвигателя (АД) и требуемой мощности на валу приводного механизма (демономеризатор) при законе управления частотного преобразователя (ПЧ) U/f=const представлены на рисунке 2.



1 – Зависимость допустимой мощности P2t от частоты f на выходе ПЧ;
2 – Зависимость требуемой мощности механизма P2 от частоты f на выходе ПЧ.

Рисунок 2 - Графики допустимой мощности электродвигателя и требуемой мощности на валу приводного механизма (демономеризатор): ПЧ (Danfoss VACON 0100-3L-0261-5) – АД (1MJ7310-4CA64-Z),

Результаты теплового расчета позволяют определить допустимую полезную мощность взрывозащищенного самовентилируемого асинхронного электродвигателя и требуемую мощность на валу приводного механизма, работающих в длительном режиме, при различных законах частотного управления.

А.С. Ковалёва, студ.;рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доцент;
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СКВ

Проблема экономии электрической энергии затрагивает все сферы жизнедеятельности. В балансе энергопотребления зданий различного назначения значительная доля приходится на системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Системы кондиционирования в отличие от систем вентиляции позволяют поддерживать все параметры окружающей среды в строго определенных по нормативным требованиям параметрах. Для большинства производственных помещений проектируются системы кондиционирования на базе центральных кондиционеров. Такой подход позволяет оптимизировать выбор и компоновку оборудования, рационально осуществлять трассировку и обслуживание оборудования, обеспечивать экономичные режимы работы оборудования. Альтернативным вариантом является система кондиционирования с применением чиллеров и фэнкойлов. Эта система получила широкое применение в административных, жилых, офисных, а также ряде производственных помещений, требующих различных параметров среды. Эти системы также в полной мере соответствуют современному уровню техники и технологий.

По способу распределения воздуха СКВ разделяют на однозональные и многозональные. Следует отметить, что многозональные системы являются более экономичными, так как могут обеспечивать различные параметры в разных помещениях, но при этом имея централизованную систему. Из-за сложной конструкции и наличия дорогостоящих элементов установка является более дорогостоящей, что относится к её недостаткам.

Центральные однозональные системы могут быть рекомендованы при кондиционировании воздуха в одном или нескольких помещениях, когда в этих помещениях тепловлжностные режимы одинаковы или допускаются значительные отклонения нормируемых параметров воздуха.

В рамках исследования были рассмотрены двухканальные СКВ прямоточного типа и рециркуляционные системы. На рисунке 1 изображена прямоточная СКВ. При заданных расчётных условиях теплого периода воздух поступает в кондиционер, последовательно проходит через воздушный фильтр , охлаждается в камере орошения до заданных параметров. После вентилятора с учётом подогрева часть воздушного потока поступает в дополнительный канал холодного воздуха; другая часть в канал теплого воздуха, где установлен калорифер II подогрева. В смесительных клапанах воздушные потоки смешиваются до параметров и поступают в помещение [4].

Многозональным системам кондиционирования присущ ряд преимуществ, позволяющих снизить энергозатраты здания:

- в зависимости от нужных параметров воздуха в помещении - применение автоматического регулирования температуры воздуха;

- при использовании местных кондиционеров - возможность применения прерывистых режимов работы;

- регулирование работы чиллеров по холодопроизводительности в зависимости от теплоизбытков помещения.

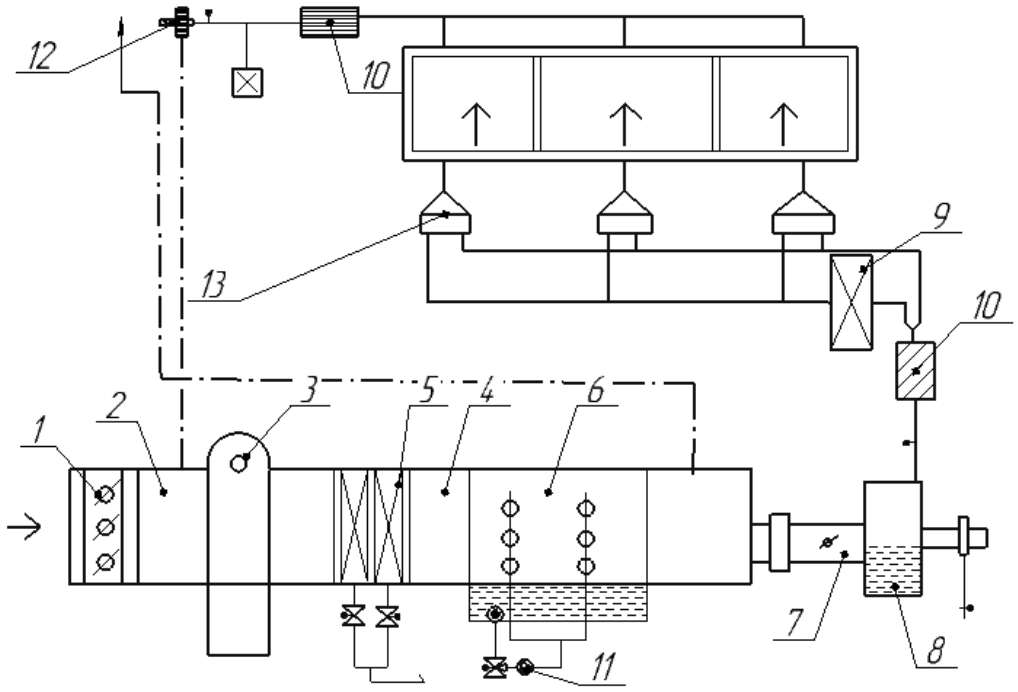


Рисунок 1 - Многозональная двухканальной СКВ по прямоточной схеме:
1–устройство забора воздуха; 2– камера смешения; 3–фильтр; 4–секция обслуживания; 5–секция калориферов I-го подогрева; 6–оросительная камера; 7–направляющий аппарат; 8–прямоточный вентилятор; 9, 14, 15– фэнкойл; 10–шумоглушитель; 11–насос; 13–смесительный клапан;12 - вентилятор.

Одной из схем многозонального кондиционирования воздуха является система чиллер-фэнкойл, в которой чиллер является источником холода для системы в целом, а фэнкойлы устанавливаются зонально или в отдельных помещениях.

Основное назначение фэнкойлов - обработка приточного воздуха в помещение, причем подача наружного воздуха ограничивается минимально допустимыми значениями. Наружный воздух в камере смешения может, смешивается с рециркуляционным воздухом. В фэнкойлах предусмотрена специальная автоматика для защиты теплообменника от замерзания, позволяющая при отключении вентилятора закрывать клапан на наружном воздухе.

Для определения эффективности работы фэнкойла типа F с различными способами обработки воздуха произведен сравнительный расчёт для регионов с достаточно различными расчётными температурами наружного воздуха: г. Сочи, г. Мурманск. В теплый период в качестве основных параметров для оценки параметров обработки воздуха определены:

- тепловлажностное отношение (угловой коэффициент процесса) с учётом дополнительной нагрузки:

$$\varepsilon^{л} = \frac{3{,}6\left(Q_{я}^{л} + Q_{пi}\right) + 2.54W^{л}}{W^{л}}, \text{кДж/г}$$

- расход рециркуляционного воздуха через фэнкойл:

$$G_{рец} = \frac{3.6Q_{я}^{изб} + Q_{пi}}{n_{в}^{\sim}(t_{в} - t_{пр}^{м})}, \text{кг/ч}$$

- расход холода на охлаждение рециркуляционного воздуха в фэнкойле:

$$Q_{хi}^{м} = 0.278G_{фi}^{макс}\left(i_{в} - t_{пр}^{м}\right), \text{Вт}$$

Для теплого периода расчетные параметры наружного воздуха г. Сочи (г. Мурманск): $t_{н} = 28\ ^{0}\text{C}\ (t_{н} = 20\ ^{0}\text{C}), i_{н} = 58{,}7$ КДж/кг;параметры внутреннего воздуха: $t_{в} = 20\ ^{0}\text{C}, \varphi_{в} = 77\%\ (\varphi_{в} = 73\%)$ [3]; избыток явной теплоты $Q_{я}^{х} = 2572$ Вт$(Q_{я}^{х} = 1800$ Вт$)$; количество влаги $W^{л} = 540\frac{г}{кг}\left(W^{л} = 412\frac{г}{кг}\right)$; расход наружного воздуха $G_{н} = 360$ кг/ч.

Полученные в результате расчетов данные представлены в табл.1 и на рис.2,3.

Таблица 1 – Результаты расчета обработки воздуха для теплого периода

Схема обработки воздуха в фэнкойле	Температура наружного воздуха, ^{0}C	$\varepsilon^{л}$, кДж/кг	$G_{рец}$,кг/ч	$Q_{хi}^{м}$,Вт
Подача воздуха с обработкой рециркуляционного воздуха в в фэнкойле (без смешения)	28	19,7	612,6	2146,7
	20	23,2	1059,0	509,4
Обработка смеси наружного воздуха и рециркуляционного воздуха в фэнкойле	28	23,9	561	3743
	20	18,3	716,4	2533,4
Обработка смеси наружного воздуха, прошедшего через центральный кондиционер, и рециркуляционного воздуха в фэнкойле	28	23,9	561	2469
	20	18,3	716,4	1401

Из модельного ряда, выпускаемых фэнкойлов широкое распространение получили агрегаты типа: F, ELFO, кассетный PCCVA. Все типы фэнкойлов выпускаются для использования в административных зданиях, торговых центрах, местах общественного пользования, а так же на производственных объектах.

Анализ модельного ряда показал, что наиболее эффективным с экономической и технической точки зрения является фэнкойлы типа F[2].

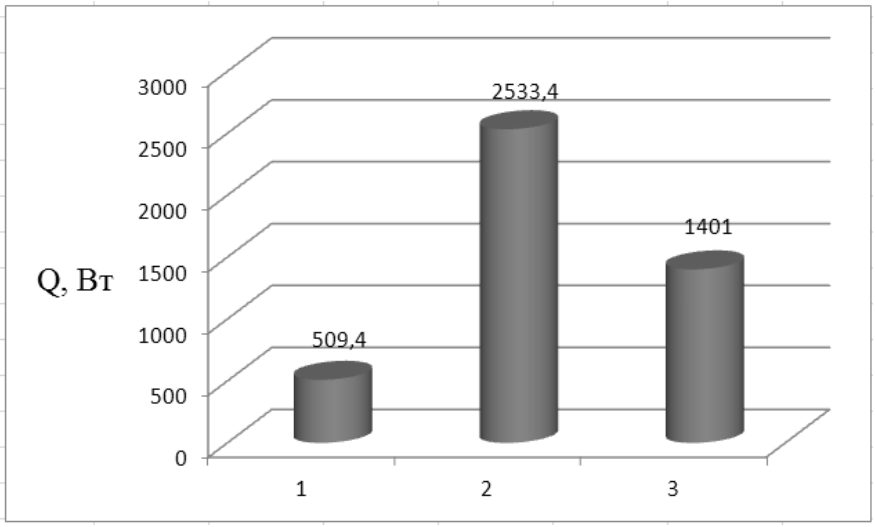


Рисунок 2–Расхода теплоты в теплообменнике фэнкойла в тёплый период для города Мурманск. 1– подача воздуха с обработкой рециркуляционного воздуха в фэнкойле (без смешения); 2–обработка смеси наружного воздуха и рециркуляционного воздуха в фэнкойле; 3– обработка смеси наружного воздуха, прошедшего через центральный кондиционер, и рециркуляционного воздуха в фэнкойле.

Таким образом, наиболее актуальной является подача воздуха с обработкой рециркуляционного воздуха в фэнкойле (без смешения). В процентном соотношении получаем, что экономия для города Мурманск составляет 20% от общего расхода на охлаждение воздуха (рис. 2).

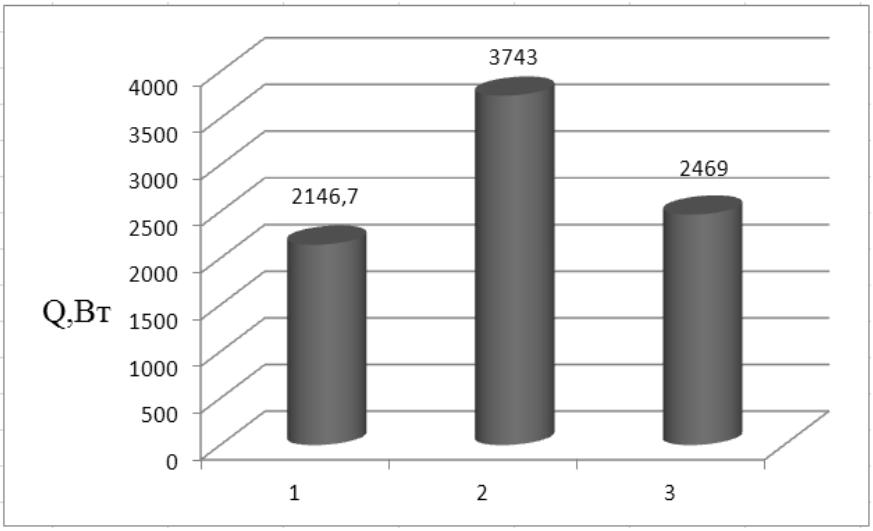


Рисунок 3–Расхода теплоты в теплообменнике фэнкойла в тёплый период для города Сочи. 1– подача воздуха с обработкой рециркуляционного воздуха в фэнкойле (без смешения); 2–обработка смеси наружного воздуха и рециркуляционного воздуха в фэнкойле; 3– обработка смеси наружного воздуха, прошедшего через центральный кондиционер, и рециркуляционного воздуха в фэнкойле.

Таким образом, для регионов с более высокими параметрами наружного воздуха расход холодного воздуха для агрегата с подачей воздуха местными приточными аппаратами с обработкой только рециркуляционного воздуха является более перспективным с точки зрения энергетических затрат. Но в тоже

время схема с обработкой смеси наружного воздуха, прошедшего через центральный кондиционер, и рециркуляционного воздуха в фэнкойле по энергетическим затратам практически не уступает схеме без смешения. И, если учесть все аспекты, связанные со стоимостью оборудования и эксплуатационными затратами, то данная схема является даже более актуальной и предпочтительной при эксплуатации. При выборе схемы системы кондиционирования необходимо учитывать и тот факт, что в производственных условиях не всегда можно применять рециркуляцию воздуха. В удаляемом воздухе могут содержаться пары вредных и опасных для организма человека веществ, а также избыточная запыленность воздуха мелкодисперсной пылью.

Литература

1. Системы кондиционированя воздуха с чиллерами и фэнкойлами/ Е.М. Белова. М.: Техносфера: ЗАО «Евроклимат»,2006.-400с.
2. Ковалёва А.С., Кабанова И.А. Оценка эффективности работы фэнколов в системах кондиционирования воздуха//Научно-практический многопредметный журнал, индексирующийся в РИНЦ с 2010 года «НаукаПарк»: в выпуске №6 (67) ноябрь 2018. В выпуске №6 (67) ноябрь 2018. «ТЭСЭРА», г. Ставрополь. 2018. С. 210.
3. СНиП строительная климатология [Электронный ресурс] /. — Электрон.журн. — Москва: 1982. — Режим доступа: http://polyset.ru/GOST/all-doc/SNiP/SNiP-2-01-01-82/. — Внесены Научно-исследовательским институтом строительной физики Госстроя СССР
4. Основы проектирования установок кондиционирования воздуха/Б.Н. Голубков, М.В. Головков. М.:МЭИ,1982.-68с.

Т.А. Колденкова, студ.; рук. И.А. Кабанова, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ

Применение новых энергосберегающих технологий и оборудования, использующих нетрадиционные источники энергии, на данный момент является одним из многообещающих методов рационального использования ресурсов.

Значительное улучшение экологических и экономических параметров производства тепловой энергии можно достичь с помощью такой установки как тепловой насос, который относятся к оборудованию из отрасли нетрадиционной энергетики.

Тепловые насосы активно используют для энергообеспечения во всем мире. Прежде всего, на это влияет идея энергосбережения. В первую очередь, к низкопотенциальным источникам теплоты относят грунтовые воды, грунт, атмосферный воздух.

Тепловой насос (ТН) — это установка, обеспечивающая передачу тепла к более горячему от более холодного теплоносителя за счет затраты работы или же некоторого подвода энергии извне. Системы отопления с ТН могут рассматриваться в качестве альтернативных источников прежде всего для коттеджей и для систем теплоснабжения индивидуальных многоквартирных жилых домов [1].

По многим экономическим оценкам, можно сказать, что применение теплонаносных установок (ТНУ), использующих теплоту какого-либо низкопотенциального источкика теплоты из окружающей среды, целесообразно для многих регионов нашей страны. Применение подобных ТНУ считается оптимальным как для теплоснабжения, так и для хладоснабжения[2].

На сегоднящний день могут быть использованы два режима работы ТНУ для отопления помещения:

- моновалентный;
- бивалентный.

Бивалентный режим работы рекомендуется выбирать с целью увеличения необходимой эффективности работы теплонасосной установки. Такой выбор режима предусматривает эксплуатацию теплового насоса вместе с другим обогревательным устройством: электрическим или твердотопливным котлом. Выбор бивалентного режима работы бывает обусловлен тем, что при более низких температурах наружного воздуха возникает необходимость подачи в систему отопления температур более выоких по своему значению. Если происходит снижение температуры ниже точки бивалентности, то ТН может прекращать свою работу или же продолжать работать вместе с вспомогательным нагревательным прибором, при этом не покрывая всю требуемую тепловую нагрузку. В связи с этим можно рассмотреть несколько различных вариантов режимов бивалентной работы:

- бивалентный альтернативный;
- бивалентный вспомогательный;
- бивалентный комбинированный;

Тепловая насосная установка в бивалентном альтернативном режиме обеспечивает требуемую тепловую нагрузку здания до тех пор, пока не происходит достижение температуры бивалентности. С этого момента ТН прекращает работу и всю необходимую нагрузку покрывает теплогенератор, который является вспомогательным. Вспомогательный источник тепла выбирается с учётом на тепловую нагрузку в максимально холодном режиме.

Тепловой насос, работая в вспомогательном режиме работы, также покрывает полную тепловую нагрузку до температуры бивалентности, но при достижении такой температуры он не выключается, а работает вместе с дополнительным теплогенератором.

Поддержание необходимого режима температуры после достижения температуры бивалентности должен исполнять вспомогательный теплогенератор. В этом случае, исходя из необходимой пиковой мощности, выбирается подходящая мощность вторичного источника обогрева. Чаще всего это электронагреватель небольшой мощности. А мощность ТН выбирается по параметрам точки бивалентности.

Схема использования теплового насоса как основного источника тепла вместе с электрическим котлом, который является вспомогательным источником, приведена на рисунке 1.

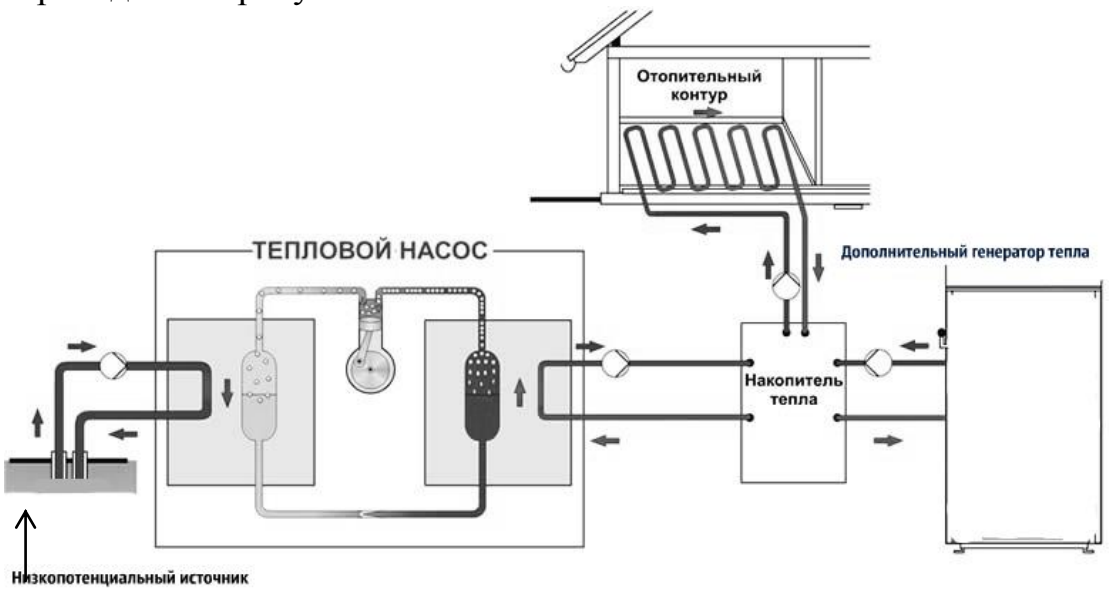


Рис. 1. Схема включения теплового насоса и котла в бивалентном режиме

Для исследования выбраны объекты с одинаковой расчетной теплопроизводительностью системы в $Q_p^T = 12$ кВт при разных расчетных температурах наружного воздуха, соответствующих климатическим параметрам: г.Кисловодск $t_{\text{н.в.р.1}} = -16°\text{C}$; г.Смоленск $t_{\text{н.в.р.2}} = -25°\text{C}$; г.Иркутск $t_{\text{н.в.р.}} = -33°\text{C}$. Температура воздуха в помещении для расчета в зимний период принимается равной $t_{\text{п}}^{\text{з}} = 20°\text{C}$;

Для покрытия необходимой тепловой нагрузки выбран тепловой насос ТН-15 и электрический котел. Низкопотенциальным источником тепла при рассмотрении работы ТН принята грунтовая вода, а в роли рабочего хладагента установки – фреон R134a.

Расход теплоты на отопление в течение отопительного периода находится в зависимости от температуры наружного воздуха и рассчитывается по формуле [3]:

$$Q^T = Q_p^T \frac{t_{\text{п}} - t_{\text{н.в}}}{t_{\text{п}} - t_{\text{н.в.р}}}, \qquad (1)$$

где Q_p^T – теплопроизводительность системы энергообеспечения при заданных расчетных температурах наружного воздуха, кВт;

$t_{\text{п}}$ – температура в помещении, °С;

$t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, °С;

$t_{\text{н.в.р}}$ – расчетная температура наружного воздуха в зимний период, °С.

Для определения температуры наружного воздуха, ниже которой ТН не способен обеспечить требуемую тепловую нагрузку, т.е. для определения точки бивалентности, необходимо рассмотреть: влияние температуры наружного воздуха на количество часов работы системы отопления при заданной в отопительный период температуре наружного воздуха и зависимость изменения теп-

лопроизводительности теплового насоса также от температур наружного воздуха [4].

Для ТН теплопроизводительность определяется как:

$$Q_{\text{ТН}} = G_{wk} \cdot c \cdot \left(t_{kw} - t_{\text{обр}}\right), \text{ кВт} \qquad (2)$$

где G_{wk} – расход воды, проходящей через конденсатор, кг/с;

$c = 4{,}187$ – теплоёмкость воды, кДж/кг·К;

t_{kw} – температура воды, выходящей из конденсатора ТН, °С,

$t_{\text{обр}}$ – температура обратной воды, °С.

Итоговые результаты исследования приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты расчета

Город	Расчетная температура наружного воздуха, °С	Число часов отопительного сезона, час	Нагрузка на тепловой насос, %	Расход теплоты на отопление, кВт	Температура бивалентности, °С
Иркутск	-33	5780	83,3	9,9	-10
Смоленск	-25	5050	65,8	7,9	-7,5
Кисловодск	-16	3209	58,3	7,0	-2,5

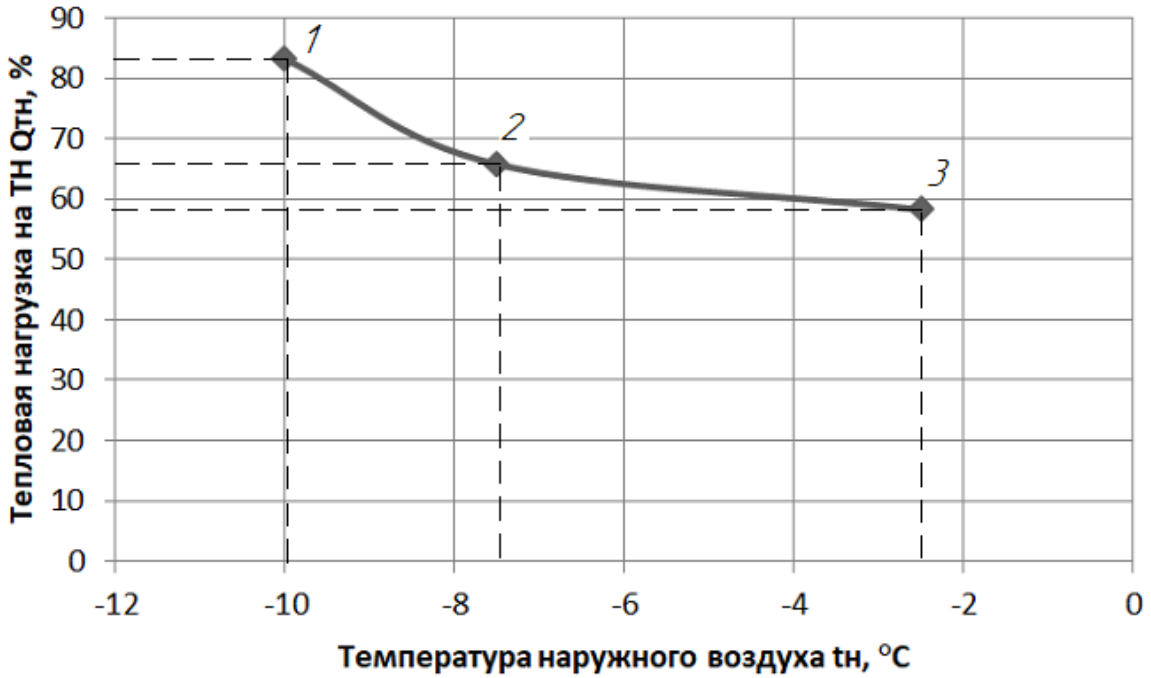


Рис. 2. Зависимость бивалентной температуры наружного воздуха от тепловой нагрузки ТН при климатических условиях: 1 - г. Иркутск; 2 - г. Смоленск; 3 - г. Кисловодск

Результаты исследования показали, что при одинаковой расчетной теплопроизводительности системы отопления Q_p^T, точка бивалентности наступает гораздо раньше при значениях более высоких температур наружного воздуха,

чем в условиях более холодного климата. Задавая определенную температуру бивалентности, можно предварительно оценить целесообразную долю использования ТН в покрытии нагрузки на систему отопления. Для уточнения полученных значений необходимо выполнить расчеты с учетом климатических параметров района застройки и параметров принятого к рассмотрению ТН. Это позволяет при проектировании системы отопления здания подободрать оборудование с более низкими начальными капитальными затратами и оптимизировать эксплуатационные издержки при работе системы отопления.

Литература и источники:

1. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016, - 271 с.
2. Мацко И.И. Разработка методики расчета энергетической эффективности комбинированных теплонасосных станций в системах теплоснабжения // «Тепловые насосы». – 2011. – №3. – С. 52-57.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд. МЭИ. 2009, - 472 с.
4. Кабанова И.А., Колденкова Т.А. Бивалентный режим работы тепловых насосов / // НаукаПарк. 2019. №3. С. 64-71.

А.Г. Кондратенко, асп.; рук. А.С. Коваль, к.т.н., доц.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ DC/DC ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ЛИФТОВ

Лифты работают в режимах, характеризующихся частыми пусками и остановками при которых энергия преобразуется из механической в электрическую и наоборот. Электроприводы лифтов оборудованы системами реостатного и рекуперативного торможения. В тех случаях, когда рекуперация невозможна, включается реостатный тормоз и кинетическая энергия лифта, преобразуемая в электрическую рассеивается на тормозных резисторах. В данный момент в странах СНГ при торможении лифтов применяется тормозной реостат. Для повышения энергетической эффективности лифта необходимо рекуперативное торможение, позволяющее преобразовывать кинетическую энергию в электрическую с возвратом в сеть или запасать ее в накопителях энергии. Рекуперативное торможение с возвратом энергии в сеть возможно только при наличии потребителя электроэнергии и устройства рекуперации. Более простой вариант – использование накопителей энергии при рекуперативном торможении.

Основными разновидностями накопителей энергии, использование которых возможно в приводе лифта, являются [1]:

- емкостные накопители (на суперконденсаторах);
- аккумуляторные батареи.

Сегодня производится большое количество компактных емкостных накопителей с высокими удельными характеристиками. По стоимости суперконденсаторы сопоставимы с аккумуляторными батареями, существенно превосходят их по удельной мощности, ресурсу работы. Однако суперконденсаторы предназначены для накопления и отдачи относительно больших энергий за короткое время и не обеспечивают постоянное выходное напряжение, что является

необходимым для лифтовых систем, но они могут периодически подпитывать двигатель в электроприводе лифта. Для повышения энергоэффективности схем с суперконденсаторами необходима схема регулирования тока заряда конденсаторов, что требует использования дополнительного преобразователя DC/DC.

Аккумуляторные батареи характеризуются высокими КПД, могут обеспечить постоянное выходное напряжение, но имеют невысокие удельные показатели энергоемкости. Находят применение в электроприводах лифтов, как аварийный источник питания, но могут быть использованы и как накопители. Напряжение, вырабатываемое электродвигателем в режиме рекуперативного торможения, обычно больше напряжения с выхода выпрямителя питающего инвертор и меняется в широких пределах в процессе торможения. При использовании аккумуляторов, как накопителей энергии, при рекуперации необходимо понизить это напряжение до уровня, используемого для заряда в аккумуляторах. Эта проблема может быть решена с помощью установки преобразователя постоянного напряжения DC/DC, обеспечивающего постоянство напряжения заряда аккумулятора в процессе рекуперативного торможения. Таким образом использование любых рассматриваемых накопителей рекуперируемой энергии в приводах лифтов требует включения в состав электропривода преобразователей постоянного напряжения DC/DC (рисунок 1).

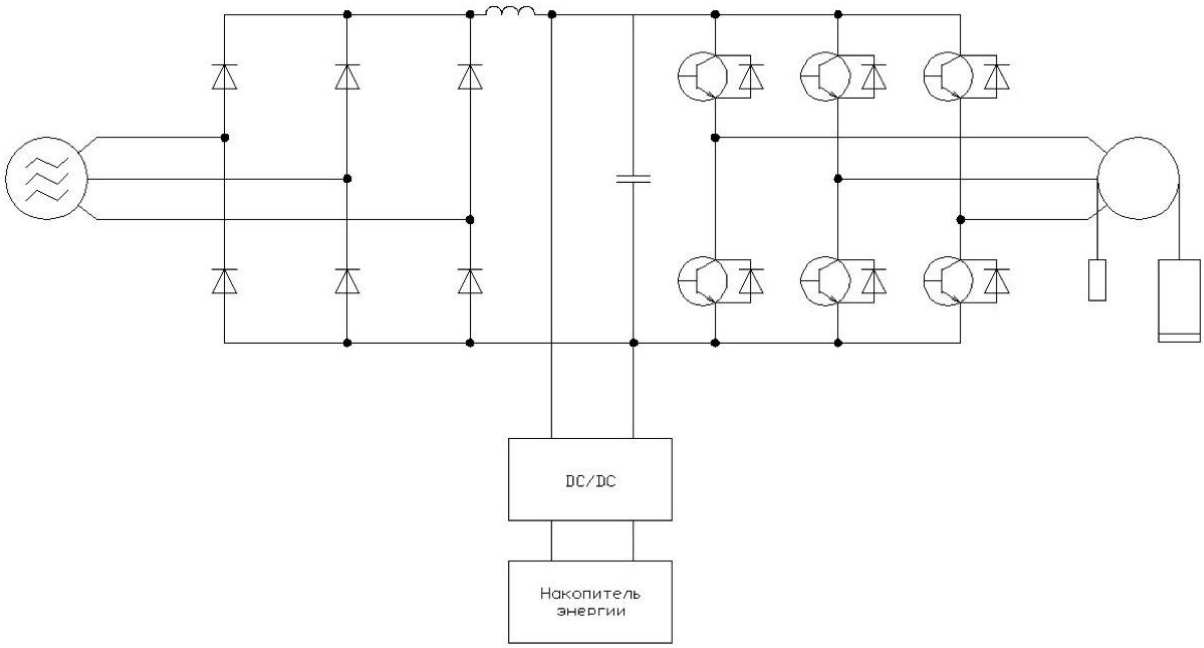


Рис. 1. Схема электропривода лифта с накопителем энергии

Существует большое количество схемных решений для преобразователей постоянного напряжения DC/DC [2]. В общем случае их можно свести к двум основным схемам:

- бестрансформаторные;
- трансформаторные.

Вариант одной из наиболее простых схем бестрансформаторного повышающего преобразователя для работы с суперконденсаторным накопителем

энергии показан на рисунке 2. Эта схема позволяет обеспечить обмен энергией между приводом лифта, питающей сетью и накопителем энергии (рисунок 3).

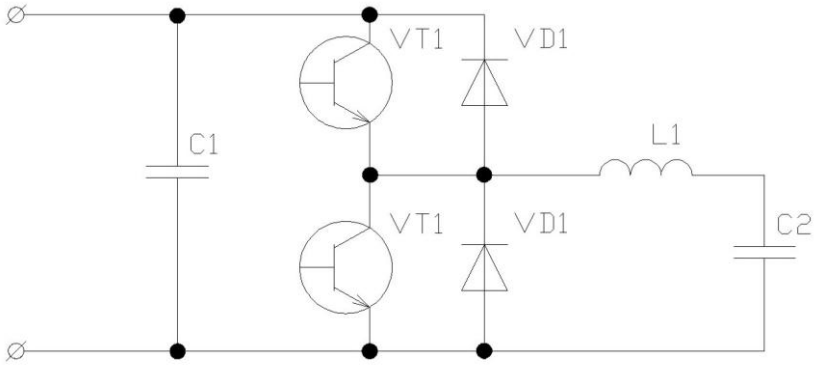


Рис. 2. Схема повышающего преобразователя DC/DC для емкостного накопителя

Основные режимы работы схемы на этом рисунке:
а) двигатель потребляет энергию и от сети, и от накопителя;
б) двигатель потребляет энергию от накопителя;
в) двигатель и накопитель потребляют энергию от сети;
г) накопитель потребляет энергию от двигателя.

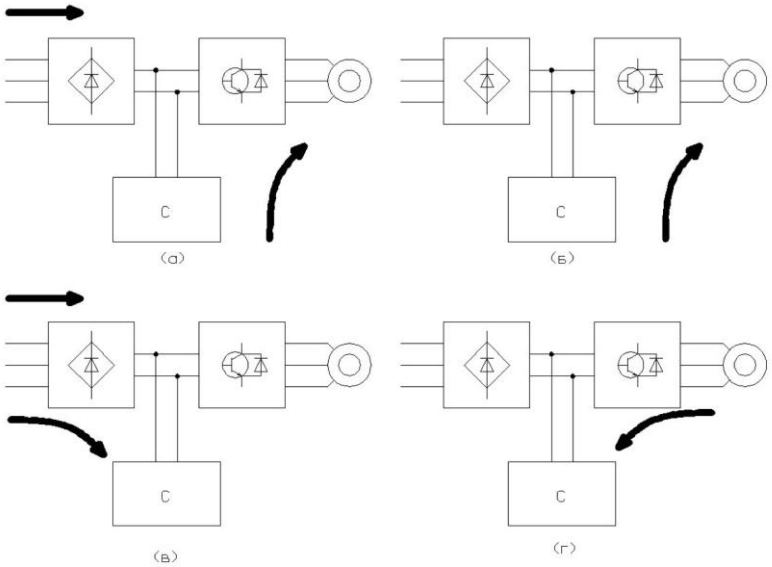


Рис. 3. Обмен энергией между накопителем, сетью и двигателем в электроприводе лифта

Показанная схема не обеспечивает постоянство напряжения при заряде аккумуляторного накопителя. Это может обеспечить схема трансформаторного преобразователя DC/DC (рисунок 4) с обратной связью по напряжению цепи постоянного тока и ШИМ модулятором.

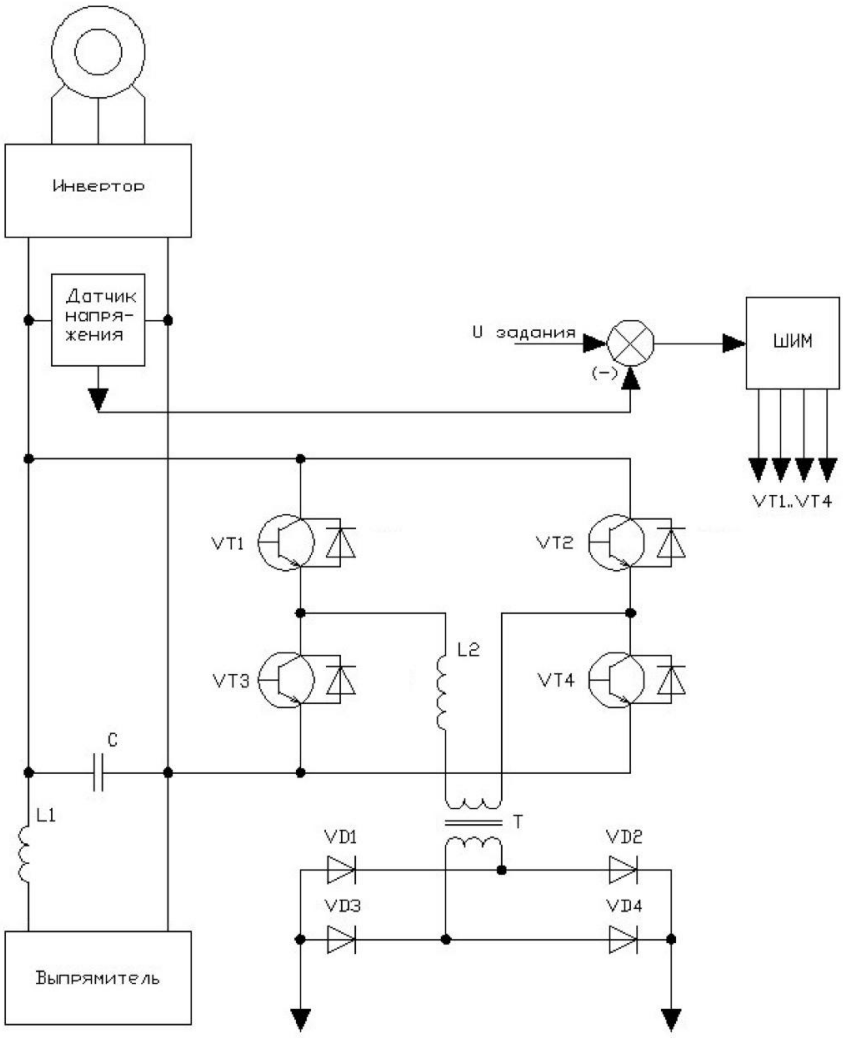


Рис. 4. Схема преобразователя DC/DC

Рассматриваемые схемы преобразователей DC/DC могут быть использованы, как объекты для дальнейшей проработки с целью применения в электроприводах лифтов для сохранения энергии в рекуперативных режимах работы с использованием емкостных и аккумуляторных накопителей

Литература

1. Гулин Н.В. Накопители энергии. М.: Наука,1980 С.68-70
2. Muhammad H. Rashid “Power Electronics Handbook”, Academic Press,2001.

А.А. Косачёва, маг; рук. Д.И. Баловнев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Развитие энергетики состоит в стремлении к сбалансированности энергорайонов, повышении надежности электроснабжения потребителей. Автономные системы (АС) занимают очень важное место в электроэнергетике. АС исполь-

зуются почти во всех отраслях. Крупнейшими потребителями являются топливно-энергетический, аграрно-промышленный и машиностроительный комплексы страны. Область использования таких Генераторы включают в свою область применения такие системы как: стационарные, судовые, передвижные, управляемые электромеханические (транспортные, строительно-дорожные, самоходные машины, ветроэнергетические установки, малые ГЭС, генераторы, работающие на статические преобразователи частоты и многие другие), системы бесперебойного питания ответственных потребителей, в этом же числе современные вычислительные комплексы.

Потребность в АС возникает там, где нет возможности или не выгодно использовать централизованное электрическое обеспечение. В первую очередь это труднодоступные объекты, которые удалены от крупных электрических систем и имеют собственные резерва первичной энергии, например, газовые и нефтяные месторождения.

Автономные электростанции работают на базе синхронного генератора и двигателей внутреннего сгорания.

Оптимальный вариант – это бензиновый генератор, он допускает кратковременные перегрузки, например от электросварки, электропилы, насосов и др. Да и в целом он более надежен и устойчив. При отключении электроэнергии альтернативным, простым и недорогим выбором будет бензиновая электростанция, так как у бензиновой электростанции неплохие преимущества, а именно: небольшие габариты, малый вес, низкий уровень шума.

Цель данной статьи: спроектировать синхронный генератор и изучить проблемы качества электроэнергии.

В качестве объекта исследования был выбран явнополюсный синхронный генератор малой мощности.

Якорь (статор) генератора неподвижен, а полюсы вместе с ярмом вращаются. Полюсы возбуждаются постоянным током через контактные кольца. Статор генератора имеет алюминиевый корпус, в который запрессован пакет активной стали статора. В пазы пакета заложены две обмотки силовая и дополнительная. Выводы силовой обмотки со стороны контактных колец крепят к подшипниковому щиту скобой и подводят к блоку аппаратуры. Обмотку статора выполняют однослойной с укороченным шагом.

Ротор генератора имеет два полюса, набранные из листов электротехнической стали. Пакет полюса склепан специальными заклепками. На сердечники полюсов надеты катушки. Полюсы вместе с катушками закреплены на валу ротора двумя винтами. Между катушками полюсов для обеспечения самовозбуждения генератора на валу размещены два постоянных магнита, закрепленных винтами. Концы катушек полюсов подключены к контактным кольцам, которые изолированы между собой и по отношению к посадочной стальной втулке, оформленной пластмассой. Кольца посажены на вал ротора со стороны, противоположной приводу. Ротор размещен в щитах на двух шарикоподшипниках.

Подшипниковые щиты выполнены литыми из алюминиевого сплава. Для прохода охлаждающего воздуха в щитах имеются окна. На каждое контактное

кольцо в щеткодержатель пальцем устанавливают по одной щетке. Вентилятор с полумуфтой смонтирован на валу ротора со стороны привода. Полумуфты генератора и двигателя соединяются через резиновую прокладку.

Блок выпрямителей расположен в приливе корпуса. Блок состоит из шести кремниевых диодов. Монтируют выпрямители на алюминиевых радиаторах, которые крепят к корпусу двумя винтами. Выпрямители соединены по схеме трехфазного моста.

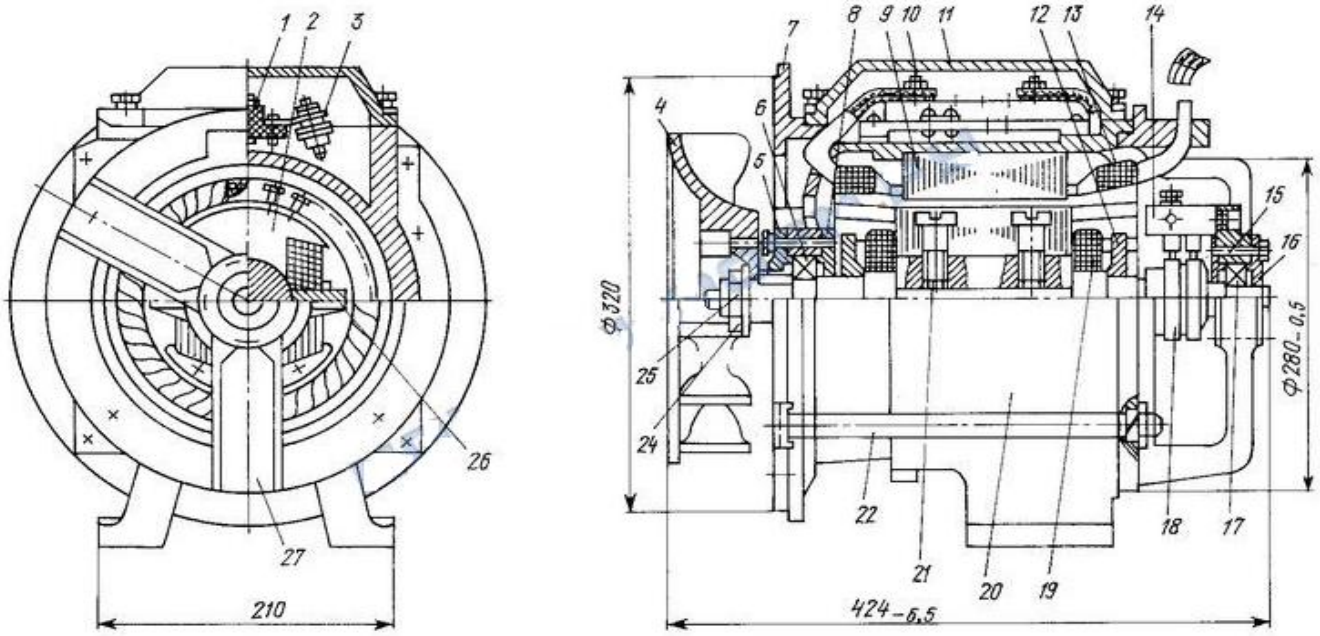


Рис. 1 – Общий вид генератора

1 – панель; 2 – полюс; 3 – радиатор; 4 – вентилятор; 5, 8, 15, 16 – крышки подшипников; 6, 17 – подшипники; 7,27 – подшипниковые щиты; 9 – пакет стали; 10 – зажим; 11 – крышка; 12 – балансировочное кольцо; 13 – обмотки статора; 14 – щеткодержатель; 18 – контактные кольца; 19 – катушка возбуждения; 20 – корпус; 21 – винт крепления полюса; 22 – шпилька; 24 – стопорная шайба; 25 – гайка; 26 – постоянный магнит.

Таблица 1: Результаты расчета генератора[2]

№ п/п	Наименование параметра, единицы измерения	Величина параметра
1	Номинальная мощность P_{2H}, кВт	2,0
2	Номинальное напряжение U_1, В	220/127
3	Число пар полюсов 2p	2
4	Частота вращения n, об/мин	300
5	Номинальный ток якоря, I_a , А	6,28
6	Коэффициент полезного действия ŋ	0,82
7	Коэффициент мощности cosф	0,8
8	Внешний диаметр сердечника статора D_{a1} , мм	210,0
9	Внутренний диаметр сердечника статора D , мм	133,0

10	Диаметр вала d_1, мм	57,0
11	Воздушный зазор δ, мм	1,0
12	Число пазов статора Z_1	48
13	Вид обмотки статора	Однослойная петлевая
14	Число проводников в пазу статора $u_п$	15
15	Число параллельных ветвей а	1
16	Число проводников обмотки статора	215
17	Линейная нагрузка А, А/м	18000
18	Магнитный поток Ф, Вб	0,00522
19	Длина магнитопровода $l_δ$, м	0,075
20	Полюсное деление τ, м	0,212
21	Зубцовое деление статора t_1, м	0,000884
22	Магнитная индукция в коронке зубца B_{zm}, Тл	0,799
23	Магнитная индукция в зубце B_{zm}, Тл	1,48
24	Индукция ярма статора, B_a, Тл	1,44
25	Индукция в зазоре, $B_δ$, Тл	0,52
26	Коэффициент формы поля, k_f	0,93
27	Коэффициент потока возбуждения $k_ф$	0,7
28	Коэффициент полюсного перекрытия$α_δ$	0,94
29	Коэффициент заполнения пакета сталью $К_{зс}$	0,93
30	Коэффициент рассеяния полюсов $К_σ$	4
31	Коэффициент картера $k_δ$	1,19
32	Коэффициент укорочения β	1
33	Магнитная проводимость полюса Λ_m , Гн	$4{,}61 \cdot 10^{-4}$
34	Магнитная проводимость полюса Λ_Z , Гн	$0.78 \cdot 10^{-6}$
35	Коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния Λ_{D1}	3,785
36	Индуктивное сопротивление рассеивания обмотки статора генератора X_1,	0,747
37	Действительная длина статора l_1, м	0,081
38	Длина пакета $l_{пак}$, м	0,081
39	Длина лобовой части $l_л$, м	0,275
49	Масса синхронного генератора $m_{сг}$, кг	50,0
50	Потери на возбуждение $Р_{ст}$, кВт	0,12
51	Электрические потери $Р_э$, кВт	0,09
52	Магнитные потери ярма статора $Р_{a1}$, кВт	0,043
53	Магнитные потери в зубцах статора $Р_{Z1}$, кВт	0,01
54	Механические потери $Р_{мех}$, кВт	0,011

Среди главных проблем электроэнергетики видное место занимает проблема повышения качества электроэнергии, вырабатываемой автономными электроэнергетическими системами. К основным показателям качества элек-

троэнергии относятся: колебания напряжения и отклонения его от номинального значения, несинусоидальность и несимметрия выходного напряжения. Ухудшение качества электроэнергии приводит к сокращению срока службы электрооборудования, снижению его надежности, вызывает увеличение потерь мощности, является одной из главных причин нарушений технологического процесса и снижения производительности труда.

Искажение формы питающего напряжения K_U связано с присутствием нелинейных потребителей, к которым относятся управляемые и неуправляемые выпрямители, преобразователи частоты и др. Нелинейными приемники, употребляющие несинусоидальный ток, приводят к генерации в сеть высших гармоник тока, которые в свою очередь искажают форму напряжения сети. Объем искажения напряжения измеряется мощностью статич. преобразователей и их схемой, индуктивным сопротивлением генератора, глубиной регулирования напряжения и пр.[2].

Гармоники оказывают влияние на генератор неблагоприятным образом, ухудшая как его работу, так и работу всей автономной энергетической системы вообще. При топ-уровне гармоник в системе происходят неверные срабатывания защиты и неточная работа систем управления, что может вывести из строя всю электроустановку.

Искажения токов и напряжений сети приводят к ускоренному старению изоляции линий питания и электрооборудования. Т.е. снижают надежность электроснабжения и работу самих потребителей автономного объекта.

Имеющиеся методы уменьшения нелинейных искажений предполагают использование как схемных или структурных решений, так и различных устройств подавления высших гармоник. В основном, используются преобразователи с повышенной фазностью, сетевые дроссели и фильтры, дроссели постоянного тока, резонансные и синусные фильтры. Главным недостатком перечисленных устройств являются их значительные массогабаритные показатели. Это представляется критичным в автономных электроэнергетических системах, так как увеличение массогабаритных показателей приведет к повышению эксплуатационных издержек.

Перспективным направлением в области повышения качества вырабатываемой электроэнергии является разработка и исследование новых симметрирующих и регулирующих устройств, которые устанавливаются на генератор для улучшения качественных показателей. Использовавшиеся до настоящего времени симметрирующие устройства не отвечают современным требованиям по быстродействию, надежности в работе и точности регулирования напряжений источника.

По данной проблеме существует множество зарубежных и отечественных работ. Но разработка новых схемных решений и путей модернизации управления имеющимся оборудованием не решает всех проблем, так как узким местом здесь становится малая управляемость и невозможность существенной модернизации главных узлов электроэнергетической системы.

В данной статье был спроектирован синхронный генератор. Рассмотрены проблемы качества электроэнергии. Решения этих проблем находятся на стадии разработки.

Литература

1. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин : учебник для бакалавров / И. П. Копылов ; отв. ред. И. П. Копылов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2012. — 767 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс)

2. Сафонов, Д.Г. Влияние отклонения напряжения на потери мощности в электрооборудовании электрических сетей и потребителей / Д.Г. Сафонов [и др.] // Омский научный вестник. 2013. № 2 (120). С. 203-206.

Д.Э. Морозов, И.И. Кожемякин, маг.; рук. В.А. Галковский, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ХЛАДОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Холодильная техника в настоящее время представляет собой высокоразвитую отрасль промышленности, способную удовлетворить самые разнообразные требования, возникающие в связи с необходимостью отводить теплоту от различных объектов при температурах ниже температуры окружающей среды. Развитие некоторых отраслей нельзя представить без применения искусственного холода. В пищевой промышленности холод обеспечивает длительное сохранение скоропортящихся продуктов.

Объектом рассмотрения являлся распределительный одноэтажный холодильник, расположенный в г. Москве. В нем расположено 3 камеры хранения, машинное и вспомогательное отделения. Холодильник предназначен для хранения продуктов с различными температурными режимами. Продукты для хранения: замороженная говядина (температура хранения -12˚С); замороженное мясо птицы (температура хранения -18˚С); яйца (температура хранения 0˚С).

В качестве теплоизоляции ограждающих конструкций использовался пенополиуретан ППУ-3. Чем больше значение коэффициента теплопередачи k_0 ограждения, тем больше теплоты будет проникать в охлаждаемый объем холодильника. Уменьшить теплоприток можно путем уменьшения значения k_0, что достигается применением более эффективной теплоизоляции или увеличением ее толщины [1]. Необходимо было рассчитать толщину изоляционного слоя и значения коэффициентов теплопередачи. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Толщина изоляционного слоя и коэффициент теплопередачи

Параметр	Тип ограждения	Замороженная говядина	Замороженное мясо птицы	Яйца
Толщина изоляционного слоя $\delta_{из}$, м	Наружная стена	0,15	0,2	0,1
	Внутренняя	0,15	0,15	0,1

	стена			
	Пол	0,15	0,2	0,1
	Потолок	0,25	0,25	0,15
Действительное значение коэффициента теплопередачи $k_o^д$, Вт/(м^2·К)	Наружная стена	0,27	0,21	0,37
	Внутренняя стена	0,27	0,27	0,37
	Пол	0,27	0,21	0,37
	Потолок	0,18	0,18	0,27

Для анализа работы рассматриваемой системы необходимо было рассчитать теплопритоки в камеры холодильника, а именно: через ограждающие конструкции помещения, от продуктов при их холодильной обработке, при вентиляции помещений и эксплуатационные теплопритоки. Нагрузка на камерное оборудование ∑Q (кВт), определятся как сумма всех теплопритоков в данную камеру, так как камерное оборудование должно обеспечивать отвод теплоты при самых неблагоприятных условиях [2]. Результаты теплового расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты теплового расчета

Камера для хранения	Q_1, Вт		Q_2, Вт		Q_3, Вт	Q_4, Вт		∑Q, Вт	
	Камерное оборудование	Компрессор	Камерное оборудование	Компрессор		Камерное оборудование	Компрессор	Камерное оборудование	Компрессор
Яиц	18895	18895	1662	834	6387	11704	7022	38649	38659
Говядины	33263	33263	6051	3328	-	13736	8241	53050	52405
Мяса птицы	28250	28250	5247	2886	-	12548	7529	46047	45454

В данной работе рассматривались три хладагента: фреон R-401C, фреон R-407C и фреон R-409A, циркулирующие в децентрализованной безнасосной системе непосредственного охлаждения. Холодильная установка непосредственного охлаждения конструктивно проще, менее энергоемка, дешевле в эксплуатации, более долговечна и имеет меньшую стоимость. В ее составе отсутствует испаритель и насосно-моторная группа по перекачке хладоносителя. Так же к плюсам непосредственного охлаждения относятся интенсивное охлаждение камер, которое начинается сразу после пуска компрессора и возможность получения более высоких температур кипения по сравнению с другими способами охлаждения [3].

Для дальнейшего анализа необходимо было определить рабочий режим для каждой камеры хранения и построить циклы холодильных машин на различных хладагентах и в двух вариантах исполнения: одноступенчатая и двухступенчатая

установка в их различных комбинациях. Температуры испарения и конденсации для всех камер представлены в таблице 3.

Таблица 3. Температуры испарения и конденсации

Камера для хранения	t_0, °C	$t_к$, °C
Яиц	-10	35
Замороженной говядины	-22	35
Замороженного мяса птицы	-28	35

Для определения наиболее выгодного хладагента и цикла установки проводился расчёт эффективной мощности на валу компрессора для каждого варианта исполнения. Результаты расчетов одноступенчатых компрессоров представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчетов одноступенчатых компрессоров

Параметр	Камера хранения на фреоне R-401C			Камера хранения на фреоне R-407C			Камера хранения на фреоне R-409A		
	Говядина	Мясо птицы	Яйца	Говядина	Мясо птицы	Яйца	Говядина	Мясо птицы	Яйца
M, кг/с	0,258	0,364	0,325	0,019	0,043	0,052	0,031	0,062	0,071
$V_д$, м^3/с	0,032	0,069	0,089	4,548	7,050	8,813	4,450	6,846	9,368
P_k/P_0	4,222	6,909	10,27	0,773	0,632	0,564	0,777	0,643	0,548
λ	0,791	0,643	0,53	0,025	0,069	0,091	0,040	0,096	0,130
V, м^3/с	0,040	0,108	0,168	8,844	17,348	17,73	10,567	19,652	20,130
N_T, кВт	8,505	15,649	16,23	11,054	21,685	22,16	13,209	24,565	25,162
N_i, кВт	10,631	19,561	20,29	12,562	24,642	25,18	15,010	27,915	28,593
N_e, кВт	12,081	22,228	23,05	49,713	74,090	67,61	51,868	76,970	70,616
$Q_к$, кВт	49,290	71,966	65,74	153	145	141	150	144	140

M, кг/с – массовый расход пара; Vд, м^3/с – объёмный расход пара; P_k/P_0 – степень сжатия; λ – коэффициент подачи компрессора; V, м^3/с – описываемый объём компрессора; N_T, кВт – теоретическая мощность компрессора; N_i, кВт – действительная мощность компрессора; N_e, кВт – эффективная мощность на валу; $Q_к$, кВт – тепловой поток в конденсаторе.

Результаты расчетов двухступенчатых компрессоров представлены в таблице 5.

Таблица 5. Результаты расчетов двухступенчатых компрессоров

Параметр		Камеры хранения на фреоне R-401C			Камеры хранения на фреоне R-407C			Камеры хранения на фреоне R-409A		
		Го-вя-дина и яйца	Мясо птицы и яйца	Го-вя-дина и мясо птицы	Го-вя-дина и яйца	Мясо птицы и яйца	Го-вя-дина и мясо птицы	Го-вя-дина и яйца	Мясо птицы и яйца	Го-вя-дина и мясо птицы
M, кг/с	с.н.д	0,458	0,431	0,468	0,426	0,401	0,433	0,462	0,436	0,475
	с.в.д	0,638	0,613	0,706	0,6286	0,5995	0,6988	0,6502	0,6218	0,7060
$V_д$, м^3/с	с.н.д	0,087	0,119	0,129	0,0511	0,0641	0,0693	0,0786	0,0959	0,1045
	с.в.д	0,079	0,076	0,134	0,0478	0,0456	0,0839	0,0780	0,0746	0,1200
$P_{пр}/P_0$		1,636	2,432	1,486	1,550	1,938	1,250	1,538	2,105	1,368
$P_k/P_{пр}$		4,222	4,222	6,909	4,548	4,548	7,050	4,450	4,450	6,846
λ	с.н.д	0,941	0,9	0,95	0,946	0,925	0,964	0,932	0,908	0,94
	с.в.д	0,791	0,791	0,641	0,77	0,77	0,632	0,777	0,777	0,643

V, $м^3/с$	с.н.д	0,092	0,132	0,136	0,0540	0,0693	0,0719	0,0843	0,1056	0,1112
	с.в.д	0,100	0,096	0,209	0,0620	0,0592	0,1327	0,1004	0,0960	0,1866
N_T, кВт	с.н.д	4,576	7,764	3,746	5,106	7,610	3,464	6,472	9,152	3,800
	с.в.д	21,04	20,826	31,046	22,000	20,982	33,541	26,660	25,493	38,122
N_i, кВт	с.н.д	5,720	9,705	4,682	6,383	9,513	4,330	8,089	11,440	4,750
	с.в.д	26,30	26,032	38,807	27,500	26,228	41,927	33,325	31,866	47,653
N_e, кВт	с.н.д	6,500	11,029	5,321	7,253	10,810	4,921	9,193	13,000	5,398
	с.в.д	29,88	29,582	44,099	31,250	29,805	47,644	37,869	36,211	54,151
$Q_к$, кВт		127,4	124,72	147,27	129,56	124,72	150,42	138,12	133,32	157,40

$P_{пр}/P_0$ – степень сжатия в первой ступени; $P_к/P_{пр}$ – степень сжатия во второй ступени.

Как видно из результатов расчетов наиболее рациональны следующие варианты исполнения:

1) с одноступенчатыми компрессорами для всех камер на фреоне R-401C
2) с двухступенчатым компрессором для камер хранения яиц и замороженной говядины и одноступенчатым компрессором для камеры хранения замороженного мяса птицы на фреоне R-401C.

По результатам расчёта компрессоров, конденсаторов и испарителей был осуществлён подбор основного и вспомогательного оборудования для рассмотренных вариантов исполнения. Это дало возможность определить капитальные затраты для них. Результаты расчёта представлены в таблице 6.

Таблица 6. Капитальные затраты на холодильное оборудование

Система хладоснабжения	Капитальные затраты, руб.
Одноступенчатые компрессоры для всех камер на фреоне R-401C	10 059 346
Двухступенчатый компрессор для камер хранения яиц и замороженной говядины и одноступенчатый компрессор для камеры хранения замороженного мяса птицы на фреоне R-401C	9 665 084

С учетом того, что потребление электроэнергии примерно одинаковое, а закупка во втором варианте на 404 262 рубля дешевле, чем в первом, делаем вывод, что второй вариант наиболее предпочтителен.

Литература

1. Шведов В.Ф. Низкотемпературная атмосферная теплоизоляция [Текст] // Холодильная техника. – 2006. - №3. – С.42-43
2. Комарова Н.А. Холодильные установки часть I, книга 1: Учебное пособие – Кемерово.: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. - 125 с.
3. Мещеряков Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии: Учебник - М.: Пищевая промышленность, 1975. – 560 с.

С.Л. Передельский, Д.А. Михейкин, студ.; рук. В.В. Марков, В.Ю. Крутикова
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, филиал в г. Карачеве)

ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРА «АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

В настоящее время в нашей стране и мире в целом возрос интерес к альтернативным источникам энергии [1]. Получение электрической энергии из энергии Солнца, ветра, воды, водорода, механической и химической энергии привлекает не только специалистов в области энергетики, но также студентов высших и средних образовательных учреждений профессионального образования [2]. Поэтому при организации занятий по дисциплинам «Электротехника» в учреждениях профессионального образования и «Технология» по программе средней школы необходимо уделять более глубокое внимание изучению физических принципов получения электрической энергии.

Одной из основных проблем изучения особенностей получения электрической энергии из традиционных и альтернативных источников является отставание лабораторной базы образовательных учреждений от современного состояния электроэнергетики. Кроме того, высокая стоимость современных лабораторных стендов создаёт трудности при оснащении лабораторий электротехники. Одним из путей решения данной задачи является расширение возможностей электронных конструкторов и игровых наборов для творчества [3].

Преимущества электронных конструкторов и игровых наборов для решения проблем технического обеспечения лабораторий очевидны:

1) серийное производство, *наличие сертификата безопасности*, что служит гарантией безопасности студентов и школьников при проведении лабораторных работ и практических занятий (это преимущество особенно выгодно отличает электронные конструкторы и игровые наборы от лабораторных стендов, изготовленных собственными силами преподавателей и студентов);

2) *чрезвычайно низкая стоимость*, как правило, в 10…20 раз меньшая стоимости лабораторного оборудования для вузов. Это преимущество позволяет приобрести конструкторы в количестве, достаточном для оснащения нескольких рабочих мест лаборатории, и, что на взгляд авторов статьи, является особенно важным, даёт возможность реализации на элементной базе конструктора самых разнообразных экспериментов, проведение которых может быть связано с риском повреждения отдельных электронных компонентов;

3) *наличие методического описания к постановочным опытам*, которое преподаватель может использовать в качестве рекомендаций для разработки методических материалов к лабораторным работам, практическим занятиям, а также занятиям, проводимым в интерактивной форме;

4) *использование стандартной элементной базы*. Это преимущество электронных конструкторов и игровых наборов является одним из наиболее объективных аргументов при обосновании их использования на лабораторных работах и практических занятиях по электротехнике и технологии. Несмотря на

то, что наборы предназначены для домашних опытов, они построены на основе стандартных электронных компонентов. Поэтому возможность их использования в учреждениях профессионального образования технически обосновано;

5) *визуализация большого количества физических явлений, которые традиционно изучаются только теоретически*. Это преимущество является бесспорным – наглядный опыт с демонстрацией физического явления оживляет занятие и пробуждает интерес к изучению дисциплины.

Вместе с тем, у электронных конструкторов и игровых наборов имеются *недостатки*, ограничивающие области их применения. Но эти недостатки можно устранить за счёт использования дополнительных технических приёмов.

Недостаток 1 – *отсутствие совершенного измерительного оборудования*. Этот недостаток сравнительно легко устраняется пополнением каждого конструктора универсальными средствами электрических и радиотехнических измерений, которые обычно в избытке имеются в любой электротехнической лаборатории (мультиметр, генератор сигналов, осциллограф, частотомер).

Недостаток 2 – *необходимость усложнения постановочных опытов*. Как правило, электронные конструкторы ориентированы на школьников. Поэтому технический уровень их проведения недостаточно высок для студентов учреждений профессионального образования, и преподавателям необходимо приложить собственные усилия для преобразования постановочного опыта в полноценную лабораторную работу или практическое занятие.

Недостаток 3 – *повышение трудоёмкости дисциплин*. Использование электронных конструкторов для насыщения лабораторных работ и практических занятий экспериментами требует от преподавателя дополнительного времени для подготовки к занятиям и разработки методического обеспечения. Кроме того, отход от практики проведения занятий в традиционной форме усложняет процедуру работы и требует дополнительного объёма нагрузки.

В качестве примера реализации данного подхода к техническому оснащению лаборатории электротехники рассмотрим возможности серийно выпускаемого электронного конструктора «Альтернативные источники энергии».

Данный электронный конструктор позволяет собрать макеты генераторов электрической энергии: механического генератора (ручная динамо-машина); ветряного генератора; генератора на основе солнечной батареи; водяного турбогенератора; водородной энергетической ячейки; химической энергетической ячейки. В число дополнительных элементов входят: аккумулятор; комплект соединительных проводов; электрорадиоэлементы; элементы отображения информации (светодиоды, лампы накаливания); элементы, имитирующие работу силовой нагрузки (электродвигатель, передвижные устройства); коммутационные элементы, датчики, средства промышленной автоматики и измерительные приборы (выключатели, реле, пьезоэлектрический, ёмкостный, реостатный, фоторезистивный преобразователи, миллиамперметр, вольтметр). К конструктору прилагается руководство по выполнению около 130 постановочных опытов.

Дополнение конструктора «Альтернативные источники энергии» ком-

плектов универсальных средств электрических и радиотехнических измерений существенно расширяет его технические возможности и обеспечивает возможности создания на его основе лабораторного практикума по изучению альтернативной энергетики и промышленной автоматики. Перечислим примерный перечень лабораторных работ, которые могут быть поставлены на его основе:

1) сравнение показателей эффективности механического генератора, ветряного генератора и водяного генератора электрической энергии;

2) исследование чувствительности генератора электроэнергии на основе солнечной батареи;

3) получение электрической энергии методом водородной энергетики;

4) моделирование системы звукового управления комбинированной электростанцией (переключение солнечной батареи и ветряного генератора по звуковому сигналу от внешнего источника);

5) моделирование системы магнитного управления электрогенератором;

6) моделирование системы сенсорного управления электрогенератором;

7) работа электропривода от альтернативного источника энергии;

8) явление фотоэффекта и его использование в энергетике;

9) химические явления, применяемые в электроэнергетике;

10) паспортизация портативной гидроэлектростанции;

11) паспортизация портативной ветряной электростанции;

12) паспортизация солнечной электростанции.

Многие схемы носят не только познавательный характер, но и пригодны для практического использования. В схемах используется ручное, магнитное, световое, водяное, звуковое, электрическое, а также сенсорное управление. Электронный конструктор содержит всё необходимое, чтобы заинтересовать преподавателей, студентов и школьников в более глубоком изучении способов получения электрической энергии из альтернативных источников [3].

Дополнение данного конструктора расширенным учебным набором «Супер-измеритель» расширяет его возможности и обеспечивает возможности создания на его основе лабораторного практикума по изучению принципов действия измерительных преобразователей. Перечислим примерный перечень лабораторных работ, которые могут быть поставлены на его основе: изучение принципа действия ультразвукового измерителя расстояний; сравнение метрологических характеристик генераторных и параметрических преобразователей температуры; оценка чувствительности фоторезистивного преобразователя освещённости; анализ принципа действия преобразователя акустического шума; применение измерительных преобразователей в системах автоматического управления и регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1 Кононов, Ю.Д. Энергетика и экономика. Проблемы перехода к новым источникам энергии [Текст] / Ю.Д. Кононов. – М.: Наука, 2011. – 190 с.

2 Конструктор электрический «Альтернативные источники энергии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.youtube.com/watch.

3 Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г./ Пер. с англ. под ред. Ю. Н. Старшикова. – М.: Энергия, 2000. – 256 с.

И.Д. Петров, студ.; рук. В.А.Чернов, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Представление результатов эксперимента в словесной форме считается достаточно сложной проблемой при проведении научных исследований. Это самый неэффективный вариант представления результатов, однако, его нельзя игнорировать полностью. Безусловно, результаты определенных экспериментов, проводимых в современных лабораториях, просто невозможно представить в словесной форме. В технических исследованиях значительная часть технического отчета обычно включают словесные описания и объяснения.

Подобным образом, исследования, отличающиеся высокой сложностью, в итоге представляют собой не что иное, как большое число отдельных экспериментов, проводимых с помощью дорогостоящего комплекта испытательного оборудования. [3]

Инженерное исследование представляет собой экспериментальный и аналитический методы изучения явлений и процессов, следовательно, основополагающую роль играет научный эксперимент, без помощи которого не может обойтись ни одно исследование. Суть проведения эксперимента – определение математической модели объекта исследования.

При проведении модельного эксперимента исследуемый объект заменяется неким подобием оригинала, сохраняющим его особенности, существенные для данного исследования. Дальнейшее построение модели реализуется на базе теории подобия.

Процесс проведения любого эксперимента можно разделить на пять главных этапов:

1) определение цели эксперимента;

2) составление плана эксперимента;

3) подготовка эксперимента;

4) проведение эксперимента;

5) обработка и анализ полученных результатов эксперимента, с последующими выводами.

Составление плана эксперимента представляет собой процесс выбора числа и последовательности проведения опытов, предназначенных для достижения цели эксперимента.

Планирование эксперимента позволяет при минимальных затратах времени получить математическую модель явления и определить наилучшие пути его протекания.

Базисом планирования являются два направления: математическая статистика и теория вероятностей. Это связанно с тем, что результаты эксперимента чаще всего являются случайными величинами или случайными процессами.

Причиной этому становятся неконтролируемые условия проведения эксперимента, ошибки наблюдений, измерений и т. д.

После получения данных следует их обработка, в большинстве случаев заключающаяся в статистической обработке информации. Систематизируя эти данные, появляется возможность сделать определенные выводы, касающиеся эксперимента.

Статистические методы дают возможность количественного определения характеристики различных явлений и процессов и представляют действенный инструмент планирования, анализа и прогнозирования показателей.

Между многообразными показателями могут быть две формы зависимости и связи: функциональная и корреляционная. Функциональной называется такая зависимость, которая точно проявляется в каждом отдельном случае и подчинена принципу строго определенного соответствия между количественными признаками. Такие зависимости чаще всего выступают в качестве уравнений, таблиц или графиков. Корреляционной называется такая зависимость между явлениями и показателями, которая проявляется во множественных наблюдениях. Теория и методы корреляционного анализа применяются для исследования основных связей между явлениями и признаками. Корреляционные зависимости занимают промежуточное положение между функциональными зависимостями и полной независимостью между переменными.

Исследование связей между показателями требует статистических наблюдений за всеми изучаемыми показателями. При этом есть возможность изучения взаимосвязей и зависимостей показателей между собой. Для достижения этой цели применяется корреляция (от английского correlation – соотношение, соответствие, взаимозависимость, взаимосвязь), которая позволяет проследить, насколько средняя величина одного из показателей меняется в зависимости от другого.[2]

Парная корреляция дает возможность проследить зависимость между двумя показателями. Если есть наблюдения за одним показателем $y_{1,1}$, $y_{1,2}$, …, $y_{1,n}$, а за вторым – $y_{2,1}$, $y_{2,2}$, …, $y_{2,n}$, то коэффициент парной корреляции будет рассчитываться по формуле

$$r_{1,2} = \left[\sum_{j=1}^{n} \left(y_{1j} - \overline{y_1} \right) \left(y_{2j} - \overline{y_2} \right) \right] / \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{1j} - \overline{y_1} \right)^2 \sum_{j=1}^{n} \left(y_{2j} - \overline{y_2} \right)^2}$$

где $\overline{y_j}$ – среднее арифметическое для i-го показателя (j = 1, 2).

В общем случае это уравнение можно представить следующим образом:

$$r_{i,k} = \left[\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - \overline{y_i} \right) \left(y_{kj} - \overline{y_k} \right) \right] / \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(y_{ij} - \overline{y_i} \right)^2 \sum_{j=1}^{n} \left(y_{kj} - \overline{y_k} \right)^2}$$

Коэффициент парной корреляции изменяется в пределах от –1 до +1, причем, чем ближе коэффициент к +1, тем сильнее между показателями взаимосвязь, выражающаяся в прямой зависимости, т.е. при росте одного показателя

увеличивается и второй, и наоборот. Чем ближе коэффициент парной корреляции к –1, тем сильнее связь между двумя показателями, выражающаяся в обратной зависимости, т.е. при увеличении одного показателя другой уменьшается, и наоборот. При приближении коэффициента к нулю связь между показателями ослабевает, имеет место предположение о независимости показателей.[1]

При изучении процессов, продолжительных по времени, бывает не целесообразно проведение эксперимента во всем временном интервале. Например, исследование изоляции электрических машин на пробой, связанный со старением, требует колоссального временного ресурса. Так на рисунке 1 представлены результаты измерения сопротивления модели изоляции электрической машины до воздействия внешних факторов (зависимость 1) и после 100 часов воздействия (зависимость 2).

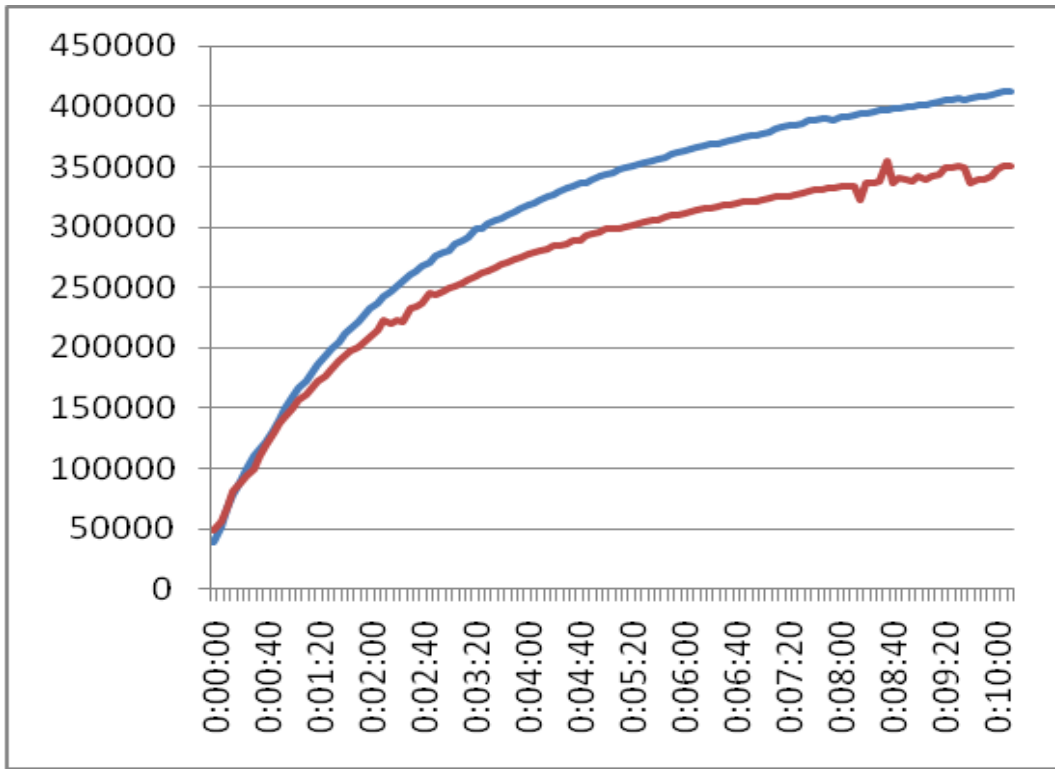


Рис.1. Зависимости R(t): 1 – до старения, 2 – после 100 часов старения.

Из рисунка видно, что величина сопротивления уменьшается, а так же меняется характер изменения зависимости R(t).

Однако рассмотренный временной промежуток является малым по сравнению со сроком эксплуатации электрических машин, а проведение более длительных испытаний не целесообразно на производстве. В этом случае корреляционный метод дает возможность увидеть изменения в динамике и дать возможность прогнозирования дальнейшего развития событий.

Статистические методы чрезвычайно разнообразны – от элементарных статистических приемов до сложнейших современных способов и моделей. Область применения этих способов, моделей и приемов различна: в некоторых

случаях для изучения явления и решения задачи достаточно применить относительно простые методы, в других – специальные, весьма сложные, требующие определенных знаний от исполнителей.

Литература

1. Теория инженерного эксперимента: текст лекций/А.К. Бояршинова, А.С. Фишер. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 85 с.
2. Основы численных методов: Учеб. пособие. Турчак Л.И. – М.: Гл. ред. Физ.-мат. лит. 1987. – 320 с.
3. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. Пер. с англ. - М.: Мир, 1972.

А.Ю. Петров, студ.; рук. В.В. Льготчиков, д.т.н., профессор.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ НАИЛУЧШЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Вентильно-индукторная машина (ВИМ) принадлежит к классу синхронных реактивных машин. В последнее время данный тип двигателей находит всё большее и большее применение в различных отраслях техники и промышленности. Однако методы проектирования пока плохо отработаны, а иногда и противоречивы. Это является сдерживающим фактором их распространения. Именно поэтому актуальность темы показывают на конференциях, рассматривают в современных источниках.

Тем не менее достаточно значительное количество крупных компаний успешно занимается изготовлением и применением вентильных машин в различных сферах. Например, фирма Aisin Seiki занимается разработкой таких двигателей для электромобилей, Emerson применяет их в стиральных машинах, в DANA Corporation используют их в системах управления автомобилем, также существуют вентильно-индукторные двигатели, применяемые в насосах, системах вентиляции, сельскохозяйственной технике, электроприводе дверей и т.д. Российские компании также делают успехи: ООО «Завод «Электротехника» выпускает ВИД для привода антенн радаров и мотор-винты, двигатели для медицинской техники, систем промышленной автоматики, транспортных устройств, а в ОАО «ВЭлНИИ» изготовлен вентильных двигатель на 300 кВт для привода электровоза.

Проектировании вентильно-индукторных двигателей, как и любой другой электрической машины, является процессом многоэтапным. Первым этапом можно выделить эскизное проектирование. Оно позволяет с большой погрешностью оценить возможные пределы изменения габаритных размеров и наиболее эффективные их соотношения, а также ряд иных показателей, служащих опорой для дальнейших детальных расчётов.

Второй этап проектирования, как правило, основан на значительно меньшем количестве допущений и более точных соотношениях. Часто он включает в

себя поверочных расчёт электрической машины по данным, полученным на первом этапе, но с уже значительно более точным их расчётом.

Последующие этапы могут быть достаточно разнообразными и зависят от специфики конкретной поставленной задачи и нацелены на получение более предсказуемого и более высокого результата готовой машины.

Использование подобной системы этапов позволяет на каждом из последующих этапов существенно уменьшать трудозатраты проектирования, используя результаты предыдущих этапов. Помимо этого, такой подход даёт возможность построить методику, основанную на реализации алгоритма поиска наилучшего варианта наиболее простым путём, и, что особенно важно, с наименьшим количеством рекомендаций, основанных на имеющемся опыте проектирования, который, как в случае с вентильно-индукторными двигателями, может быть ещё не накоплен.

Данный проект основан на методике расчёта, изложенной в [2]. За основу взят асинхронный двигатель АИР100S2 мощностью в 4 кВт и внешним диаметром статора в 215 мм. Это довольно распространённая и перспективная практика, учитывая простоту и технологичность вентильных двигателей, а также более низкую цену, нежели использование асинхронного двигателя с преобразователем частоты.

В ходе расчёта нас прежде всего интересует конструкция магнитопровода, а именно геометрические параметры зубцовой зоны статора и ротора. Именно они влияют на величину магнитных потерь, а также на параметры катушек, в которых присутствуют электрические потери. Был проанализирован десяток параметров, имеющих потенциальное влияние на величину потерь. Была предварительно оценена величина их влияния на итоговый КПД, возможность их независимого изменения, а также диапазон их допустимых значений. Предпочтение отдавалось относительным величинам, что позволит использовать их оптимальные значения при проектировании достаточно широкого круга вентильно-индукторных двигателей. Итак, было выделено 4 фактора оптимизации: отношение высоты ярма к ширине зубца статора (k_{haS}=0,5…1), отношение высоты к ширине зубца статора (k_{hZS}=0,5…6), высота зубца ротора относительно воздушного зазора (k_{hZR}=20…30), отношение высоты ярма к ширине зубца ротора (k_{haR}=0,5…1,5). Чтобы полностью понимать влияние факторов на характеристики двигателя выбрано несколько отслеживаемых параметров, а именно: КПД, максимальный момент, развиваемый за период коммутации фазы двигателя, ток на входе инвертора, а также массы стали и меди. Однако основной целью оптимизации является именно максимальный КПД.

Для анализа влияния выбранных факторов на целевую функцию, а также определения характера этого влияния в их различных сочетаниях решено было использовать план эксперимента второго порядка в виде ортогонального центрального композиционного плана (ОЦКП). При числе факторов равном 4 имеем 16 опытов в рамках ПФЭ, 8 опытов для звёздных точек со звёздным плечом равном 1,414 и нулевую точку. Итого 25 вариантов расчёта. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1.

№	k_{haS}	k_{hZS}	k_{hZR}	k_{haR}	η	M_{max}	I_d	m_{Cu}	m_{Fe}
1	0,5	0,5	20	0,5	0.735	158.815	10.339	2.109	8.508
2	1	0,5	20	0,5	0.787	152.66	9.631	2.004	13.368
3	0,5	6	20	0,5	0.6	103.333	12.614	2.616	11.777
4	1	6	20	0,5	0.64	99.435	11.825	2.871	22.049
5	0,5	0,5	30	0,5	0.767	226.852	9.919	2.375	8.543
6	1	0,5	30	0,5	0.81	213.944	9.385	2.237	13.404
7	0,5	6	30	0,5	0.617	120.901	12.328	2.968	16.934
8	1	6	30	0,5	0.656	114.123	11.56	2.965	22.1
9	0,5	0,5	20	1,5	0.767	158.925	9.917	2.11	10.994
10	1	0,5	20	1,5	0.82	153.441	9.297	1.991	18.098
11	0,5	6	20	1,5	0.606	104.633	12.635	2.872	17.766
12	1	6	20	1,5	0.65	99.239	11.623	2.868	22.798
13	0,5	0,5	30	1,5	0.792	228.735	9.679	2.385	10.773
14	1	0,5	30	1,5	0.835	213.944	9.104	2.237	15.284
15	0,5	6	30	1,5	0.625	121.376	12.23	2.973	17.424
16	1	6	30	1,5	0.664	114.198	11.429	2.966	22.475
17	0,354	3,25	25	1	0.655	151.846	11.66	2.372	10.685
18	1,414	3,25	25	1	0.741	136.946	10.301	2.498	25.747
19	0,75	0,354	25	1	0.813	192.058	9.322	2.151	13.964
20	0,75	8,484	25	1	0.592	88.64	12.792	3.088	15.841
21	0,75	3,25	14,144	1	0.663	95.868	11.423	2.233	19.935
22	0,75	3,25	42,42	1	0.731	180.454	10.418	2.536	14.325
23	0,75	3,25	25	0,354	0.693	146.544	11.056	2.44	15.93
24	0,75	3,25	25	2,121	0.717	145.187	10.58	2.4	15.784
25	0,75	3,25	25	1	0.713	147.859	10.842	2.371	13.187

Как мы видим, результаты расчёта КПД имеют значительный разброс. Для анализа характера их зависимости от оптимизируемых факторов, определения параметров регрессии, оценки точности модели, а также её адекватности занесём данные в таблицу для расчёта. Она представлена на рисунке 1.

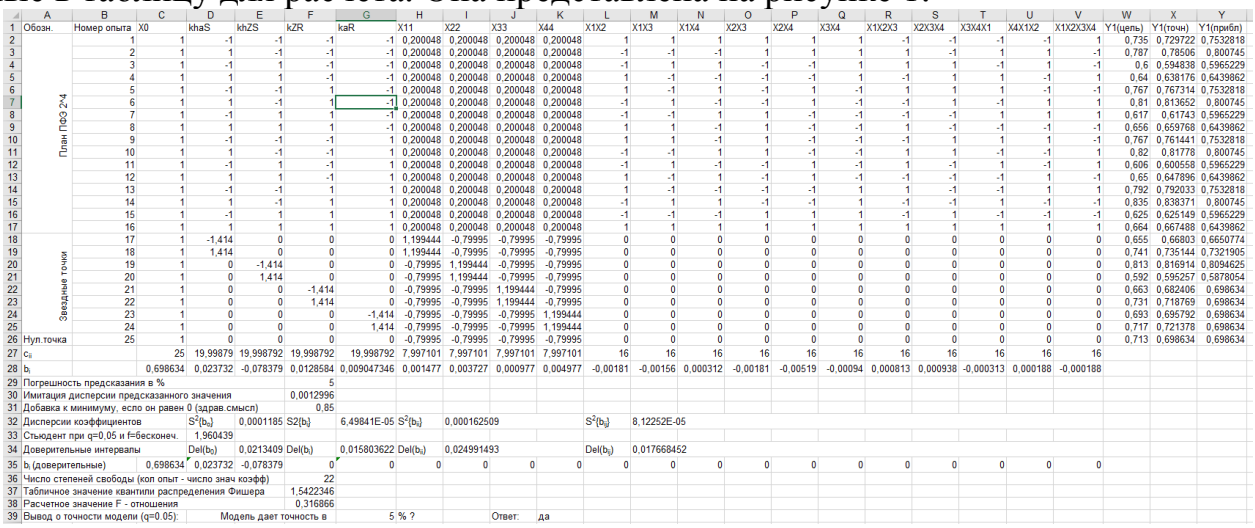


Рисунок 1. Таблица расчёта параметров плана эксперимента.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

– модель является адекватной и даёт необходимую точность в 5%;

– зависимость целевой функции от коэффициентов является линейной и может быть представлена плоской поверхностью;

– наилучший результат дал опыт №14, рассчитанное значение КПД составило 83,5%, при этом очень высокое значение момента и приемлемые значения массы используемой меди и стали;

– выяснилось, что два фактора из предложенных (коэффициенты зубца и ярма ротора) имеют не столь высокое влияние на целевую функцию, их допустимый диапазон изменения попадает в доверительный интервал.

В связи с этим для дальнейших поисков оптимальной конструкции перенесём центр плана в точку с наилучшим результатом, в факторах нового плана эксперимента оставим только два значимых (параметры зубца и ярма статора), а диапазон их изменения сокращаем вдвое. Также обращаем внимание, что текущий расчёт являлся первым этапом нашей работы и имел ряд существенных допущений: коммутация считалась мгновенной и взаимное влияние фаз не учитывалось, также, как и насыщение стали, потери в сердечнике магнитопровода учитывались приближенно.

Поэтому дальнейшая оптимизация будет происходить путём расчёта методом конечных элементов непосредственно магнитного поля в статоре и роторе. Для этого будем использовать программу FEMM, для каждого опыта определяя среднее отношение коэнергии к полной энергии магнитного поля за один оборот двигателя путём серии расчётов в фиксированных точках. Это и будет новой целевой функцией.

Таким образом, выделив в проекте отдельные этапы мы значительно сократим количество необходимых опытов при моделировании. Ведь при двух варьируемых величинах по ОЦКП мы имеем уже не 25 необходимых опытов, а лишь 9. Также точность этого этапа значительно повысится, учитывая уже определённую область наиболее вероятного максимума целевой функции. При этом уже сейчас найденный максимум на 30% выше среднего результата расчёта.

Литература

1. Кухнецов В. А., Кузьмичев В.А. Вентильно-индукторные двигатели. – М.: Издательство МЭИ, 2003.

2. Фисенко В.Г., Попов А.Н. Проектирование вентильно-индукторных двигателей. – М.: Издательство МЭИ, 2005.

3. Рисованый С.В., Финкельштейн В.Б. Проектирование вентильных реактивных двигателей: монография. – Х.: ХНУГХ, 2014.

4. Саватеева И.С. Конспект лекций по курсу «Теория инженерного эксперимента»: конспект лекций. – Смоленск, 2015.

5. Krishnan R. Switched reluctance motor drives. – New York: CRC Press, 2001.

А.С. Пищальский, студ.; рук. В.Л. Максимкин, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ С УМЕНЬШЕННОЙ МАТЕРИАЛОЁМКОСТЬЮ

Материалоёмкость – это свойство электрической машины, характеризующееся коэффициентом использования материала. Для машин с уменьшенной материалоёмкостью этот коэффициент должен быть близок к 1. То есть на производство каждого элемента конструкции должно быть затрачено минимальное количество материала, а из задействованного сырья должно оставаться минимальное количество отходов.

В современном машиностроении проблема материалоёмкости является очень актуальной, так как уменьшение количества сырья при производстве существенно уменьшает и расходы производителя и конечную стоимость для покупателя. Это, весьма очевидно, является очень выгодным для всех, поэтому разработки в данном направлении довольно востребованы.

Электрическая машина – это сложная система, состоящая из большого числа различных элементов, каждый из которых может быть подвергнут более делальному анализу с точки зрения материалоёмкости. Например, могут быть пересмотрены конструкции валов, корпусов, подшипниковых щитов. Но, как показывает практика, наибольшие расходы выпадают на долю активной части: магнитопровод и обмотка, так как электротехническая сталь и медь являются довольно дорогими материалами. И рационально было бы обратить наиболее пристальное внимание именно на эти части.

Для начала рассмотрим магнитопровод машин. Для серийных двигателей коэффициент использования электротехнической стали составляет порядка 0,4 – 0,6. Из чего следует, что большая часть листа электротехнической стали может попасть в отходы.

Современное электромашиностроение предлагает несколько выходов из этой ситуации.

Например, использование шихтованно – прессованного магнитопровода. Главной отличительной чертой таких двигателей является то, что магнитопровод набирается не из круглых листов, что характерно для стандартных серийных двигателей, а из шести – или четырёхгранных листов. Пазы в таких машинах обычные, спинка статора имеет несколько меньшие размеры и впоследствии опрессовывается смесью ферромагнитных волокон и порошков.

Магнитопровод в разрезе представлен на рис. 1. Где 1 – прессованные сегменты, 2 – электротехническая сталь.

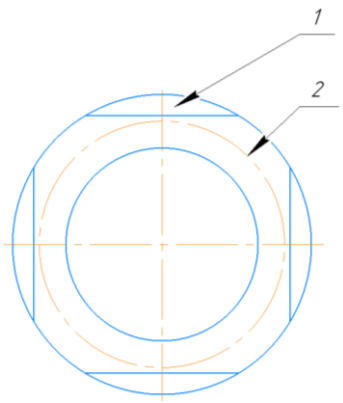


Рис. 1 – Шихтованно – прессованный магнитопровод.

Машины, произведенные по такой технологии, позволяют экономить (30 – 50)% электротехнической стали. Такие магнитопроводы могут монтироваться в стандартный корпус [1]. Но подобная конструкция приводит и к ухудшению энергетических свойств, что несколько удорожает эксплуатацию.

Или же, можно изготавливать статоры не путём штамповки целых листов, а путём навивки стальной ленты. Магниитопроводы таких машин представляют собой ленту, изготовленную из электротехнической стали, с заранее вырезанными или наштампованными пазами. Вид такой ленты представлен на рис. 2.

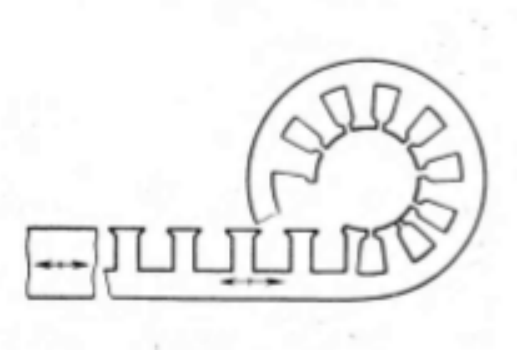


Рис. 2 – Магнитопровод из ленты.

В целом, такое решение можно считать весьма удачным, так как коэффициент использования электротехнической стали может принимать очень высокие значения (вплоть до 0,9). Также магнитопроводы, как и шихтованно – прессованные, отлично собираются в классических корпусах. Кроме того, если укладывать медь в ещё развёрнутый магнитопровод, то можно получить увеличение коэффициента заполнения паза медью на 15 – 20 %, а облегчение укладки способствует уменьшению размеров лобовых частей на 10 – 15 % [1]. Но стоит отметить, что укладка меди таким способом содержит повышенный риск повреждения изоляции, что должно быть учтено технологическим процессом укладки обмотки.

Но этому способу присущ ещё ряд недостатков. Как правило, при навивке несколько деформируется лента, из – за чего уменьшается коэффициент заполнения сердечника сталью, что, совершено очевидно, ухудшает

характеристики материала. А возникающие между сопряжёнными листами ленты зазоры способствуют росту величины намагничивающего тока. Но и это несовершенство, в некоторой степени, можно решить путём предварительной деформации ленты в области спинки (рис. 3)

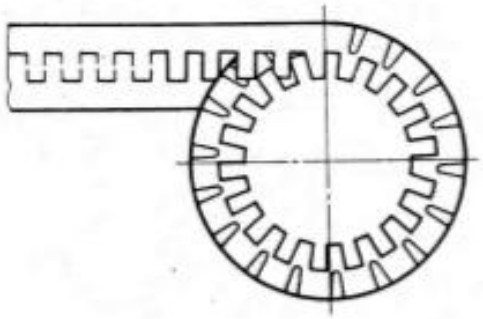


Рис. 3 – Предварительно деформированный магнитопровод из ленты.

Затем образовавшиеся углубления заполняются металлом, например сплавом алюминия.

Далее обратим внимание на способы уменьшения затрат меди на производство электродвигателей. Для этого рассмотрим более совершенный вариант двигателя с массивным ротором – машину с двухслойным ротором.

Такие машины во многом походят на обычные асинхронные двигатели и отличаются, как следует из названия, только строением ротора. Двухслойный ротор – это полый массивный ферромагнитный цилиндр, выполненный из материала с оптимальным значением μ_r (относительной магнитной проницаемостью), насаженный на цилиндр, выполненный из листов электротехнический стали, μ_r которой больше, чем аналогичный параметр материала, из которого выполняется массивный цилиндр. То есть при изготовлении роторов таких машин медь не используется, так как для наведения потока служат не пазы, заполненные медными проводниками, а проводящий слой из магнитного материала.

Эскиз двухслойного ротора представлен на рис. 4.

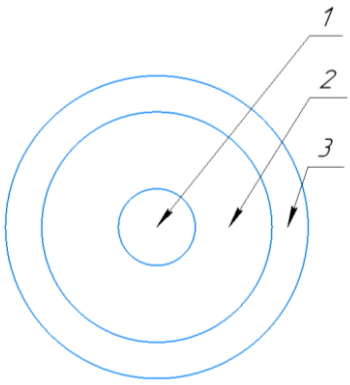


Рис. 4 – Двухслойный ротор.

Цифрами обозначены: 1 – вал; 2 – шихтованная часть; 3 – массивная часть.

Производство двигателей такого типа очень экономично, они так же, как и представленные выше, могут монтироваться в стандартные корпуса. Также существует возможность замены отработавшего свой ресурс ротора стандартной машины на двухслойный. Помимо экономичности при производстве, стоит принять в расчёт несколько других положительных черт. Например, высокое значение электрического сопротивления и практически полное отсутствие зубцовых пульсаций приводят к улучшению пусковых свойств, а отсутствие мест соединения стержней и короткозамыкающих колец (узел, характерный для всех асинхронных двигателей стандартного исполнения и являющийся аварийноопасным, особенно при тяжёлых пусках) делает такие машины одними из самых надёжных в принципе.

При малых габаритах характеристики таких машин довольно близки к серийным, но с увеличением мощностей, величины КПД и коэффициента мощности начинают несколько уступать стандартным машинам [2].

В результате обзора конструкций материалоёмких двигателей можно заключить, что на сегодняшний день современное электромашиностроение знает различные способы улучшения материалоёмкости двигателей, конструкция которых позволяет экономить значительное количество дорогостоящих материалов. Но важно понимать, что удешевление может негативно сказываться на других аспектах, таких как энергетические параметры, стоимость эксплуатации и т.д.

Литература

1. Яковлев А.И. Электрические машины с уменьшенной материалоемкостью/ М.: Энергоатомиздат, 1989 г. – 238с.

2. Могильников В.С., Олейников А.М., Стрельников А.Н. Асинхронные двигатели с двухслойным ротором и их применение/ М.: Энергоатомиздат, 1983 г. – 110с..

Ф.А. Поликарпов, студ.; рук. В.Л. Максимкин, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДА В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ИСПОЛНЕНИЯ

Цель создания и применения любой электрической машины – электромеханическое преобразование энергии. Преобразование механической энергии в электрическую и наоборот сопровождается потерями, т.е. часть преобразуемой энергии превращается в тепловую. Повышенная температура нагрева вызывает тепловое старение изоляции обмоток, приводящее к необратимому снижению электрической и механической прочности. Правило Монтзингера гласит, что

повышение температуры на 8..10 град., сокращает срок службы изоляции в два раза[1]. Это правило позволяет на основании опытных данных назначить допустимый уровень температуры изоляции, исходя из требуемого срока службы машины. Повышение температуры приводит и к увеличению активного сопротивления меди, вследствие чего ухудшаются рабочие характеристики машины. Кроме того, повышенный нагрев способствует преждевременному выходу из строя подшипников, щёточно-коллекторных и щёточно-контактных устройств и т.д.

Чем большую тепловую мощность может отвести от электрической машины её система охлаждения, тем большую полезную мощность можно получить от машины без увеличения её габаритов. В связи с этим, интенсификация охлаждения является одним из важных путей повышения мощности машины, приходящейся на единицу её объёма. Эффективность охлаждения машины определяется интенсивностью теплообмена между её активными частями, охладителем и окружающей средой.

Для анализа эффективности отвода тепла асинхронного двигателя защищённого исполнения был выполнен тепловой расчёт асинхронного двигателя по методу тепловых схем замещения [2]. Его результаты представлены в таблицах 1,2. В качестве базового для расчёта был выбран двигатель 4А160S4У3 номинальной мощностью 15 кВт.

Таблица 1. Потери в различных участках асинхронного двигателя.

Вид	Обозначение	Формула	Величина, Вт
В стали основные	$P_{ст.осн}$	$p1{,}0/50(\frac{f_1}{50})^{\beta}(k_{да}B_a^2 m_a + k_{дZ}B_{Z1}^2 m_{Z1})$	276.4
Поверхностные в роторе	$P_{пов2}$	$p_{пов2}(t_{z2} - b_{ш2})Z_2 l_{ст2}$	17,7
Пульсационные потери в зубцах ротора	$P_{пул2}$	$0{,}11(\frac{Z_1 n}{1000}B_{пул2})^2 m_{z2}$	75.4
Механические потери	$P_{мех}$	$K_m(n/10)^2 D^4_a$	117
Электрические потери в обмотке статора в номинальном режиме	$P_{э1}$	$3\ I_1^2\ r_1$	861
Электрические потери в обмотке ротора в номинальном режиме	$P_{э2}$	$3\ (I_2^1)^2\ r'_2$	377

Таблица 2. Перепады температур в участках асинхронной машины.

Перепады температур	Обозначение	Формула	Величина, С
В изоляции пазовой части обмотки статора	$\Delta\vartheta_{изп1}$	$\frac{P'_{эп1}}{Z_1 П_{п1} l_1}\left(\frac{b_{из1}}{\lambda_{экв}}+\frac{b_1+b_2}{16\lambda'_{экв}}\right)$	3,15
По толщине изоляции лобовых частей	$\Delta\vartheta_{изл1}$	$\frac{P'_{эл1}}{2Z_1 П_{л1} l_{л1}}\left(\frac{b_{изл1}}{\lambda_{экв}}+\frac{h_{п1}}{12\lambda'_{экв}}\right)$	0,67
Наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри двигателя	$\Delta\vartheta_{повл1}$	$\frac{P'_{эл1}}{2Z_1 П_{л1}\alpha_1}$	12,23
Температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри двигателя	$\Delta\vartheta`_1$	$\Delta\vartheta'_1=[(\Delta\vartheta_{ПОВ1}+\Delta\vartheta_{ИЗ.П1})2l_1+(\Delta\vartheta_{ИЗ.Л1}+\Delta\vartheta_{ПОВ.Л1})2l_{Л1}]/l_{СР.1}$	26,02
Температуры воздуха внутри двигателя над температурой окружающей среды	$\Delta\vartheta_в$	$\Delta\vartheta_B=\sum P'_B/(S_{КОР}\alpha_B)$	65,3
Температуры обмотки статора над температурой окружающей среды	$\Delta\vartheta_1$	$\Delta\vartheta_1=\Delta\vartheta'_1+\Delta\vartheta_B$	91,32

Как видно из этих таблиц наибольшие потери возникают в обмотках машины. Это указывает на необходимость интенсифицировать отвод тепла от этих участков. Для определения способов интенсификации проанализируем тепловые сопротивления на соответствующих участках тепловой схемы замещения.

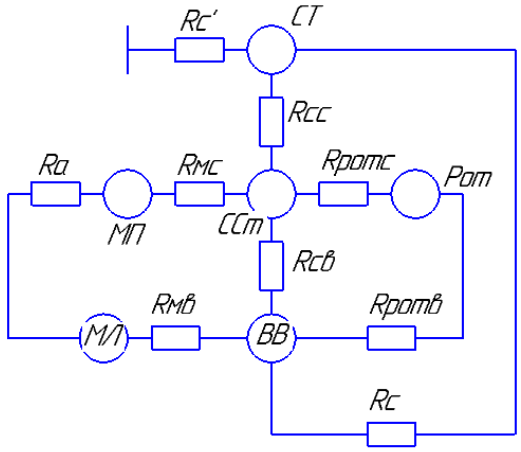


Рисунок 1. ЭТС АД защищённого исполнения для расчёта стационарных тепловых процессов.

Расшифровка сопротивлений схемы замещения приведена в таблице 3.

Таблица 3. Сопротивления схемы замещения.

R_a	Аксиальное сопротивление меди
$R_{мс}$	Между медью и сердечником статора
$R_{ротс}$	Между ротором и сердечником статора
$R_{сс}$	Между сердечником статора и станиной
$R`_c$	Между станиной и окружающей средой
R_c	Между станиной и охлаждающим воздухом
$R_{мв}$	Между лобовой частью обмотки статора и охлаждающим воздухом
$R_{св}$	Между сердечником статора и охлаждающим воздухом
$R_{ротв}$	Между ротором и охлаждающим воздухом

Согласно таблицам 1 и 2, в первую очередь,нужно увеличивать теплоотдачу с обмоток. Рассмотрим соответствующие сопротивления между: медью и сердечником статора, лобовой частью обмотки статора и охлаждающим воздухом. Расчетные формулы для определения этих сопротивлений представлены в таблице 4 [3] .

Таблица 4. Формулы тепловых сопротивлений между медью и сердечником статора, лобовой частью обмотки статора и охлаждающим воздухом.

Схемы замещения	Формула
$R_{мс}$	$R_{мс} = \frac{1}{\frac{1}{R_{дп}} + \frac{1}{R_{мз}+R`_з}} + R`_{сп}$
$R_{мв}$	$R_{мс} = \frac{1}{2(\frac{1}{R`_{лвш}} + \frac{1}{R``_{лвш}} + \frac{1}{R`_{лвт}} + \frac{1}{R``_{лвт}})}$

В формуле теплового сопротивления между медью и сердечником статора $R_{дп}$ – сопротивление отводу теплоты через дно паза. $R_{дп} = \frac{\frac{h_{пэф}}{3\lambda_{экв п}} + \sum\frac{\delta_{ип}}{\lambda_{ип}} + \frac{\delta_{вп}}{\lambda_{вэкв}}}{в_{пэф} l_п z_{ст}}$; $R_{мз}$ – сопротивление между пазовой частью обмотки и зубцами $R_{мз} = R_{вн} + R_{ип} + R_{вп}$; $R`_з$ – термическое сопротивление зубца $R`_з = \frac{h_з}{3\lambda_с в_з l_п z_{ст} к_ш}$; $R`_{сп}$ – сопротивление учитывающее разное сопротивление спинки сердечника соб-

ственному и внешнему тепловым потокам $R`_{сп} = \frac{\ln\frac{D_a}{D_{дп}}}{3\pi\lambda_c l_п к_ш}$. В формуле теплового сопротивления между лобовой частью обмотки статораи охлаждающим воздухом$R_{мв}$ – сопротивления $R_{лвш}$ и $R_{лвт}$ это тепловые сопротивления внешнего (обращённого к станине) и внутреннего (обращённого к ротору) слоёв. $R`_{лвш}=\frac{0{,}104 в_п h_{пэф}}{\lambda_{эквл} l_{лп} z_{ст}(в_п^2+0{,}25h_п^2)} + \frac{0{,}75(\frac{\delta_{окр}}{\lambda_{окр}}+\frac{1}{\alpha_{лвш}})}{l_{лп} z_{ст}(в_п+0{,}5h_{пэф})}$; $\alpha_{лвш}$, - коэффициент теплоотдачи и $\alpha_{лвш}=\frac{Nu_{вш}\lambda_в}{D_{лвш}}$

Исходя из невозможности изменить геометрические размеры обмотки и пазов, так как они обосновываются расчётами электрической и магнитной цепи, – можносделать вывод, что уменьшать тепловое сопротивление $R_{мс}$ нужно за счёт увеличения тепловых проводимостей материалов изоляции, а так же уменьшению её толщины, если устойчивость к электрическому пробою это позволяет. Так как наименьшей теплопроводностью, как известно, обладает воздух, от которой зависит $R_{мв}$, то уменьшить это сопротивление можно изменив материал, передающий тепло от лобовых частей обмотки статора на корпус машины. Это производится заливкой лобовой части обмотки различными смолами. Так же $R_{мв}$ зависит от площади соприкосновения проводников с хладагентом – воздухом, поэтому для улучшения теплообмена в машине необходимо на этапе укладки исполнять лобовые части обмотки так, что бы между отдельными проводниками оставался воздушный зазор.

Таким образом, можно заключить, что наиболее важно улучшать теплоотвод от обмотки статора. При этом повышение эффективности теплоотвода может достигаться несколькими способами. А именно: применением более тонких и обладающих лучшей теплопроводностью материалов изоляции, увеличением поверхности соприкосновения проводников в лобовой части обмотки статора с хладогентом, заливкой лобовых частей обмотки теплопроводящим материалом.

Список литературы:

1. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчёты в электрических машинах: Учеб.для вузов по спец. «Электромеханика»/Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. – М.: Высш. Шк., 1989
2. Проектирование электрических машин: Учебник/ И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – М.: Высшая школа, 2005.
3. Гидравлические и тепловые расчёты асинхронных двигателей защищённого исполнения. Учебное пособие по курсу «Тепловые гидравлические и аэродинамические расчёты в электрических машинах»/ Максимкин В.Л., Гордиловский А.А. – Смоленск: СФМЭИ, 2000

В.Н. Почуйко, ст., Е.О. Федорченко; рук. В.А. Селиванов, к.т.н., доц.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЦИФРОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

В статье предложен электропривод постоянного тока с цифровым управлением.

К основным достоинствам цифровых систем можно отнести:

-небольшие масса-габаритные показатели;

-гибкость алгоритма работы без изменения схемы управления;

-достаточно простая аппаратная реализация;

-модернизация системы без изменения аппаратной части;

-высокое быстродействие;

-отсутствие недостатков относительно аналоговых систем(паразитные ёмкости, индуктивности, дрейф нуля и т.д.).

Данная система управления построена на аппаратно-программном комплексе Arduino.

Она имеет интерфейс связи с ПК, для сбора информации в процессе работы привода, о скорости вращения двигателя, токе в якорной цепи, сигнала задания, в разработанном программном обеспечении с графическим интерфейсом, представленного на рисунке 1.

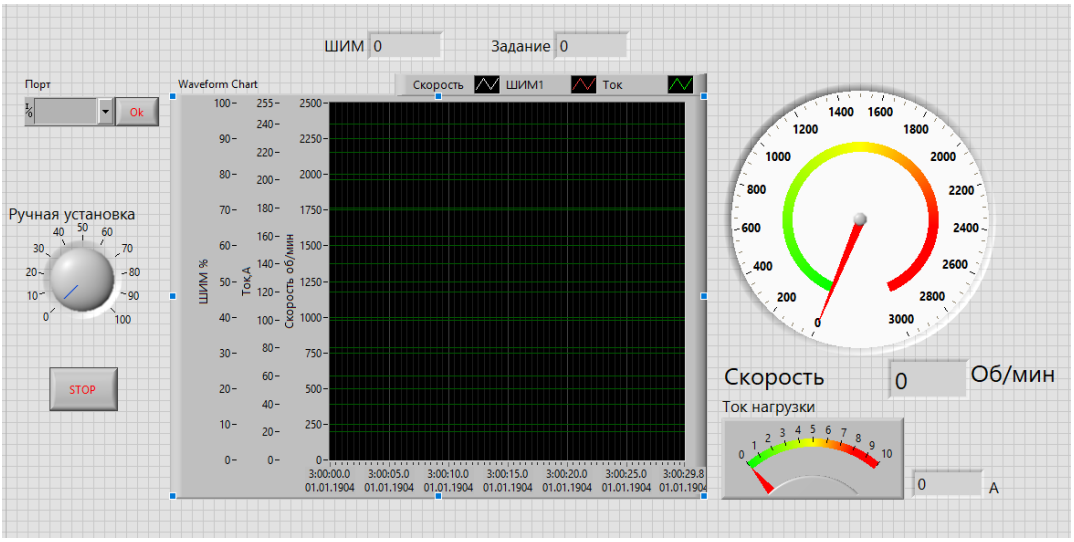


Рисунок 1 - Интерфейс программного обеспечения

Программа разработана в среде LabVIEW. Передача данных осуществляется по средствам USB интерфейса.

Программа для контроллера(ATmega328p), в составе Arduino написана на языке программирования C++, который широко применяется для описания алгоритмов работы в промышленном оборудовании.

ATmega328 – это высокопроизводительный 8-разрядный микроконтроллер имеющий RISC архитектуру, способный выполнять до 16млн. операций в секунду. Данный микроконтроллер имеет большое количество периферийных

устройств, таких как аналогово-цифровой преобразователь с 8-ми независимыми каналами, три таймера-счетчика, интерфейс UART, I2C, SPI, и т д. чего достаточно для решения многих задач, в том числе и в электроприводах.

Система регулирования двухконтурная – обратная связь по скорости и обратная связь по току якорной цепи.

Сигналы с датчиков после обработки поступают на аналоговые входы микропроцессорной системы Arduino, которые по средствам Аналогово-цифрового преобразователя(АЦП) преобразуются в цифровой вид для дальнейшей обработки в соответствии с программой управления.

ШИМ-сигнал для управления силовым транзистором также генерируется с помощью микропроцессорной системы при помощи 16-разрядного счетчика-таймера, обеспечивая высокую дискретность регулирования (65536 квант). Далее ШИМ-сигнал с Arduino усиливается двухкаскадным транзисторным драйвером, который предназначен для согласования сигналов управления и напряжения и тока силового модуля (рисунок 2). Несущая частота ШИМ сигнала 500Гц, что оптимально с точки зрения энергетических показателей.

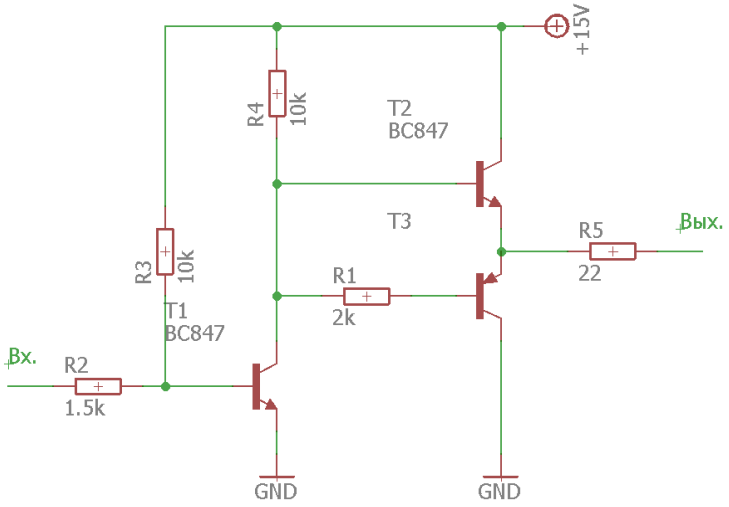


Рисунок 2 – Схема электрическая принципиальная драйвера силового модуля

Силовая часть имеет широтно - импульсный преобразователь, в основе которого используется IGBT – модуль (U2). Преобразователь получает питание от сети переменного тока.

Система управления получает стабилизированное питание 15В от блока питания (БП).

Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 3;

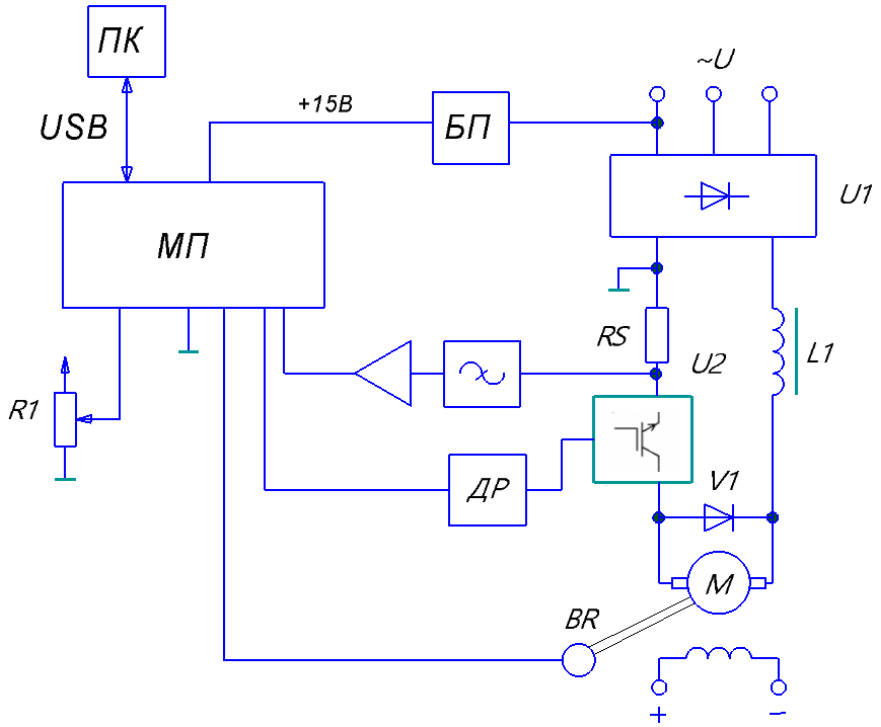


Рисунок 3 - функциональная схема электропривода с цифровой системой управления.

где:

БП - блок питания системы управления;

МП - микропроцессорная система;

ДР - драйвер силового модуля;

R1 - переменный резистор для задания скорости вращения двигателя;

RS - датчик тока;

BR - датчик скорости;

M - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

Регуляторы скорости и тока реализованы на цифровых ПИД - регуляторах.

Структурная схема системы регулирования представлена на рисунке 4;

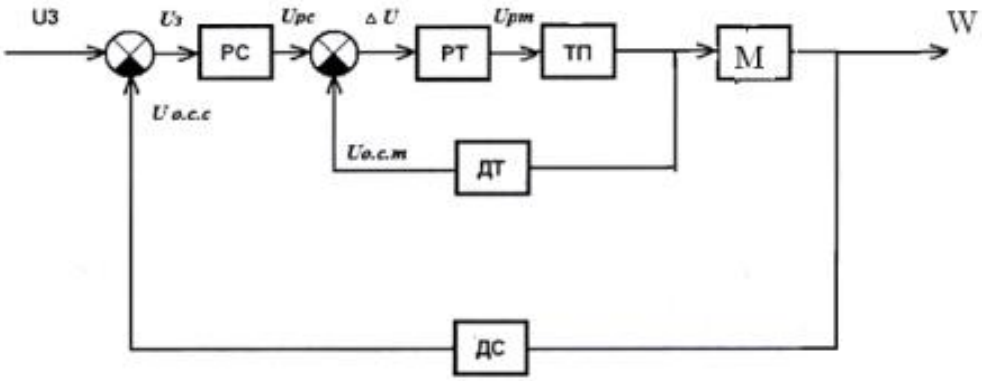


Рисунок 4 - Структурная схема системы регулирования ЭП

где:

РС - регулятор скорости;

РТ - регулятор тока;
ТП - транзисторный преобразователь;
ДТ - датчик тока;
ДС - датчик скорости;
М - двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.

В результате исследования цифровой системы управления получили следующие результаты:

-время регулирования 0,45 с

-перерегулирование 25 об/мин, что существенно меньше, чем в аналоговых системах;

Литература

- Справочник по автоматизированному электроприводу / В.А. Елисеева, А.В. Шинянский. М.: Энергоатомиздат, 1983. - 350с.
- Программирование микроконтроллеров Atmel на языке С / В.С. Прокопенко М.: МК-Пресс, 2012, -320с.
- Системы автоматического регулирования. Практикум по математическому моделированию / Б.А. Карташов. М.: Феникс, 2015, -380с.

К.Н. Романенко; рук. А.С. Третьяков, ст. препод.
(МОУВО «Белорусско-Российский университет» в г.Могилеве)

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

Частотным преобразователем называется устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения питания частоты 50/60 Гц в переменное напряжение другой частоты.

Структурная схема классического преобразователя частоты представлена на рис.1.

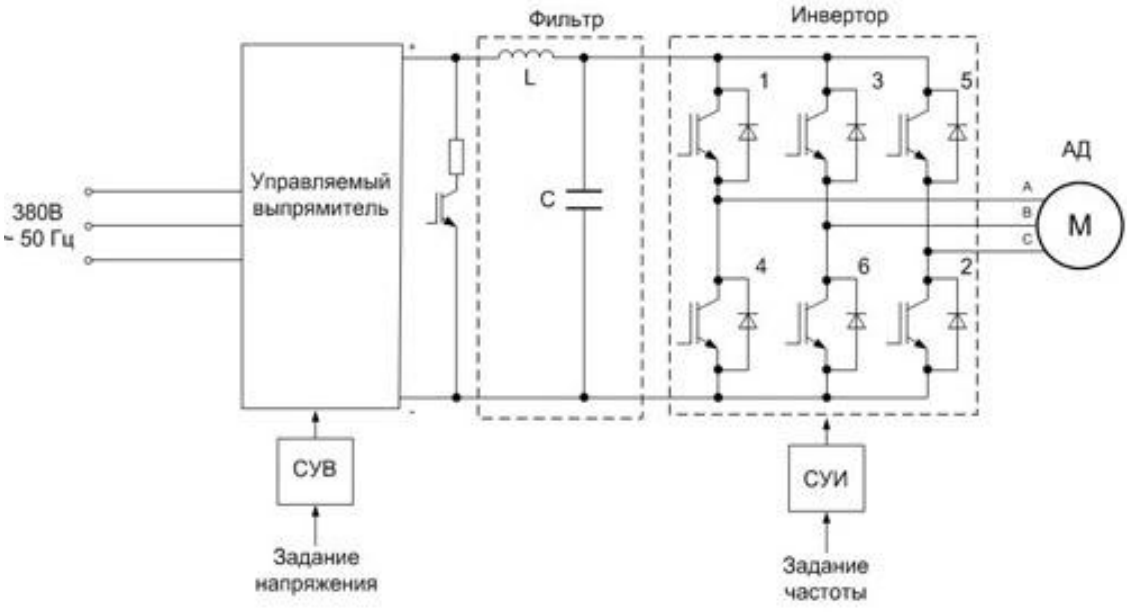


Рис. 1 – Структурная схема классического преобразователя частоты

Классический преобразователь частоты имеет в своем составе:

1 Управляемый / неуправляемый выпрямитель (первая ступень преобразования переменного тока в постоянный);

2 LC - фильтр (фильтрация постоянного тока);

3. Инвертор напряжения / тока (вторая ступень преобразования постоянного тока в переменный заданной амплитуды напряжения и уровня частоты).

Достоинствами такой схемы являются высокая точность регулирования, плавный пуск двигателя, энергосбережение и т.д. Основными недостатками являются:

- Засорение источника питания высшими гармониками;
- Необходимость применения электролитических конденсаторов для фильтра;
- Необходимость установки тормозного резистора для торможения и режима рекуперации и т.д.

Матричные преобразователи частоты (МПЧ) – одно из современных направлений развития частотных преобразователей. Структурная матричного преобразователя частоты представлена на рис. 2.

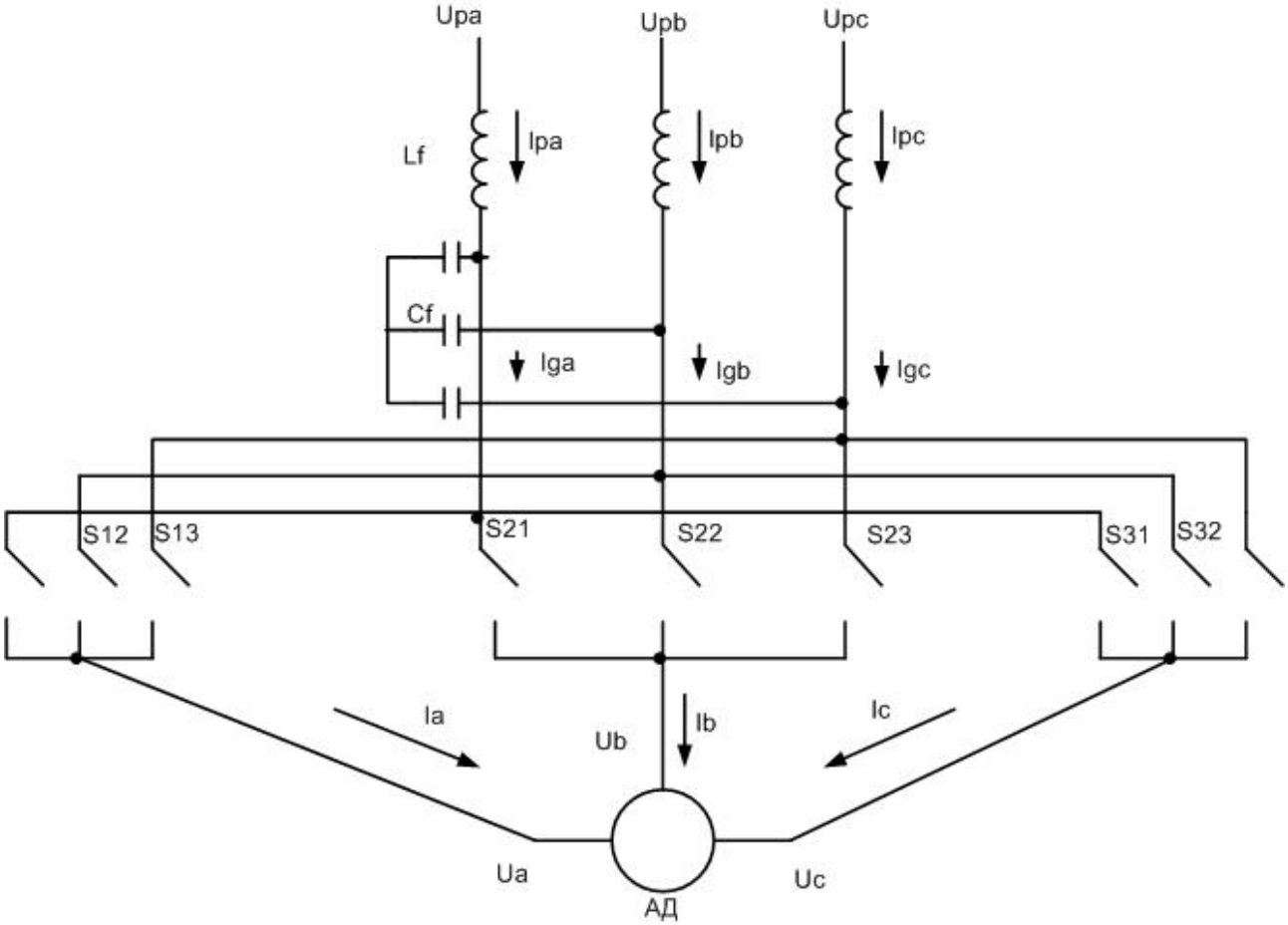


Рис. 2 – Структурная матричного преобразователя частоты

В основе конструкции МПЧ лежит двунаправленный переключатель на базе IGBT – модуля. Подключение таких ключей напоминает матрицу, откуда и

название данного класса преобразователей. Как правило, используется девять переключателей (по три переключателя в фазу).

В отличие от классических преобразователей частоты МПЧ не имеют звена постоянного тока, что упрощает их конструкцию (отсутствует двойное преобразование энергии, что дает высокие энергетические характеристики). Кроме того, это дает значительное снижение уровня гармонических искажений.

Матрица ключей сделана так, что энергия может как подводиться к двигателю, так и отводиться обратно в сеть при торможении и рекуперации (нет необходимости использования тормозных резисторов);

В отличие от классических преобразователей частоты МПЧ формирует практически синусоидальный выходной сигнал тока и напряжения.

Также можно отметить наличие режима BYPASS, при котором после запуска двигатель подключается напрямую к сети питания.

Учитывая более сложную конструкцию матричных преобразователей частоты, существуют отдельные методы коммутации ключей В их основе лежат два основных правила [1, 2]:

1. Недопустимо, чтобы были одновременно замкнуты оба двунаправленных ключа. Невыполнение данного правила вызовет короткое замыкание фаз на входе преобразователя.

2. Недопустимо, чтобы были одновременно разомкнуты оба двунаправленных ключа. Невыполнение этого правила приведёт разрыву на пути протекания тока в активно–индуктивной нагрузке, в итоге к перенапряжению на ключах преобразователя.

Можно выделить следующие способы коммутации силовых ключей [1,3]:

1. Коммутация ключей с безтоковой паузой (Периодом безтоковой паузы обеспечивается надёжное запирание транзисторов при переключении с одного проводящего плеча на другое);

2. Коммутация ключей с перекрытием (в данном случае ключи переключателя фазы А выключаются позже включения ключей переключателя фазы В);

3. Коммутация ключей, базирующаяся на контроле направления тока на выходе (Для этого способа коммутации существует необходимость точного определения направления протекания тока на каждой отдельной фазе на выходе преобразователя);

4. Коммутация ключей, основанная на контроле величины напряжения на входе (При данном способе коммутации, для определения последовательности переключения при каждой отдельной коммутации, используется значение напряжения на входе);

5. Комбинированный алгоритм безопасной коммутации ключей (Этот алгоритм совмещает рассмотренные ранее способы коммутации с контролем направления тока на выходе и контролем величины напряжения на входе).

Для управления силовыми ключами используются алгоритмы [1 - 3]:

1. Алгоритм Алесиной — Вентурини

Алгоритм скалярной модуляции Алесиной – Вентурини, даёт возможность управлять коэффициентом передачи напряжения в диапазоне от 0 до 0,5;

2. Оптимизированный алгоритм Вентурини

Оптимизированный алгоритм Вентурини даёт возможность управлять коэффициентом передачи напряжения в диапазоне от 0 до 0,86 с помощью гармоник третьего порядка в фазном напряжении на выходе. Оптимизированный алгоритм Вентурини известен как метод дополнительной третьей гармоники;

3. Алгоритм Роя

Аналогично оптимизированному алгоритму Вентурини, генерация напряжения на выходе происходит с использованием дополнительной гармоники третьего порядка. Это даёт возможность увеличить значение коэффициента передачи напряжения до 0,86. Несмотря на имеющиеся различия, коэффициенты модуляции близки по значению коэффициентам, вычисленным по оптимизированному алгоритму Вентурини. Алгоритм Роя оказывает незначительный эффект на величину напряжения на выходе. Но на низких частотах переключений, алгоритм Вентурини является более предпочтительным.

Предложенные выше алгоритмы определяют математический аппарат скалярной модуляции. Его альтернативой является пространственно-векторная модуляция. В его рамках выделяют [1 - 3]:

1. Метод косвенной пространственно-векторной модуляции (Это способ косвенной пространственно-векторной модуляции МПЧ, дающий возможность использовать алгоритмы модуляции отдельно для выпрямительной и инверторной части, как в классических схемах преобразователей частоты);

2. Метод прямой пространственно-векторной модуляции (метод, позволяющий более гибко использовать все пространственные векторы в матричном преобразователе частоты).

Литература

1. Muhammad H. Rashid. Power Electronics Handbook: Devices, Circuits and Applications // Rashid H. Muhammad. – Pensacola, University of West Florida, 2016. - 1192 S.
2. Control Techniques for Matrix Converters [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.die.ing.unibo.it/dottorato_it/Matteini/Matteini_PhD_part4.pdf. – Date of access: 12.03.2019.
3. Жуков П. В. Преобразователь частоты электропривода устройств подъёма и транспортировки груза: дис. ... маг. техн. наук: 11.04.04 / П. В. Жуков. – М., 2016. – 99 л.

Д.О. Рысин, маг.; рук. В.А. Михайлов, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

В настоящее время большое значение имеет повышение эффективности энергосбережения при работе термических печей для нагрева и термообработки металла, создание схем тепловых элементов и агрегатных конструкций. Проблемы энергосбережения оказывают влияние, как на сам объект, так и на экологическую безопасность конкретного технологического процесса. Методы, которые используются для решения данных проблем, разнообразны, однако все

они не являются универсальными и эффективными для каждой области применения.

Один из способов увеличения производительности работы нагревательных печей термического производства считается оптимизация их тепловой деятельности. Непосредственно оптимизация тепловой работы печи скрывает большие резервы для увеличения экономичности нагрева и термообработки металла. Это является очевидным и важным на фоне развития науки и техники в условиях интенсификации производства.

Для повышения технических и экономических показателей работы термической печи необходимо провести совокупный анализ взаимосвязей теплотехнических и экономических факторов. Из анализа исследований согласно проблеме можно отметить, что довольно серьезный анализ данных связей и потенциал улучшения типов и характеристик термических печей, использование технико-экономических целесообразных характеристик, усовершенствование конструктивных решений с целью увеличения тепловой отдачи и экономичности работы аппаратов, достижимо только при оптимизации термической работы печи.

Для того, чтобы определить температуру оптимального подогрева воздуха для заданной температуры уходящих из радиационной трубы термических печей газов следует произвести поиск наиболее низких суммарных дисконтированных затраты на топливо и рекуператор [1].

Поэтому необходимо прировнять к нулю частные производные функции по оптимизируемому параметру:

$$\frac{d3}{dt_в^{"}} = C_т \cdot \frac{dB}{dt_в^{"}} + C_р \cdot \frac{dH}{dt_в^{"}} = 0. \qquad (1)$$

Получим выражение для расхода топлива из уравнения теплового баланса термической печи:

$$Q_х + Q_в + Q_т + Q_{экз} = Q_М + Q_{ух} + Q_{х.г.} + Q_{т.г.} + Q_{кл} + Q_{тр} + Q_{ат} + Q_{охл} + Q_{изл} + Q_{ак}, \qquad (2)$$

где $Q_х$ – химическая теплота топлива, *Вт* и др. Все обозначения переменных представлены в [1].

Проведя расчеты, было получено выражение для расхода топлива, $м^3/с$:

$$B = \frac{b_2}{(b_1 + C_в^{"} \cdot V_в \cdot t_в^{"})} \qquad (3)$$

$$b_1 = Q_н^р \cdot (1 - R_2) + C_т^{'} \cdot t_т^{'} - V_г \cdot C_г \cdot t_г - V_г \cdot R_1 - V_в \cdot C_в^{"} \cdot \delta t_в \qquad (4)$$

$$b_2 = Q_М + Q_{кл} + Q_{тр} + Q_{ат} + Q_{охл} + Q_{изл} + Q_{ак} - Q_{экз}. \qquad (5)$$

Величина поверхности нагрева *H* рекуператора определяется из уравнения [2]:

$$H = \frac{b_2 \cdot \eta_в \cdot V_в \cdot (C_в^{"} \cdot t_в^{"} - C_в^{'} \cdot t_в^{'})}{(b_1 + C_в^{"} \cdot V_в \cdot t_в^{"}) \cdot K \cdot \varepsilon_{\square t} \cdot (c_1 - c_2 \cdot t_в^{"})} \qquad (6)$$

где ϑ – средний температурный напор, ^0C. Все обозначения переменных представлены в [1].

После математических преобразований получим:

$$t''_{в.опт} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot d}}{2 \cdot a}. \quad (7)$$

При повышении температуры подогрева воздуха повышается и температура горения топлива. Следовательно, повышается температура стенки трубы. Для жаростойких радиационных труб, которые выполнены из легированных сталей максимально допустимая температура стенки 1050-1150 ^0C, для карбидокремниевых 1250-1350 ^0C.

Следовательно, для определения оптимальной температуры воздуха, который идет для горения топлива в радиационных трубах термических печей следует вводить ограничение, выраженное неравенством:

$$t_{ст}^{\max} \le t_{ст}^{доп}, \quad (8)$$

где $t_{ст}^{доп}$ – допустимая температура стенки радиационной трубы, ^0C;

$t_{ст}^{\max}$ – максимальная температура стенки радиационной трубы в зоне ядра факела горения топлива, ^0C.

Многократные вычисления выражения:

$$\frac{d^2 З}{dt''^2_в} = 2 \cdot a \cdot t''_в + b. \quad (9)$$

На основе анализа расчетных значений температуру воздуха на выходе из рекуператора, полученных с помощью решения уравнения в точке (7), можно сделать вывод, что во всех исследовательских случаях, вторая производная от выражения по $t''_в$ положительна. Из этого следует, что одновременно выполняются достаточные и необходимые условия существования экстремума функции З($t''_в$). При этом решение имеется только тогда, когда выполняется неравенство:

$$З_1 > З^{\min} > З_2,$$

где $З^{\min}$ – величина дисконтированных затрат при оптимальном значении температуры $t''_{в.опт}$;

$З_1$, $З_2$ – величины дисконтированных затрат в окрестности экстремальной точки.

Исходя из анализа расчетов можно сделать вывод, что значение оптимальной температуры подогрева воздуха $t''_{в.опт}$ определенное по выражению (7), отвечают минимуму целевой функции.

На рисунке 1 показан характер зависимости переменной части дисконтированных расчетных затрат $З(t''_в)$ от температуры подогрева воздуха. При отклонении параметра $t''_в$ от его оптимального значения $t''_{в.опт}$ на величину $\Delta t''_в$, дисконтированные затраты возрастают от $З^{\min}$ до $З^{р}$, причем $З^{р} > З^{\min}$, на величину $\Delta З$, где $З^{\min}$ – величина переменной части дисконтированных затрат на оптимальном значении $t''_{в.опт}$.

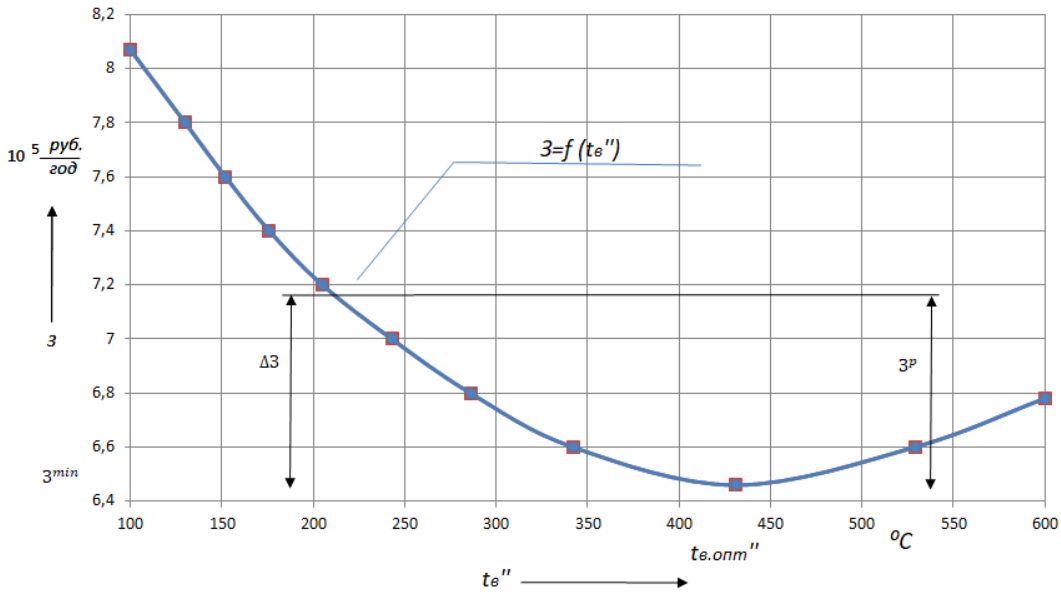


Рисунок 1 – Зависимость дисконтированных затрат по рекуператору и топливу от температуры подогрева воздуха

Таким образом, можно сделать вывод, что решение полученного уравнения (4) существует и выражение (5) единственно. Это и является доказательством достаточности условия (1).

Покажем, что уравнение (1) может иметь не более одного корня, используя метод рассуждений изложенный в [2].

Если этот корень единственный, то производная дисконтированных расчетных затрат (1) меняет свой знак в этой точке с минуса на плюс, то есть имеет одну перемену знака.

Рассмотрим графическое решение уравнения (1). Из уравнения имеем:

$$C_m \cdot \frac{dB}{dt_в^{"}} = -C_p \cdot \frac{dH}{dt_в^{"}} \tag{10}$$

Температура уходящих газов на выходе из радиационной трубы термических печей составляет 700 - 1200 [3]. Так как при рекуперации теплоты уходящих газов из радиационной трубы термических печей температура воздуха на выходе из рекуператора в предельном теоретически неосуществимом случае не может превышать 1200 ^{0}C, то за основу берем отрезок изменения значения от 0 до 1200 ^{0}C.

Взяв первые производные по $t_в''$ Проведя расчеты, были получены выражения:

$$C_m \cdot \frac{dB}{dt_в^{"}} = -C_m \cdot \frac{b_2}{(b_1 + C_в^{"} \cdot V_в \cdot t_в^{"})} = f_1(t_в^{"}), \tag{11}$$

$$C_p \cdot \frac{dH_p}{dt_в^{"}} = C_p \cdot \frac{b_2 \cdot \eta_в \cdot V_в \cdot (C_в^{"} \cdot t_в^{"} - C_в^{'} \cdot t_в^{'})}{(b_1 + V_в \cdot C_в^{"} \cdot t_в^{"}) \cdot K \cdot \varepsilon_{\Delta t} \cdot (c_1 - c_2 \cdot t_в^{"})} = f_2(t_в^{"}). \tag{12}$$

Исследуя поочередно поведение функции $f_1(t_в'')$ и $f2(t_в'')$ устанавливаем: $f_1(0)<0$; f_1 $(1200)<0$ и $f_2(0)>0$; $f_2(1200)>0$.

Подробное исследование $f_1(t_в'')$ и $f_2(t_в'')$ и показывает, что:

1) функция $f_1(t_в'')$ повсюду на отрезке [0; 1200] ^0C отрицательна и монотонно возрастает (Рисунок 2);

2) функции $f_2(t_в'')$ на отрезке [0; 1200] ^0C положительна и монотонно возрастает.

Таким образом, уравнение (12) может иметь не более одного корня на отрезке [0; 1200] ^0C и условие существования этого корня записываются в виде неравенства абсолютных значений функции $f_1(0) > f_2(0); f_1(1200) < f_2(1200)$.

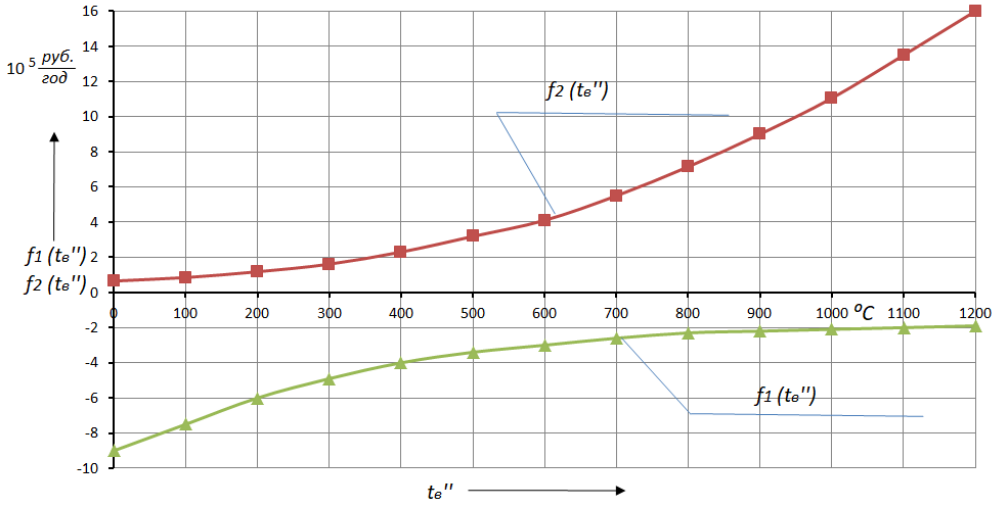


Рисунок 2 – Зависимость функции $f_1(t_в'')$ и $f_2(t_в'')$ от температуры подогрева воздуха

В результате можно сказать, что метод, представленный в работе, дал положительный результат. Его можно использовать в производственных организация, что позволит повысить эффективность её работы и как следствие, повысить экономическую эффективность. Данный метод прост в реализации и позволяет эффективно определить оптимальную температуру.

Литература

1. Тьшчак В.М. Расчет нагревательных и термических печей / В. М. Тымчак, В. Л. Гусовский. Москва: Металлургия, 1983. 480 с.

2. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Бушманова М.В. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, М.В. Бушманова // Сталь. 2003. №9. С. 65-67.

3. . Парамонов А.М. Повышение энергосбережения при работе высокотемпературных теплотехнологических установок / А.М. Парамонов, Е.М. Резанов, Е.Н. Рыжкова, О.В. Кожина // Сборник материалов II Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Передовые технологии - в промышленность». Книга 3. Омск: ОмГТУ, 2009. С. 71-75.

А.А. Свиридов, студ.; рук. Ю.Д. Кулик, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЕНТИЛЬНОЙ КОММУТАЦИЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА

При постоянной (синхронной) частоте вращения в тихоходном электроприводе привлекательным вариантом является безредукторный способ ее получения. Это достигается применением индукторного двигателя с сосредоточенной обмоткой и питанием от синусоидального источника по схеме вентиль-

ной коммутации. Такой электропривод обеспечивает высокую надежность, так как используются простые элементы силовой электроники (диоды) и не требуется сложных средств управления.

Индукторные двигатели при таком способе питания обмотки и при соответствующей структуре зубцовых зон статора и ротора позволяют получать частоты вращения от десятков до нескольких сотен оборотов в минуту (до 375 об/мин) при мощностях от нескольких десятков до нескольких сотен ватт.

Выражение для частоты вращения имеет вид

$$n_1 = 60f/Z_2 = 60f/(cm_2N \mp a) = 60f/(cZ_1 \mp a), \quad (1)$$

где $Z_1 = m_2N$ – число полюсных выступов (больших зубцов) статора;

$Z_2 = cm_2N \mp a$ – число зубцов ротора;

c – коэффициент, учитывающий наличие малых зубцов на полюсе;

m_2 – число фаз обмотки статора;

N – число периодов результирующей МДС обмотки (повторений в схеме);

a – число, обеспечивающее требуемую модуляцию проводимости зазора.

Для рассматриваемого варианта индукторного двигателя при питании от синусоидального источника промышленной частоты рекомендуется использование следующих схем обмоток: при m_2 = 3 – треугольник; m_2 = 4 – в два открытых треугольника; m_2 = 6 – в два треугольника и две звезды [1]. Дальнейшее увеличение m_2 (при m_1 = 3 возможны варианты 8, 9, 10 и 12) не целесообразно по причине неэффективности использования проводимостей зубцовых зон и усложнения схемы обмотки. Из условия симметрии магнитной системы двигателя обычно в (1) параметр a выбирают равным N, то есть $a = N$. Выбор параметра c зависит от n_1, но как показывает анализ (1) при $150 \le n_1 \le 375$ следует выбирать коэффициент c = 1, хотя при этом возможны два вида зубцовых структур из-за $\mp N$, а при $n_1 \le 150$ следует выбирать $c \ge 2$.

Несмотря на рекомендации [2, 3 и др.] определение проводимостей зубцовых зон с учетом их оптимизации с целью обеспечения требуемых энергетических показателей является актуальной задачей.

В рассматриваемом индукторном двигателе проводимость зазора является периодической функцией угла θ

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 + \lambda_{1m}\cos Z_2\theta + \lambda_{3m}\cos 3Z_2\theta + \ldots, \quad (2)$$

где θ – угол рассогласования в геометрических градусах.

Связь электрического угла с геометрическим следующая $\theta_{эл} = (Z_2/N)\theta$.

При коэффициенте зубцового перекрытия статора $\alpha_1 = b_{z1}/t_1 = (0{,}4 - 0{,}5)$ проводимость зазора можно аппроксимировать следующим образом [2, 3]

$$\lambda(\theta) = \lambda_0 + \lambda_{1m}\cos N\theta_{эл}, \quad (3)$$

где $\lambda_0 = (\lambda_{max} + \lambda_{min})/2$ – постоянная составляющая проводимости;

$\lambda_{1m} = (\lambda_{max} - \lambda_{min})/2$ – основная гармоника проводимости;

λ_{max} – максимальное значение проводимости (в зубцовой зоне оси зубцов статора и ротора совпадают);

λ_{min} – минимальное значение проводимости (в зубцовой зоне против зубца статора паз ротора).

На рис. 1. для определения указанных проводимостей λ_{max}, λ_{min}, λ_0, λ_{1m} показано расположение зубцовых зон рассматриваемого двигателя.

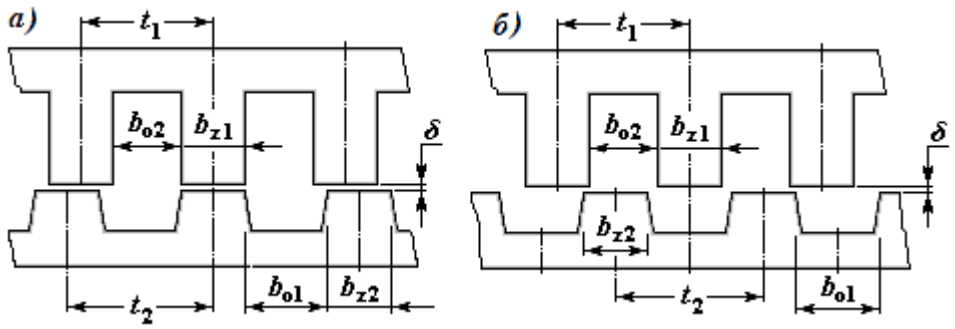


Рис.1. Зубцовая зона индукторного двигателя при сосредоточенной обмотке на статоре: а) в пределах зубцового деления статора оси зубцов совпадают; б) под зубцом статора расположен паз ротора

Для исследования выбрана геометрия зубцовой зоны реального индукторного двигателя с конфигурацией Z_1/Z_2 = 12/8, диаметром расточки статора D = 80 мм и зазором между статором и ротором δ = 0,8 мм.

Задача исследования состояла в том, чтобы установить, как изменяются указанные проводимости при изменении следующих факторов:

- изменении конфигурации статора и ротора, варианты Z_1/Z_2 = 12/8; 12/9; 12/10, знак «– » в (1) и Z_1/Z_2 = 12/14; 12/15; 12/16, знак «+ » в (1);
- изменении зазора в пределах δ = (0,4 – 1,2) мм;
- изменении коэффициента зубцового перекрытия статора α_1 = (0,4 – 0,5) и ротора α_2 = (0,4 – 0,5).

Для исследования были взяты из [3], хорошо апробированные выражения для λ_{max} и λ_{min}. Коэффициенты проводимости зазора в пределах зубцового деления статора при совпадении зубцов статора и ротора λ_{max} и когда под зубцом статора расположен паз ротора λ_{min} при $b_{z1} = b_{z2}$ имеют вид

$$\lambda_{max} = \frac{b_{z1}}{\delta} + \frac{2{,}3}{\beta}\log\left(1+\frac{\beta b_{o1}}{\delta}\right), \quad \lambda_{min} = \frac{4{,}6}{\beta}\log\left(1+\frac{\beta b_{z1}}{2(\delta+\beta b_{o1})}\right) + \frac{b_{o1}}{(\delta+\beta b_{o1})}, \qquad (4)$$

где $\beta = 1$ при $b_{o2}/\beta < 10$ и $\beta = 1{,}1$ при $b_{o2}/\beta > 10$.

Эти же выражения для λ_{max} и λ_{min} при $b_{z2} > b_{z1}$ приобретают вид

$$\lambda_{max} = \frac{b_{z1}}{\delta} + \frac{4{,}6}{\beta}\log\left(1+\frac{\beta(b_{z2}-b_{z1})}{2\delta}\right) + \frac{2{,}3}{\beta}\log\left(1+\frac{\beta(t_1-b_{o2})}{\delta+0{,}5\beta(b_{z2}-b_{z1})}\right),$$

$$\lambda_{min} = \frac{4{,}6}{\beta}\log\left(1+\frac{2\beta b_{z1}}{2(\delta+\beta(b_{o1}-0{,}5(b_{z2}-b_{z1}))}\right) + \frac{b_{o1}}{(\delta+\beta(b_{o1}-0{,}5(b_{z2}-b_{z1})} \qquad (5)$$

Случай, когда $b_{z1} > b_{z2}$ для рассматриваемого индукторного двигателя является не типичным, поэтому интереса не представляет. Результаты компьютерного исследования представлены ниже на рисунках 2 - 5.

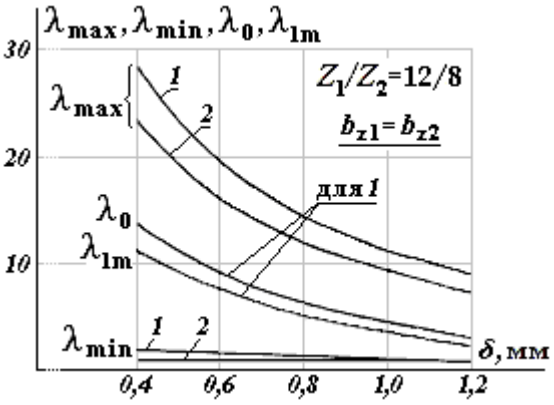


Рис. 2. Зависимости проводимостей λ_{max} , λ_{min} , λ_0 , $\lambda_{1m} = f(\delta)$ при $b_{z1} = b_{z2}$: 1 – при $\alpha_1 = 0{,}5$; 2 – при $\alpha_1 = 0{,}4$

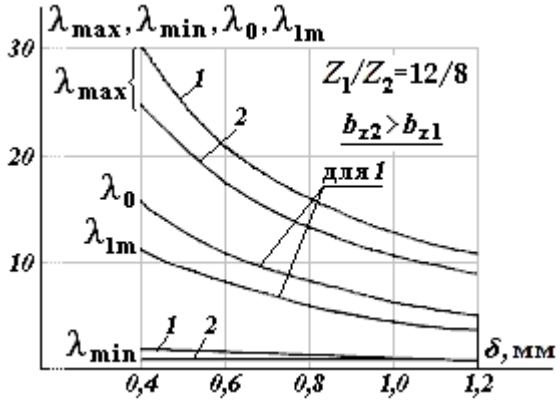


Рис.3. Зависимости проводимостей λ_{max} , λ_{min} , λ_0 , $\lambda_{1m} = f(\delta)$ при $b_{z2} > b_{z1}$: 1 – при $\alpha_1 = 0{,}5$; 2 – при $\alpha_1 = 0{,}4$

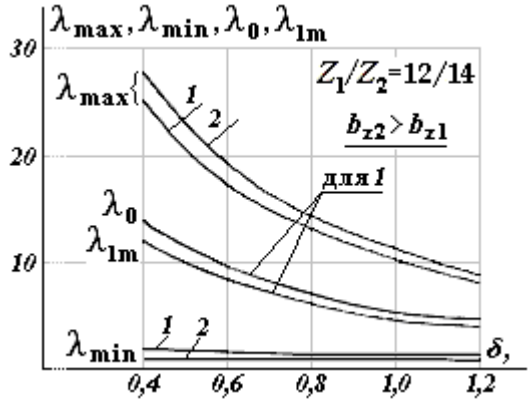


Рис. 4. Зависимости проводимостей λ_{max} , λ_{min} , λ_0 , $\lambda_{1m} = f(\delta)$ при $b_{z2} > b_{z1}$: 1 – при $\alpha_2 = 0{,}5$; 2 – при $\alpha_2 = 0{,}4$.

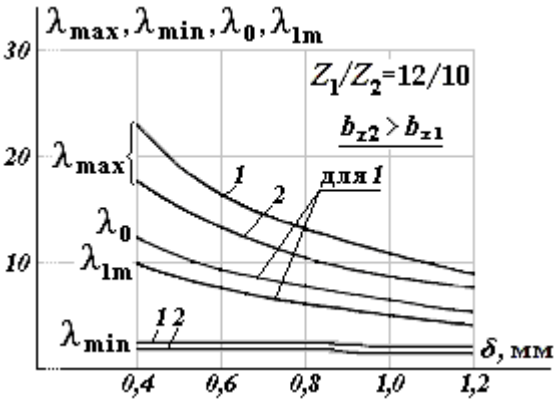


Рис. 5. Зависимости проводимостей λ_{max} , λ_{min} , λ_0 , $\lambda_{1m} = f(\delta)$ при $b_{z2} > b_{z1}$: 1 – при $\alpha_1 = 0{,}5$; 2 – при $\alpha_1 = 0{,}4$.

Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать следующие выводы относительно оптимизации зубцовой зоны индукторного двигателя с сосредоточенной обмоткой на статоре:

- при $Z_1 > Z_2$ и $b_{z1} = b_{z2}$ величина коэффициентов проводимостей λ_0 и λ_{1m} остаются практически постоянными, то есть при $\alpha_1 = 0{,}4 – 0{,}5$ проблемы с выбором геометрии зубцовой зоны ротора не существует, так как $t_2 > t_1$;
- при $Z_1 > Z_2$ и $b_{z2} > b_{z1}$ коэффициенты проводимостей λ_0 и λ_{1m} возрастают при этом необходимо стремиться, чтобы $\alpha_1 \approx \alpha_2$;
- при $Z_2 > Z_1$ необходимо стремиться, чтобы разница между ними была минимальной и выбор геометрии зубцовых зон надо начинать с ротора,

принимая $\alpha_2 = 0{,}5$, однако даже при этом условии λ_0 и λ_{1m} уменьшаются, причем тем сильнее, чем больше эта разница (например, при $\alpha_2 = 0{,}5$ и $Z_1/Z_2 = 12/14$ при $b_{z1} = b_{z2}$ коэффициент проводимости $\alpha_2 = 0{,}42$);

- при $c \geq 2$ разница между Z_2 и количеством малых зубцов на роторе Z_1' незначительна, что позволяет принимать $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx 0{,}5$, что обеспечивает наибольшее значение коэффициента λ_{1m} (например, согласно (1) при $c = 3$ и $m_2 N = 12$ имеем $Z_2 = 34$ или 38 при $Z_1' = 36$, то есть разница $Z_2 - Z_1'$ равна 2 и поэтому $t_1 \approx t_2$);
- при $Z_1 > Z_2$ и $Z_1 = 12$ статор является универсальным, так как к нему можно применить ротор с $Z_2 = 8$, 9 и 10, тем самым подобрать требуемую частоту вращения для различных по назначению электроприводов.

Литература

1. **Кулик Ю.Д.** Особенности построения схем сосредоточенных обмоток в индукторных двигателях при вентильной коммутации. Сб. трудов Междунар. научно-технич. конференции ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ – 2011. Т.1. Смоленск: РИО филиала ГОУВПО МЭИ (ТУ) в г. Смоленске, 2011.

2. **Куракин А.С., Чернигин А.С.** К расчету параметров зубцового слоя и магнитной проводимости зазора редукторных электродвигателей // Электромеханика, № 2, 1992.

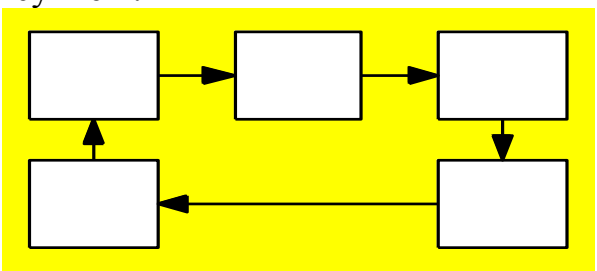
3. **Алексеева М.**М. Машинные генераторы повышенной частоты. – Л.: Энергия, 1967.

В.В. Семенков, студ.; рук. Л.Г. Черная, к.т.н., доц.,
(Межгосударственное образовательное учреждение
высшего образования «Белорусско-Российский университет»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОМАСЛЯНЫХ КОМПРЕССОРОВ 10ГМК-1-28

Установка охлаждения служит для обеспечения требуемых режимов работы газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28, установленных на подземном хранилище газа ОАО «Кричевцементношифер» .

Упрощенная технологическая схема охлаждения газомасляных компрессоров представлена на рисунке 1.



ГМК – газомасляный компрессор; ВыхК- выходной коллектор; ВхК – входной коллектор; АВО – аппарат воздушного охлаждения воды; СН – силовые насосы подачи воды;

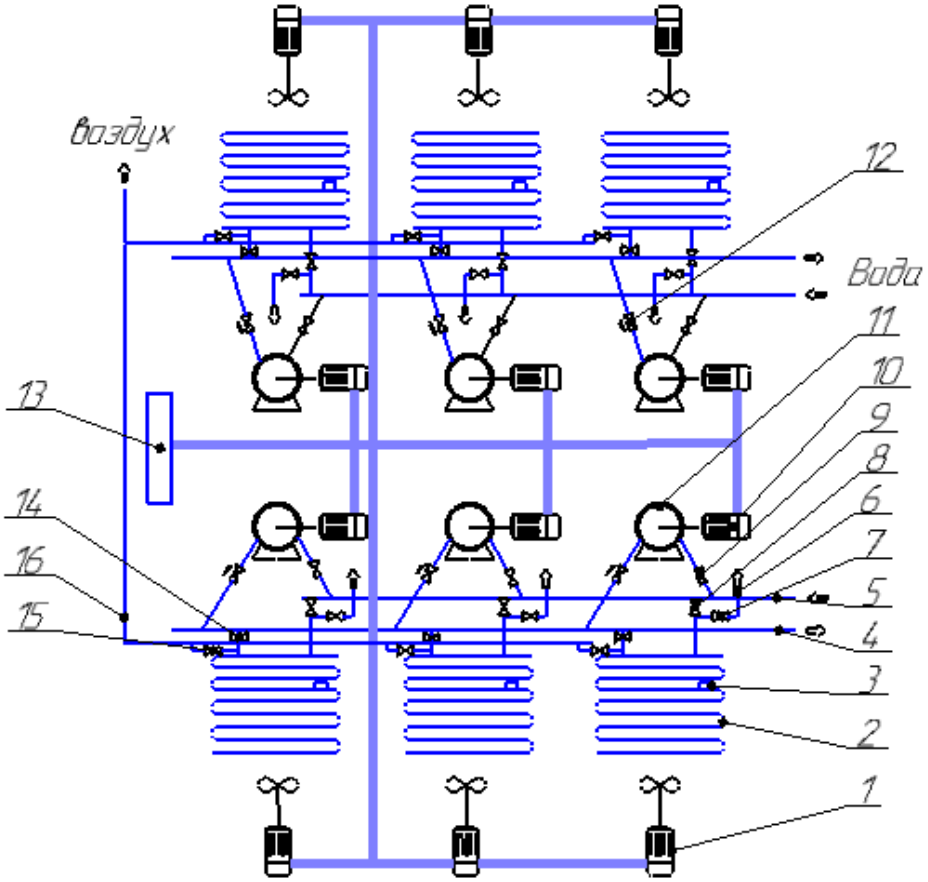
Рисунок 1 – Упрощенная технологическая схема охлаждения газомасляных компрессоров

Вода, нагретая в компрессорах ГМК, поступает во входной коллектор ВхК, откуда подается на аппараты воздушного охлаждения воды АВО, снабженные

вентиляторами. После охлаждения в аппаратах, вода поступает в выходной коллектор ВыхК, а оттуда – обратно в компрессоры ГМК. Циркуляция воды происходит под действием силовых насосов подачи воды СН. Основные технические характеристики установки охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики установки охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28

Техническая характеристика	Значение
Давление воды в трубопроводе, МПа	0,26±0,01
Температура воды на входе в компрессор, °С	56±0,5
Максимальный перепад температуры на входе и выходе компрессора, °С	5±0,1
Минимальное количество воды, требующееся для охлаждения одного компрессора, $м^3$/час	160



1- вентиляторы;
2- радиаторы для воздушного охлаждения ;
3- термопара;
4- водопровод обратной воды (ВыхК);
5- водопровод прямой воды (ВхК);
6- водопровод дренажный;
7- вентиль водопровода дренажного;
8- вентиль водопровода прямой воды;
9- вентиль подачи воды в насос;
10- двигатель насоса;
11- силовые насосы подачи воды (СН);
12- вентиль;
13- шкаф управления;
14- вентиль водопровода обратной воды;
15- вентиль воздуховода сжатого воздуха;
16- воздуховод сжатого воздуха.

Рисунок 2 –Структурная схема установки охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28

В проектируемой системы управления установкой охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28В можно выделить два основных узла: узел аппаратов воздушного охлаждения воды АВО и узел силовых насосов подачи воды СН. Посредством первого из перечисленных узлов производится регулировка температуры охлаждающей жидкости в функции температур прямой, обратной воды и температуры окружающей среды. Посредством второго из перечисленных узлов осуществляется регулирование давления воды в трубопроводе, количества воды, подаваемое на компрессоры.

Аппараты воздушного охлаждения АВО состоят из шести радиаторов 2 воздушного охлаждения с электроприводами вентиляторов. Циркуляция воды происходит под действием шести силовых насосов подачи воды СН.

Принципы регулирования узлов идентичны друг другу и заключаются в следующем: грубое регулирование выходных координат соответствующих электроприводов осуществляется дискретным включением/отключением двигателей, приводящих в движение технологический объект управления (насос или вентилятор в зависимости от рассматриваемого узла); точное регулирование осуществляется применением регулируемых частотных электроприводов. Необходимая разность температуры воды $(5\pm0,1)\ ^0C$ обеспечивается регулируемым электроприводом вентилятора 1. Необходимое давление в трубопроводе (0,26±0,01) МПа, обеспечивается регулируемым электроприводом силового насоса подачи воды 10.

Отработанная вода, несоответствующая требованиям по качеству технологии (например, повышенная жесткость) поступает в дренажный водопровод 6. Два раза в год во время плановой остановки компрессоров происходит продувка системы атмосферным воздухом, через воздуховод 16. Шкаф управления 13 находится в отдельном помещении.

Система управления базируется на применении программируемого логического контроллера. Для получения информации о ходе технологического процесса к контроллеру подключаются датчики температуры окружающей среды, обратной и прямой воды, датчик давления а также датчик расхода воды в водопроводе.

Для задания режима работы предназначена панель оператора, соединенная с контроллером по интерфейсу RS-485. Кроме того, использование PPI-кабеля обеспечивает соединение контроллера с персональным компьютером, установленным в диспетчерской. Основные вычислительные задачи выполняет компьютер, но при вводе управляющих сигналов с панели оператора или с использованием цифровых пультов управления преобразователями, все сигналы, относящие к заданию режима работы установки, автоматически переводятся в ручной режим с отслеживанием действий оператора и соответствующей сигнализацией при некорректном обращении с системой.

В качестве панели оператора применен текстовый дисплей и интерфейс оператора Siemens TD200, который позволяет отображать сообщения выдаваемые контроллером Siemens SIMATIC S7-200, обеспечивает возможность при-

нудительной или не принудительной установки точек ввода/вывода и предоставляет несколько наборов символов для поддержки.

Выбор контроллера проводился с учетом реализации условий: рассчитанных значений объема памяти, быстродействия (производительности) и возможности ввода/вывод требуемых сигналов. Необходимый объем памяти контроллера определялся следующим образом:

$$D = 2K_3 \sum_{i=1}^{4} n_i K_i ,$$

где n_i - количество операций определенного типа (ввод/вывод аналогового сигнала, обработка аналогового сигнала, ввод/вывод дискретного сигнала, логическая операция);

K_i - количество слов, необходимых для выполнения операций определенного типа;

K_3 - коэффициент запаса $K_3 = 2 \div 4$.

Расчет требуемого быстродействия контроллера определялся по формуле:

$$f = \frac{K_3 K_{ОБР} \sum_{i=1}^{4} n_i K_i}{\tau},$$

где $K_{ОБР}$ - коэффициент, учитывающий ввод и обработку сигнала в процессоре $K_{ОБР} = 5 \div 7 = 6$;

τ - цикл обработки данных.

В соответствии с приведенными условиями в проектируемой системе управления установкой охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28 предлагается применение программируемого логического контроллера SIMATIC S7-200 со следующей конфигурацией оборудования:

- модуль центрального процессора CPU S7-224 DC24V;
- модули дискретного ввода-вывода EM 223 DI16/DO16 DC24V;
- модули дискретного ввода-вывода EM223 DI8/DO8 DC24V;
- модуль дискретного вывода EM222 DO8 DC24V;
- модуль ввода аналоговых сигналов EM231 AI4;
- интерфейсный модуль расширения EM277 PROFIBUS-DP;
- модуль ввода сигналов с термопар EM231 AI4 Thermocouple.

При проектировании системы управлении установкой охлаждения учитывались следующие требования:

- регулирование давления воды в трубопроводе, количества подаваемой воды для охлаждения компрессоров, что необходимо в случае слишком высокой температуры окружающей среды или обратной воды (когда АВО не в состоянии обеспечить требуемый температурный режим работы системы охлаждения) или при достаточно низких вышеперечисленных температурах (возникает возмож-

ность полного отключения приводов АВО и работы только с помощью регулирования подачи) а также для увеличения быстродействия системы.

– оптимальное регулирование температуры воды в системе охлаждения. Данная задача осуществляется установкой регулируемого электропривода АВО и заменой существующего алгоритма работы;

– автоматический режим работы системы охлаждения в соответствии с заданной программой;

– автоматическое поддержание параметров технологического процесса в заданных диапазонах значений;

– автоматическая регистрация параметров работы системы в соответствии с заданными режимами работы;

– информационная связь между проектируемой системой управления и вышестоящим уровнем;

– автоматический контроль за состоянием преобразователей и программируемого логического контроллера.

Разработанная система управления установкой охлаждения газомасляных компрессоров 10ГМК-1-28 базируется на современном и быстродействующем контроллере SIMATIC S7-200 с применением для реализации функций регулирования частотных преобразователей фирмы Omron: 3G3PV-B4370-CE, 3G3PV-B4750-CE в комплекте с входными и выходными помехоподав-ляющими фильтрами. Данные преобразователи обеспечивают вольт-частотное управление электродвигателями в соответствии с одним из предлагаемых пятнадцати законов с возможностью ввода своего собственного закона управления. В инверторе предусмотрены защиты от токов короткого замыкания, от перегрузок по току и напряжению, от снижения питающего напряжения и некоторых других. Также предусмотрена компенсация мгновенного прерывания напряжения питания (до 2 с). Методом регулирования напряжения постоянного тока является широтно-импульсная модуляция на несущей частоте, выбираемой дискретно в диапазоне 2,5 – 10 кГц.

Система управления совмещает в себе хорошие энергетические, регулировочные, показатели, обеспечивает высокую надёжность, на ее эксплуатацию не требуются больших материальных затрат.

О.С. Степаненков, студ.; рук. И.С. Полющенков, к.т.н., доцент.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

В докладе рассмотрен частотный метод идентификации линейной динамической системы, основанный на анализе прохождения полигармонического сигнала через неё. Результатом идентификации является передаточная функция линейной динамической системы. Достижение заявленного результата иллюстрируется вычислительными экспериментами.

Решение задачи идентификации состоит в получении модели, которая соответствует объекту исследования. В качестве идентифицируемых характеристик могут служить, например, частотные характеристики и передаточные функции, поскольку от них зависят динамические и статические свойства системы при наличии внешних воздействия, а также при её функционировании в составе более сложной динамической системы.

Известно большое количество методов идентификации динамических характеристик. Их применение состоит из следующих этапов:

1. Выбор метода, исходя из конкретных условий работы объекта исследования и имеющейся априорной информации об его свойствах.

2. Выбор воздействий, при которых следует ставить эксперимент.

3. Обработка экспериментальных данных для получения модели.

4. Оценка соответствия идентифицированной модели и объекта исследования.

При идентификации объекта исследования используются как рабочие движения, характерные для обычных режимов работы, так и специальные пробные воздействия. При использовании частотного метода идентификации определение передаточной функции объекта исследования происходит в результате анализа прохождения через него полигармонического сигнала или последовательного прохождения гармонических сигналов разных частот.

На рис.1 показана функциональная схема устройства для идентификации передаточной функции объекта исследования.

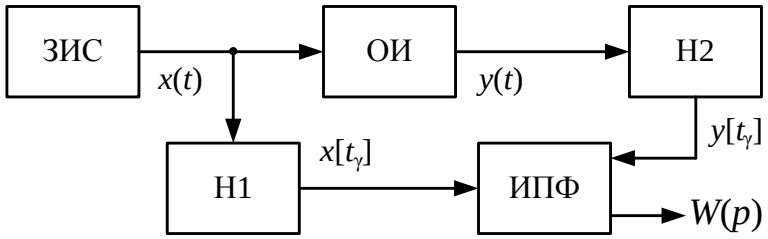


Рис.1. Функциональная схема устройства для идентификации передаточной функции объекта исследования

В этой схеме имеется задатчик испытательного сигнала (ЗИС) $x(t)$, который вызывает выходной сигнал $y(t)$ объекта исследования ОИ. Накопители дискретных отсчётов сигналов Н1 и Н2 фиксируют значения сигналов $x(t)$ и $y(t)$ в моменты времени t_γ.

Задача частотной идентификации передаточной функции была решена следующим образом.

Пусть система, подлежащая идентификации, имеет дробно-рациональную передаточную функцию $W(p)$ следующего вида:

$$W(p)=\frac{H_q(p)}{D_g(p)};\ H_q(p)=\sum_{i=0}^{q}h_i p^i\ ;\ D_g(p)=\sum_{z=0}^{g}d_z p^z\ , \qquad (1)$$

где $H_q(p)$, $D_g(p)$ – полиномы числителя и знаменателя передаточной функции; q, g – порядки полиномов ($q < g$); h_i, d_z – истинные коэффициенты полиномов $H_q(p)$ и $D_g(p)$.

Вид передаточной функции (1) заранее не известен. При идентификации системы её передаточная функция (1) аппроксимируется следующей математической моделью в виде дробно-рационального выражения:

$$W^*(p) = \frac{H_m^*(p)}{D_r^*(p)};\ H_m^*(p) = \sum_{i=0}^{m} h_i^* p^i;\ D_r^*(p) = \sum_{z=0}^{r} d_z^* p^z, \qquad (2)$$

где $H_m^*(p)$, $D_r^*(p)$ – полиномы числителя и знаменателя передаточной функции; m, r – порядки полиномов ($m < r$); h_i^*, d_z^* – коэффициенты полиномов $H_m^*(p)$, $D_r^*(p)$.

Коэффициенты полиномов $H_m^*(p)$ и $D_r^*(p)$ являются оценками коэффициентов полиномов $H_q(p)$ и $D_g(p)$. При этом требуется, чтобы:

$$q \le m,\ g \le r. \qquad (3)$$

При идентификации требуется определить коэффициенты h_i^*, d_z^* и оценить их соответствие истинным коэффициентам h_i, d_z.

Чтобы установить связь между выражениями в операторной форме и выражениями, записанными для частотной области, использован комплексный коэффициент передачи, который получен из выражения (2) при замене p на $j\Omega$:

$$W^*(j\Omega) = \frac{H_m^*(j\Omega)}{D_r^*(j\Omega)}, \qquad (4)$$

где Ω – круговая частота гармонического входного воздействия.

При фиксированной круговой частоте гармонического входного воздействия $\Omega = \Omega_k$ в динамической системе возникают установившиеся вынужденные колебания, а выражение (4) принимает следующий вид:

$$H_m^*(j\Omega_k) - D_r^*(j\Omega_k) W^*(j\Omega_k) = 0. \qquad (5)$$

После преобразования выражения (5) с целью выделения коэффициентов h_i^*, d_z^* оно принимает следующий вид:

$$\sum_{i=0}^{m} h_i^* (j\Omega_k)^i - W^*(j\Omega_k) \sum_{z=0}^{r} d_z (j\Omega_k)^z = 0. \qquad (6)$$

Очевидно, что общее число уравнений вида (6) для определения коэффициентов h_i^* и d_z^* должно быть следующим:

$$l = m + r - 1. \qquad (7)$$

Чтобы получить l уравнений вида (6), требуется экспериментально получить реакцию объекта исследования на l гармонических задающих сигналов с разными частотами Ω, которые могут действовать на объект исследования либо по отдельности, либо в виде полигармонического сигнала.

Вещественную часть и мнимую часть комплексного коэффициента передачи (4) α_k и β_k при частоте входного воздействия $\Omega = \Omega_k$ можно назвать частотными параметрами динамической системы:

$$\alpha_k = \mathrm{Re}\left[W^*(j\Omega_k)\right];\ \beta_k = \mathrm{Im}\left[W^*(j\Omega_k)\right];\ W^*(j\Omega_k) = \alpha_k + j\beta_k. \qquad (8)$$

На основании выражения (8) выражение (6) можно записать в следующем виде:

$$\sum_{i=0}^{m} h_i^*(j\Omega_k)^i - (\alpha_k + j\beta_k)\sum_{j=0}^{r} d_z(j\Omega_k)^z = 0. \qquad (9)$$

Для вычисления коэффициентов h_i^* и d_z^* передаточной функции $W^*(p)$ требуется решить систему из l уравнений:

$$\begin{gathered}
\sum_{i=0}^{m} h_i^*(j\Omega_1)^i - (\alpha_1 + j\beta_1)\sum_{z=0}^{r} d_z^*(j\Omega_1)^z = 0; \\
\cdots \\
\sum_{i=0}^{m} h_i^*(j\Omega_k)^i - (\alpha_k + j\beta_k)\sum_{z=0}^{r} d_z^*(j\Omega_k)^z = 0; \\
\cdots \\
\sum_{i=0}^{m} h_i^*(j\Omega_l)^i - (\alpha_l + j\beta_l)\sum_{z=0}^{r} d_z^*(j\Omega_k)^z = 0.
\end{gathered} \qquad (10)$$

где $k = 1 \div l$.

Частотные параметры динамической системы α_k и β_k определяются по следующим соотношениям:

$$\alpha_k = \frac{\alpha_{xk}\alpha_{yk} + \beta_{xk}\beta_{yk}}{\alpha_{xk}^2 + \beta_{xk}^2};\ \beta_k = \frac{\alpha_{xk}\beta_{yk} - \alpha_{yk}\beta_{xk}}{\alpha_{xk}^2 + \beta_{xk}^2}, \qquad (11)$$

где α_{xk} – вещественная часть k-той гармонической составляющей входного сигнала; α_{yk} – вещественная часть k-той гармонической составляющей выходного сигнала; β_{xk} – мнимая часть k-той гармонической составляющей входного сигнала; β_{yk} – мнимая часть k-той гармонической составляющей выходного сигнала.

Вещественные и мнимые части гармонических составляющих сигналов, использованные в (11), определяются с использованием преобразования Фурье:

$$\alpha_{xk} = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\cos(\Omega_k t)\,dt;\ \beta_{xk} = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\sin(\Omega_k t)\,dt; \qquad (12)$$

$$\alpha_{yk} = \frac{2}{T}\int_0^T y(t)\cos(\Omega_k t)dt;\ \beta_{yk} = \frac{2}{T}\int_0^T y(t)\sin(\Omega_k t)dt,$$

где T – интервал наблюдения сигналов.

Аналитическое описание сигнала $x(t)$ может быть известно в случае, если он формируется задатчиком. Аналитическое описание выходного сигнала $y(t)$ всегда неизвестно. Следовательно, при идентификации используются массивы дискретных отсчётов во временной области $x[t]$ и $y[t]$, а для вычисления частотных параметров следует использовать дискретное преобразование Фурье (ДПФ). В этом случае выражения (12) примут следующий вид:

$$\begin{aligned}\alpha_{xk} &= \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x[n]\cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right);\ \beta_{xk} = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x[n]\sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right);\\ \alpha_{yk} &= \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} y[n]\cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right);\ \beta_{yk} = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} y[n]\sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right),\end{aligned} \qquad (13)$$

где N – число точек ДПФ; $x[n]$, $y[n]$ – отсчёты сигналов $x(t)$ и $y(t)$ во временной области.

Чтобы определить положение гармоник испытательного сигнала в спектре и перейти от номеров гармоник k к частотам f, требуется выразить параметры ДПФ через частоту первой гармоники испытательного сигнала f_1. Эти параметры определяются следующим образом.

Частота дискретизации сигналов f_s и длительность интервала наблюдения сигнала T:

$$f_s = \frac{1}{T_s};\ T = T_s N = \tau T_1 = \frac{N}{f_s} = \frac{2\pi\tau}{\Omega_1}, \qquad (14)$$

где τ – количество периодов первой гармоники T_1 тестового сигнала на интервале наблюдения сигналов T; T_s – период дискретизации сигналов; Ω_1– круговая частота первой гармоники испытательного сигнала.

Ширина спектра ДПФ Δ и разрешающая способность ДПФ по частоте f_Δ:

$$\Delta = \frac{f_s}{2} = \frac{N\Omega_1}{4\pi\tau};\ f_\Delta = \frac{f_s}{N} = \frac{\Omega_1}{2\pi\tau} = \frac{f_1}{\tau}. \qquad (15)$$

На основании (14) и (15) для k-ой гармоники испытательного сигнала:

$$f_k = f_\Delta k\tau;\ \Omega_k = 2\pi f_k, \qquad (16)$$

На основе данного метода идентификации была составлена программа в системе компьютерной математики *Matlab* в виде *m*-файла. В качестве примеров для идентификации были проведены вычислительные эксперименты с использованием различных динамических звеньев из *Matlab*/*Simulink*. При идентификации динамического звена, имеющего коэффициенты h_0=1, d_0=1,

d_1=2·0.1, d_2=2·0.1^2 и d_2=1·0.1^3, были получены следующие коэффициенты: h_0=1.01, h_1=10^{-4}, d_0=1, d_1=1.89·0.1, d_2=2.12·0.1^2, d_3=0.97·0.1^3 и d_4=0.1^5. В виде отдельных задач осуществлялись выбор гармонического состава испытательного сигнала и оценка значимости полученных коэффициентов.

Проверка соответствия модели, полученной при идентификации, и динамического объекта с известной передаточной функцией иллюстрируется графиками, которые показаны на рис.2 и рис.3. В качестве испытательного полигармонического сигнала был использован меандр. Чтобы отчётливо выявить динамические свойства объекта исследования, период меандра равен удвоенной длительности свободной составляющей движения.

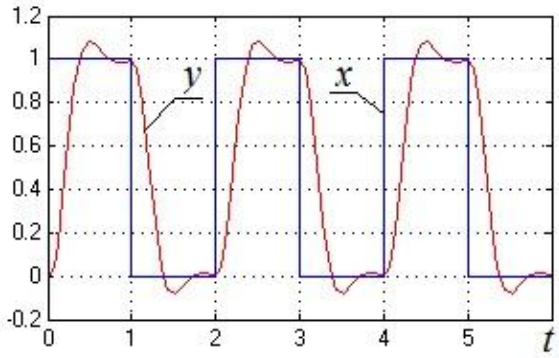
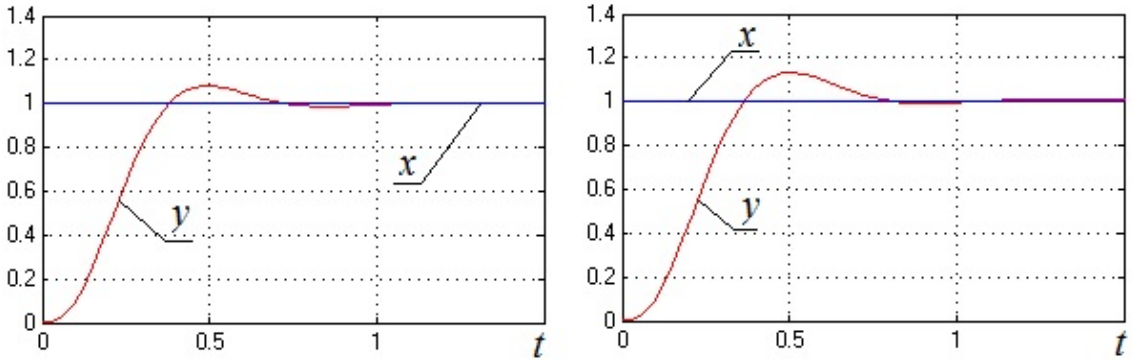


Рис.2. Реакция объекта при воздействии полигармонического сигнала



а б

Рис.3. Реакция на скачкообразный входной сигнал: а) объект исследования; б) идентифицированная модель

Сопоставление графиков переходных процессов, показанных на рис.3, по таким показателям, как перерегулирование, время переходного процесса и установившееся значение, позволяет сделать вывод о соответствии объекта исследования и идентифицированной модели.

С.С. Степанцова, студ.магистратуры, рук. В.А. Галковский, к.т.н., доцент
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ»МЭИ» в г. Смоленске)

УЗЛЫ УЧЕТА МНОГОКВАРТИРНОГО ДЕСЯТИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Согласно Федеральному Закону от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений

в отдельные законодательные акты Российской Федерации» производимые, передаваемые, потребляемые энергетические ресурсы подлежат обязательному учету с применением приборов учета используемых энергетических ресурсов. Комплекс оборудования, необходимого для учета объема потребления холодной воды называется узлом коммерческого учета холодного водоснабжения [1].

Таким образом, актуальным является развитие и модернизирование приборов, входящих в состав узлов учета.

Одной из первых этапов установки узла учета является проектирование. На данном этапе проводят расчет расхода воды, подбирают оборудование и диаметры труб.

Объектом рассмотрения является многоквартирный десятиэтажный жилой дом. Общее число квартир составляет $n = 964$ штуки. Общее число жителей дома составляет $N_{ж} = 2217$ человек.

Для объекта были спроектированы два узла учета холодного водоснабжения №1 и №2. Узел учета №1 предназначен для учета расхода и объема холодной воды добываемой из скважин №1 и №2 водозабора и подаваемой систему водоочистки. Узел учета №2 предназначен для учета расхода, объема и давления холодной воды подаваемой из системы водоочистки в сеть хозяйственно-питьевые водоснабжения жилого комплекса.

Узлы учета состоят из расходомеров-счетчиков турбинного типа ВСХНд Ду80, устанавливаемых на горизонтальных участках трубопроводов, с прямым участком 3 Ду до счетчика и 1 Ду после расходомера-счетчика, системы сбора и передачи данных водопотребления , состоящей в свою очередь из :

-комплекса «ВЗЛЕТ-ИВК» (ИВК-102), который используется для сбора, обработки, хранения измерительной информации и ее передачи на внешние устройства;

- преобразователя «ВЗЛЕТ АС» (АССВ-030), другими словами адаптер сотовой связи, который передает накопленные и текущие данные, а также сообщает о нештатных ситуациях;

- антенно-фидерного устройства [4].

Передающая среда - цифровая сотовая сеть GSM 900/1800 МГц.

Для значений расхода используется частотно-импульсный, для значений давления - токовый сигнал.

Измерительно-вычислительный комплекс «ВЗЛЕТ» реализует следующие операции: вычисляет объем; результаты вычислений и параметры функционирования сохраняет в памяти; формирует логические сигналы; контроль нештатных ситуаций; защита архивных и установочных данных от несанкционированного доступа. Так же комплекс имеет возможность ввода значений установочных параметров со встроенной клавиатуры.

Преобразователь измерительный «ВЗЛЕТ АС» (адаптер сигналов АССВ-030) предназначен для передачи данных, а также сообщений о нештатных ситуациях от приборов учета в диспетчерскую систему.

Адаптер преобразует входные интерфейсные сигналы RS-232 (RS-485) от приборов учета в радиочастотные сигналы стандарта GSM 900/1800 МГц. Он

позволяет подключать один или группу приборов к диспетчерской системе по беспроводной сети. Он так же осуществляет контроль состояние прибора в сети RS-485 и отсылает в диспетчерский центр сообщения о нештатных ситуациях.

Передача данных может осуществляться различными способами:

- CSD передача данных;
- SMS;
- GPRS передача данных.

Объем воды, потребляемый на собственные нужды станции водоочистки (на регенерацию фильтров), равен разнице показаний узла учета №1 и №2.

В ходе проектирования были получены расчетные значения расхода воды по следующим формулам [2]:

1. Средний суточный расход воды, м^3/сут:

$$Q_{сут} = \frac{qN_ж}{1000}\ , \quad (1)$$

где q - удельное водопотребление, л/сут. Определяется из справочной литературы.

2. Расчетный расход в сутки максимального/минимального водопотребления, м^3/сут:

$$Q_{сут.max} = k_{сут.max}Q_{сут} \quad (2)$$

$$Q_{сут.min} = k_{сут.min}Q_{сут} \quad (3)$$

При проектировании узла учета учитывается расход воды на наружное пожаротушение и составляет $Q_{пож} = 20\ л/с$ [3].

Результат расчет представлен в таблице 1.

Таблица 1. Результат расчет расхода воды.

	м^3/сут	м^3/ч
Расчетный расход воды максимального водопотребления	512	47,15
Расчетный расход воды минимального водопотребления	372	1,55
Расчетный расход воды максимального водопотребления, с учетом $Q_{пож}$	728	85,09

Для нужд внутреннего пожарного водоснабжения с целью обеспечения максимального расхода воды, а так же для снятия расходомеров - счетчиков в ремонт и поверку, предусмотрены обводные линии, с установленными на них затворами Ду100.

Диаметр ввода в здание DN 100 мм. На вводе установлен затвор. После узла учета №2 также проектируется установка показывающего манометра и преобразователя давления для измерения и регистрации значений давления воды после станции водоочистки на отпуске к потребителю и дальнейшей архивации и передачи показаний по каналу GSM.

Литература
1. Учет тепла – это почти просто / Осипов Ю. Н., Колмогоров А. Н. - СПб.: Политехника, 2009. — 423 с.
2. О проектной документации на узлы учета тепловой энергии потребителей. Коммерческий учет теплоносителей / Черномороченко С. И. - Материалы Международной научно-практической конференции, 2011.
3. СП 31.13330.2012 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84 (с Изменениями N 1, 2, 3).
4. СП 54.13330.2011 Здания жилые многоквартирные. Актуализированная редакция СНиП 31-01-2003.

Д.Д. Столярова, студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Эффективное использование энергии является одной из важнейших проблем современного общества. Ее решение позволит снизить потребление энергетических и материальных ресурсов при производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, уменьшить большие непроизводительные расходы государства и населения в сфере жилищно-коммунального хозяйства, улучшить экологическую обстановку в стране [1].

Важную роль в решении этой проблемы играет электропривод, который является основным потребителем электрической энергии. Большая часть электроприводов в современном мире – асинхронные. На их долю приходится не менее 50% производимой электроэнергии.

Типовым решением для автоматизации асинхронного электропривода является частотно-регулируемый вариант, чаще всего выполняемый по двухзвенной схеме «неуправляемый выпрямитель (НВ) – автономный инвертор напряжения (АИН) на IGBT-транзисторах с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения».

Эта силовая схема в сочетании с системой управления, построенной по векторным или скалярным принципам, обеспечивает статические и динамические свойства привода с качеством, необходимым для большинства промышленных применений.

Недостатком упомянутой схемы является сложность обеспечения рекуперации энергии в питающую сеть (для этого НВ надо заменять активным выпрямителем – АВ) и довольно значительное искажение формы кривой потребляемого тока (в энергетике для устранения этого применяются, в частности, активные фильтры).

В работе предпринимается попытка устранения указанных недостатков средствами совершенствования силовой схемы электропривода.

Применение АВ совместно с любой нелинейной нагрузкой позволяет регулировать как форму потребляемого тока, так и коэффициент мощности всей системы электропривода. Обзор [2] показывает, применение АВ приводит к наилучшим энергетическим показателям электропривода. В схемах питания

активный выпрямитель может либо заменять НВ, либо включаться параллельно основной нагрузке.

В данной работе ставится задача создания такой энергоэффективной многофункциональной схемы преобразователя частоты, которая позволит обеспечить синусоидальный ток в питающей сети, выполнить качественную рекуперацию энергии в питающую сеть, компенсировать потребляемую реактивную мощность.

Решение данной задачи видится в разработке структуры современного ЭП по схеме «НВ – АИН», с параллельно включающимся нагрузке активным выпрямителем напряжения. Такая схема обеспечивает наилучшие энергетические характеристики и электромагнитную совместимость с другими преобразовательными устройствами (устранение ложных срабатываний в системах управления).

Для задач электропривода целесообразно проанализировать различные режимы работы (двигательный и генераторные) на основе мощного высоковольтного электропривода. Подобным примером может служить электротехнический комплекс буровой установки. В составе комплекса буровой установки имеется несколько мощных электроприводов, одним из которых является электропривод подъемной лебедки – спускоподъемного агрегата, оснащенный высоковольтным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Имитационная модель работы такого электропривода, построенная в среде Matlab, представлена на рис.1.

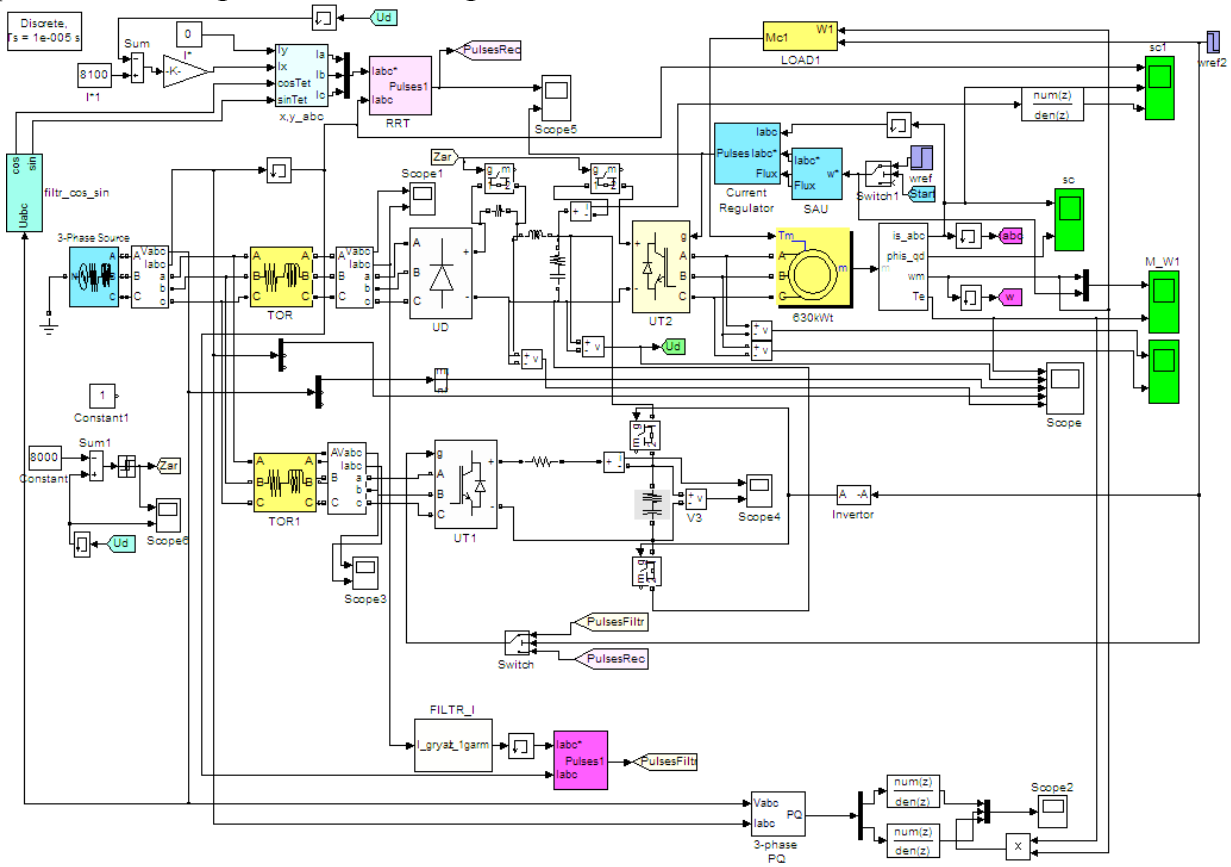


Рисунок 1 – Имитационная модель проектируемого электропривода

В рассматриваемой системе можно выделить следующие функциональные блоки:

– трехфазный источник напряжения (3-PhaseSource);
– токоограничивающие реакторы (TOR, TOR1);
– неуправляемый выпрямитель (UD);
– силовые преобразовательные устройства (UT1, UT2);
– асинхронный двигатель (630 kWt);
– блоки накопления энергии;
– датчики мгновенных значений токов сети (Scope 1);
– фильтр без фазовой задержки (FILTR_I);
– релейный регулятор тока и распределитель импульсов (RRT).

Остановимся на каждом из этих блоков поподробнее.

Трехфазный мост с собственным накопительной емкостью и входным дросселем может быть так же включен параллельно сети. Тогда при реализации соответствующей системы управления, данное устройство будет выполнять функцию активного фильтра гармоник, компенсатора реактивной мощности или рекуператора.

Применительно к системе электропривода спускоподъемного механизма буровой установки было выполнено моделирование работы активного фильтра гармоник на основе системы управления, работающей в скользящих режимах. Модель силовой части активного фильтра гармоник приведена на рис. 2.

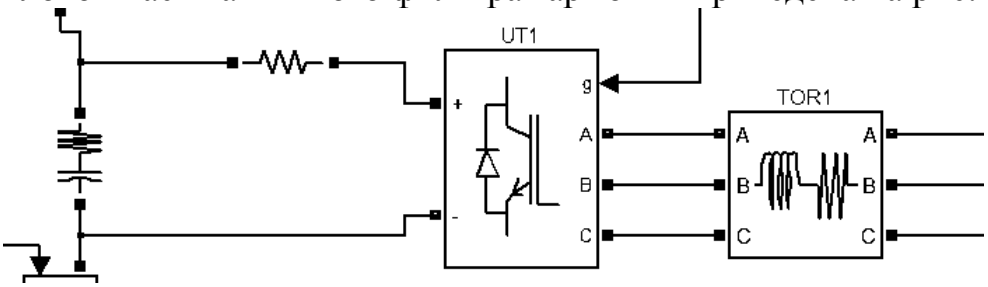


Рисунок 2 – Модель силовой части активного фильтра

Фильтром в модели является фильтр Баттерворта четвертого порядка. Его настройка приведена на рис.3.

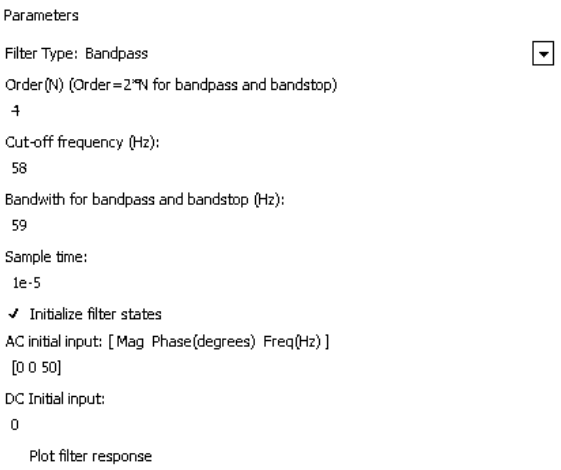


Рисунок 3– Настройка фильтра Баттерворта

Система работает следующим образом. «Загрязненный» сигнал с датчиков тока поступает на фильтры Баттерворта, на выходе которых имеем мгновенное значение первой гармоники фазных токов. Далее «загрязненный» сигнал и сигнал первой гармоники поступают на релейный регулятор, который вкупе с распределителем импульсов формирует требуемое мгновенное значение тока сети.

Осциллограммы сигналов токов фаз на входе и выходе фильтра Баттерворта приведены на рис. 4.

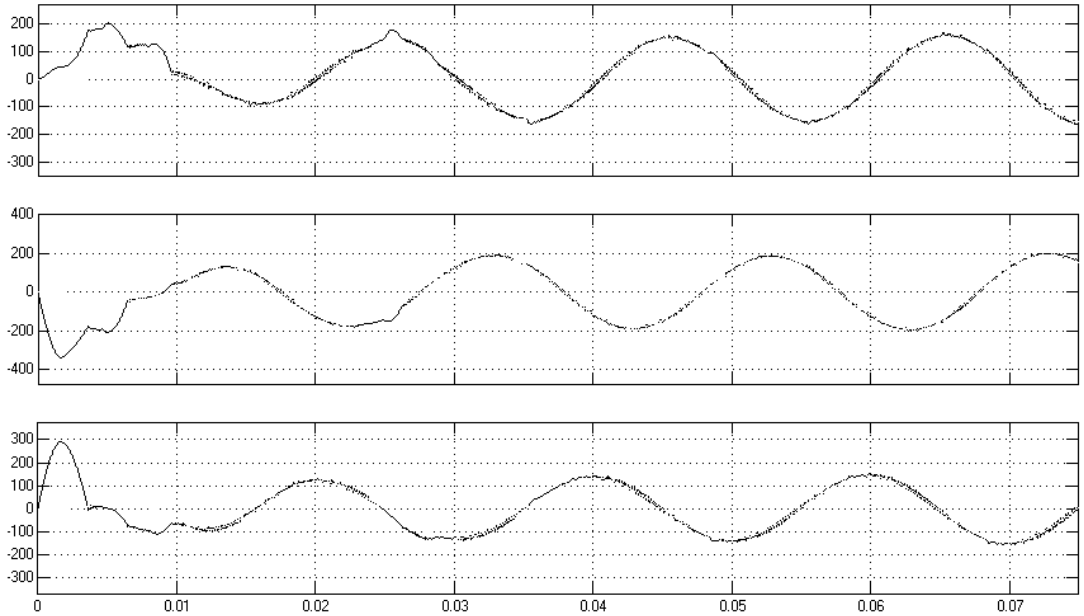


Рисунок 4 – Сигналы на входе фильтра Баттерворта

С целью обеспечения работоспособности системы электропривода в четырех квадрантах механических характеристик можно дополнить существующую схему функцией рекуператора. Последнее позволяет сделать электропривод по-настоящему энергоэффективным, т.е. при работе электропривода в двигательном режиме (в первом и третьем квадрантах характеристик) схема будет выполнять функцию активного фильтра гармоник, уменьшая вносимые преобразователем в сеть помехи. При работе электропривода в тормозных режимах значительную часть механической энергии можно будет рекуперировать в питающую сеть.

В модели на рис.1 последовательно имитируется несколько режимов работы. На начальном интервале времени до начала подачи импульсов на инверторы происходит заряд конденсатора в звене постоянного тока, а также электромагнитные процессы, связанные с созданием магнитного поля в асинхронной машине.

В момент времени 0,06 с через ключ Switch подаются импульсы PulsesFiltr на управляющий вход инвертора UT1. До момента времени 0,6 с активный выпрямитель работает в режиме фильтра.

В момент времени 0,6 с через ключ Switch1 подаётся импульс с реле wref на вход блока системы управления SAU. До момента времени 1,2 с инвертор UT2 работает как компенсатор реактивной мощности.

В момент времени 1,2 с ключ Switch переводится в нижнее положение по сигналу с реле wref2 и на инвертор UT1 подаются импульсы PulsesRec. До момента времени 1,5 с инвертор UT1 работает как рекуператор, возвращая реактивную энергию в сеть.

Проведенные эксперименты доказывают работоспособность разработанной модели с обеспечением как рекуперации энергии в питающую сеть, так и устранением нелинейных искажений. Двигатель питается «практически синусоидальным» линейным напряжением в соответствии с рис.4.

Литература

5. Проблемы энергосбережения в электроприводе [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL https://studref.com/359291tehnika/ energosberezhenie_elektroprivode_sredstvami_elektroprivoda. Дата обращения 24.12.2018.
6. **Маклаков А.С., Гасияров В.Р.**, Энергосберегающий электропривод на базе двухзвенного преобразователя частоты с активным выпрямителем и автономным инвертором напряжения / Электротехника: сетевой электронный научный журнал. 2014. Том 1, №1. – С.23-30.
7. **Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В.** Управление частотно-регулируемым электроприводом: Конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода»./ - Смоленск, РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2012. – 100с.
8. **В.А.Анисимов, А.О. Горнов, В.В. Москаленко, В.Н. Остриров, А.А. Фролов**. Проектирование электротехнических устройств./– М.: Издательство МЭИ, 2001. – 128с.
9. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк. - М: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
10. **Крутиков К.К., Рожков В.В.** Применение многофункциональных силовых активных фильтров в составе мощного частотно-регулируемого электропривода. Электричество, №2, 2011. С.32-38.

В.Д. Тимошенков, маг; рук. С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Современное обострение конкурентной борьбы на мировых электротехнических рынках предъявляет повышенные требования к техническим показателям асинхронных электродвигателей, в частности, к их пусковым показателям.

Известные классические методы и способы повышения пусковых показателей практически исчерпали себя на сегодняшний день. В связи с этим перед электромеханиками возникла актуальная задача разработки новых и более эффективных методов и способов повышения пусковых показателей.

Для оценки пусковых свойств электродвигателя используются следующие показатели:

1) кратность пускового момента по отношению к номинальному;

2) кратность пускового тока по отношению к номинальному;

3) продолжительность пуска;

4) стоимость пускового оборудования.

Пусковой ток асинхронного электродвигателя при прямом пуске определяется следующей формулой [1]:

$$I_{\text{п}} = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}} = \frac{U_1}{z_k} \quad (1)$$

где r_k и x_k, - активное и индуктивное сопротивление схемы замещения при коротком замыкании.

Приближенное значения пускового момента даёт выражение [1]

$$\text{M}_{\text{п}} = \frac{m_1 I_{\text{п}}^2 r_2'}{\Omega_1} \quad (2)$$

Из формулы (1) следует, что для уменьшения пускового тока необходимо либо уменьшать напряжение U_1, либо увеличивать сопротивление z_k. Причем, эти изменения должны происходить только на время пуска. При этом из формулы (2) следует, что для повышения пускового момента необходимо повышать активное сопротивление ротора r_2' опережающими темпами.

В настоящее время известны следующие способы осуществления пуска асинхронных электродвигателей.

Реакторный пуск. При реакторном пуске сопротивление z_k увеличивается на величину сопротивления реактора x_p, а напряжение на электродвигателе - уменьшается

$$I_{\text{п.р}} = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + \left(x_k + x_p\right)^2}}$$

Следовательно, при реакторном пуске начальный пусковой ток уменьшается в k_i раз

$$k_i = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{п.р}}} = \sqrt{\frac{r_k^2 + \left(x_k + x_p\right)^2}{r_k^2 + x_k^2}}.$$

Во столько же раз уменьшается напряжение на зажимах двигателя в начальный момент пуска. Начальный пусковой момент при реакторном пуске уменьшается по сравнению с моментом при прямом пуске в k_m раз

$$k_m = \frac{\text{M}_{\text{п.р}}}{\text{M}_{\text{п}}} = \frac{r_k^2 + x_k^2}{r_k^2 + \left(x_k + x_p\right)^2}$$

Кроме реакторного пуска известны способы автотрансформаторного пуска и пуска переключением «звезда — треугольник», также относящиеся к методу понижения питающего напряжения.

Автотрансформаторный пуск. Если пусковой автотрансформатор понижает пусковой напряжение двигателя $k_{\text{ат}}$ раз, то пусковой ток в двигателе уменьшается также в $k_{\text{ат}}$ раз, а пусковой ток в сети уменьшается в $k_{\text{ат}}^2$ раз. Пусковой момент электродвигателя, как следует из формулы (2), пропорциональный квадрату напряжения на зажимах двигателя, уменьшается также в $k_{\text{ат}}^2$ раз.

Таким образом, при автотрансформаторном пуске пусковой момент и пусковой ток сети уменьшаются в одинаковое число раз. В то же время, при реакторном пуске пусковой ток двигателя является также пусковым током в сети, и пусковой момент уменьшается быстрее пускового тока. Поэтому при одинако-

вых значениях пускового тока сети, при автотрансформаторном пуске пусковой момент будет больше. Однако это преимущество автотрансформаторного пуска достигается ценой значительного усложнения и удорожания пусковой аппаратуры.

Пуск переключения «звезда — треугольник». В этом случае при пуске обмотка статора включается в «звезду», а при достижении номинальной частоты вращения - переключается в «треугольник». При таком способе пуска, по сравнению с прямым пуском, с соединением обмотки в треугольник, напряжение фаз обмотки уменьшается в $\sqrt{3}$ раза, пусковой момент уменьшается в 3 раза, что в ряде случаев является недопустимым.

Наиболее известный метод улучшения пусковых показателей асинхронных электродвигателей, заключается в использовании эффекта вытеснения тока в стержнях короткозамкнутой клетки ротора. Однако в существующих конструкциях этот метод скорее относится к методам повышения кратности пускового момента. Что касается кратности пускового тока, то данный показатель практически не снижается, а в ряде случаев – возрастает.

Согласно данному методу клетка ротора электродвигателя должна иметь достаточно глубокие пазы, заполненные стержнями. В этом случае ток электродвигателя при пуске вытесняется в верхние части стержней клетки, благодаря чему их активные сопротивления увеличиваются, а индуктивные уменьшаются. В случае достаточно интенсивного эффекта вытеснения тока рост активного сопротивления стержней клетки преобладает, а пусковой ток электродвигателя снижается.

В настоящее время известны следующие конструктивные исполнения клеток, использующие эффект вытеснения тока.

Глубокопазный ротор. Для многополюсных электродвигателей мощностью более 100 КВт применяются роторы с глубокими пазами, позволяющие получить удовлетворительные пусковые характеристики. Например, электродвигатели с глубоким и колбовидным пазами на роторе имеют следующие характеристики: кратность пускового момента 1÷1,5 и кратность пускового тока 4÷6.

Двухклеточный ротор. Короткозамкнутые электродвигатели выполняются также с двойной клеткой на роторе. У них кратности пускового момента и пускового тока практически не отличаются от соответствующих кратностей глубокопазного электродвигателя.

Двойная клетка обычно применяется для электродвигателей, от которых требуются высокий начальный пусковой момент. Недостаток электродвигателя подобной конструкции – пониженный коэффициент мощности электродвигателя.

Роторы с клинообразными пазами. Клинообразные пазы находят применение для короткозамкнутых роторов в тех же случаях, что и колбообразные пазы. Здесь эффект вытеснения тока сказывается несколько менее резко, чем при колбообразных пазах, однако по сравнению с последними, клинообразные пазы позволяют применять более простые по изготовлению стержни. Это положительно сказывается на технологии производства.

Пусковые показатели всех этих модификаций электродвигателей незначительно отличаются от пусковых показателей асинхронных электродвигателей с глубокопазным ротором.

Все конструкции ротора, упомянутые выше, основаны на эффекте вытеснения тока в стержнях. Недостатком таких конструкций является высокая кратность пускового тока $i_{\text{п}} \approx 6 - 7{,}5$, реализуемая ими.

Ротор с массивными стальными кольцами, охватывающими медные короткозамыкающие кольца. Данное техническое решение описано в известном пособии по проектированию электрических машин под редакцией П.С. Сергеева. В этом случае медные короткозамыкающие кольца клетки ротора охватываются с обеих сторон массивными стальными кольцами. Они, во-первых, служат в качестве бандажей для медных колец, во-вторых, улучшают пусковые характеристики двигателя. Последнее обусловлено возникновением в стальных кольцах относительно больших магнитных потерь при большой частоте тока ротора. Это приводит к увеличению активного сопротивления роторной цепи и повышению пускового момента. По мере уменьшения частоты тока ротора «трансформаторная связь» медного кольца с массивными стальными кольцами ослабляется, что соответствует уменьшению активного сопротивления роторной цепи. Как показал опыт, активное сопротивление роторной цепи при пуске таких двигателей увеличивается примерно в 1,5—2 раза, что при начальном пусковом токе, превышающем номинальный в 6—7 раз, во многих случаях оказывается достаточным.

Ротор с проточками на короткозамыкающихся кольцах. Согласно материалам изобретения [2], на четных зубцовых делениях короткозамыкающих колец в радиальном направлении выполнены проточки прямоугольной формы длиной и глубиной расположенные симметрично относительно осей симметрии четных зубцовых делений. Использование такой конструкции ротора обеспечивает рост кратности пускового момента в среднем на 18% и снижение кратности пускового тока на 2%.

Ротор с ферромагнитными экранами Г-образной формы на короткозамыкающих кольцах. Согласно материалам изобретения [3], клетка ротора с экранами из ферромагнитной стали, имеющими поперечное сечение Г-образной формы, работает следующим образом. Ферромагнитный экран Г-образной формы совместно с пакетом магнитопровода ротора создает условия "открытого вниз паза" для токов короткозамыкающего кольца. Благодаря этому, а также в связи с асимметрией, вносимой различием магнитных проницаемостей пакета магнитопровода ротора и ферромагнитного стального экрана, при пуске токи вытесняются в нижний правый угол короткозамыкающего кольца. Это способствует интенсивному росту активного сопротивления и экстенсивному снижению индуктивного сопротивления короткозамыкающего кольца. Достигнутое в заявляемом устройстве значение кратности пускового тока составляет $i_{\text{п}} = 4{,}36$, что на 26% ниже, чем у такого же электродвигателя, но без экрана.

Таким образом можно сделать вывод о том, что применение экранов на короткозамыкающих кольцах существенно активизирует эффект вытеснения тока и способствует интенсивному улучшению пусковых показателей асинхронных электродвигателей.

Выводы

1) Современное состояние мировых электротехнических рынков делает проблему улучшения пусковых показателей асинхронных электродвигателей актуальной научно-технической и экономической проблемой.
2) Известные в настоящее время способы улучшения пусковых показателей проблемы не решают, поскольку исчерпали свой технический потенциал.
3) Перспективными техническими решениями являются конструкции ротора с ферромагнитными экранами на короткозамыкающих кольцах.

Литература

1. Важнов А.И. Электрические машины: М.: Энергия, 1968.
2. Ротор асинхронного электродвигателя. Патент РФ № 2617445. Опубл. 25.04.2017. Бюл. № 12// Макаров Л. Н., Денисов В. Н., Курилин С. П., Власенков А. А.
3. Клетка ротора асинхронного электродвигателя с низким пусковым током. Патент РФ №2643180. Опубл. 31.01.2018. Бюл. № 4// Макаров Л. Н., Денисов В. Н., Курилин С. П., Беляева А. В., Кобелев А. С.

А.М. Трощенкова, студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Преобразователи частоты обеспечивают весьма широкие возможности по управления асинхронными машинами с высоким качеством статических и динамических свойств [1]. В то же время, полупроводниковым преобразователям свойственен недостаток, связанный с особенностями высокочастотной коммутации выходного напряжения. При этом «страдает» изоляция машины и снижается ее долговечность. Существуют различные способы борьбы с этим недостатком – усовершенствование конструкции машины, создание частотно-регулируемых двигателей. При этом объект управления – двигатель – существенно удорожается. Более целесообразным, в этой связи, представляется совершенствование самого преобразователя, например, увеличение числа уровней в инверторе.

В связи с возрастающими требованиями к качеству питания асинхронного двигателя (АД) в составе частотно-регулируемого электропривода (ЭП), разработка системы управления многоуровневыми (МУ) автономными инверторами напряжения (АИН) сегодня является актуальной. Повышение числа уровней в выходном напряжении АИН дает возможность получить

напряжение, близкое к синусоидальному, в том числе и без применения дополнительных фильтров, что приводит к улучшению характеристик ЭП и снижению стоимости изготовления.

Преимущество МУ схемы по сравнению с двухуровневой (2У) в том, что 1-ая дает возможность уменьшить падение напряжения на каждом ключе, т.е. применять ключи меньшего класса по напряжению, которые обладают наименьшей стоимостью и большими частотами коммутации, а также, при одной и той же частоте коммутации ключей в данных схемах, МУ схема дает значительно меньшие значения коэффициента несинусоидальности по напряжению, а значит, облегчает режим работы ЭП.

Выбор числа используемых «уровней» для формирования выходного напряжения осуществляется компромиссно с учетом экономической целесообразности. В настоящее время использование МУ АИН в составе частотного привода экономически оправдано лишь применительно к высоковольтным двигателям переменного тока [2].

В данной работе ставится задача создания такой схемы преобразователя частоты и ее системы управления, которая позволит обеспечить синусоидальный ток в питающей сети, компенсировать потребляемую реактивную мощность. Решение данной задачи видится в усовершенствовании существующих схем преобразователей частоты.

Моделирование электропривода спускоподъемного механизма буровой установки проведем в среде MATLAB 2013 [3]. Вследствие особенностей режимов моделирования выбран дискретный тип построения модели с расчетным шагом 10^{-5} с. Модель состоит из ряда функциональных блоков и связей между ними:

- питающая сеть;
- токоограничивающие реакторы;
- выпрямитель;
- активный фильтр-рекуператор с переключающее устройство и его система управления;
- пятиуровневая мостовая схема АИН с ШИМ и его система управления;
- асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором;
- измерительный комплекс.

Питающая сеть представляет собой трехфазную сеть переменного тока промышленной частоты с действующим значением линейного напряжения на уровне 6 кВ.

Токоограничивающий реактор настроен на уровне 0,001 Ом и $3 \cdot 10^{-4}$ Гн.

Неуправляемый выпрямитель в составе преобразователя частоты выполнен по трехфазной мостовой схеме с параметрами:

- активное сопротивление снабберной цепи 500 Ом;
- емкость снабберной цепи $15 \cdot 10^{-8}$ Ф.

Активный фильтр представляет собой транзисторный мост на IGBT с собственной системой управления. Обязательной частью активного фильтра

является собственный токоограничивающий реактор на входе и накопительная емкость на выходе.

Звено постоянного тока построено на делительных емкостях значительной емкости с целью предотвращения несимметрии напряжения фаз при работе схемы.

Инвертор имеет следующие параметры:

- активное сопротивление снабберной цепи 10 Ом;
- емкость снабберной цепи 10^{-6} Ф;
- прямое падение напряжения на ключе 1 В.

Подмодель пятиуровневого автономного инвертора приведена на рис. 1.

Объектом управления в системе является асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором ДАЗО-4-450-Х-4-МТ2, параметры которого заложены в стандартную асинхронную машину.

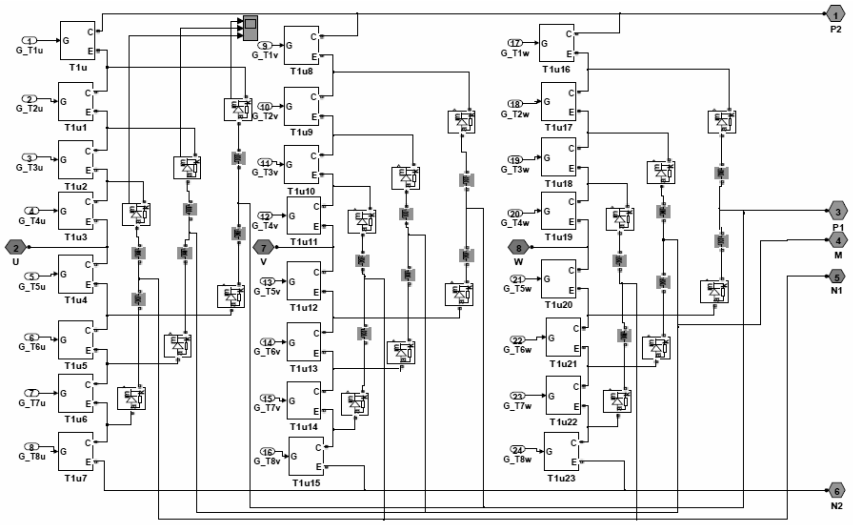


Рис.1. Силовая часть пятиуровневого автономного инвертора.

Система управления многоуровневым инвертором представлена драйверами фазы A,B,C. Модель драйвера фазы А приведена на рис. 2.

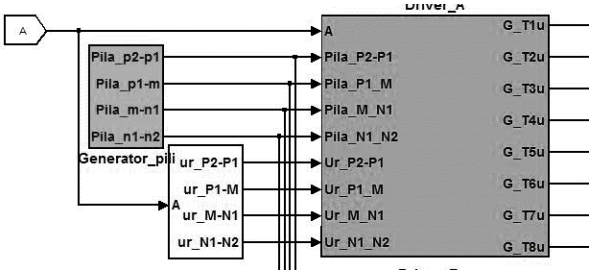


Рис.2. Модель драйвера фазы А инвертора.

Функционально драйвер состоит из блока задания сигнала несущей, блока сравнения и распределителя импульсов (рис. 3).

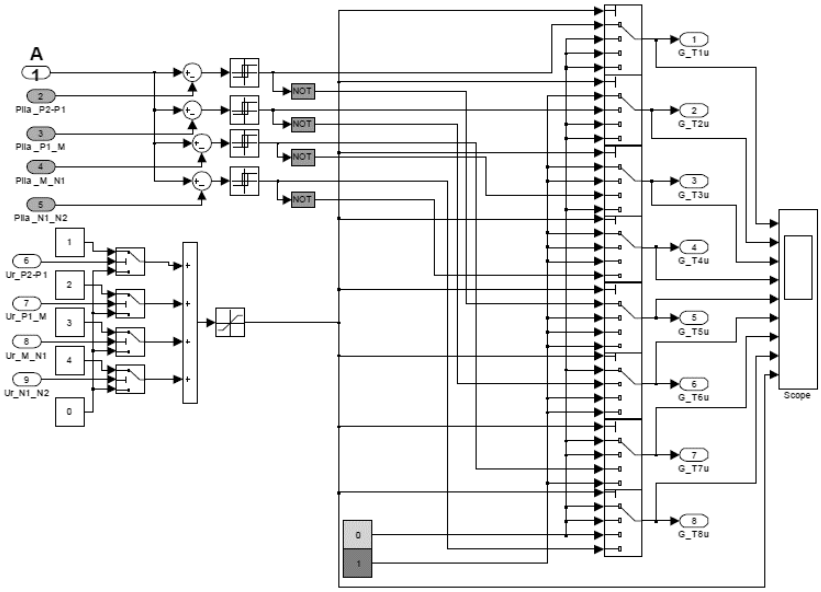


Рис.3. Модель распределителя импульсов на ключи инвертора.

Осциллограммы работы модели приведены на рис.4. Первая осциллограмма – уставка скорости и реальное значение, рад/с; вторая осциллограмма – статический момент и момент, развиваемый на валу двигателя, Нм; третья осциллограмма – мгновенные значения фазных токов статора двигателя, А; четвертая – уставка и реальное значение модуля вектора потокосцепления ротора, Вб;

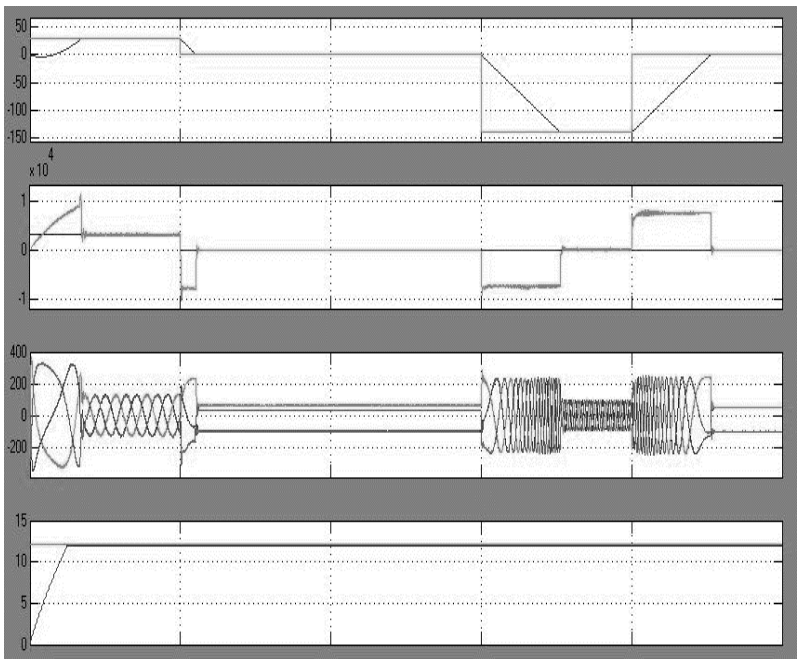


Рис. 4. Осциллограммы работы модели.

Осциллограммы статического момента на валу двигателя и электромагнитного момента приведены на рис. 5.

При анализе рис. 5 следует, что динамические моменты формируются на уровне 3,1 от уровня номинального статического момента, что является

косвенным показателем возможности работы привода в режиме выполнения операций, связанных с ликвидацией аварий.

Осциллограммы отработки электроприводом задания скорости приведены на рис. 6.

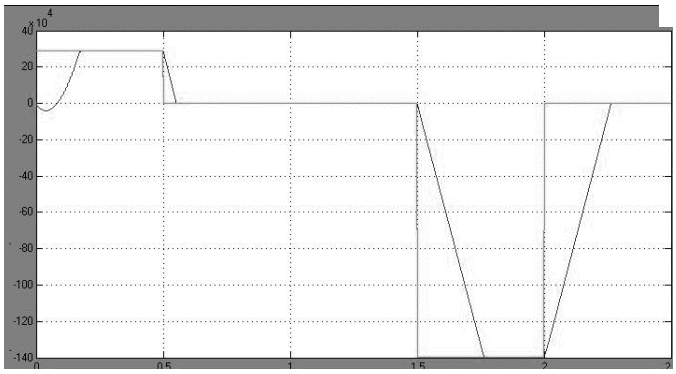


Рис. 5. Статический и электромагнитный моменты двигателя, Нм

Рис. 6. Диаграммы задания скорости и отработка.

Из вышеприведенной осциллограммы следует, что привод обеспечивает плавный, но достаточно интенсивный разгон двигателя со следующими показателями качества переходного процесса по скорости:

- время регулирования 0,5608 с;
- время максимума 0,571 с;
- перерегулирование 0,0036 %.

В статике, система характеризуется статической ошибкой, численно равной 0,003 %.

Таким образом, разработана компьютерная имитационная модель четырехквадрантного частотно-регулируемого электропривода спускоподъемного механизма буровой установки.

Система управления электроприводом обеспечивает качество переходных процессов не хуже требуемых технологией работы спускоподъемного механизма.

На модели отработана технология управления МАИН на примере пятиуровневого АИН. Показана работоспособность схемы и способы оценки эффективности ее применения.

Литература

11. **Соколовский Г.Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
12. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника: учебник для вузов/ Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк. - М: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
13. Буровая установка. // [Электронный ресурс] Режим доступа: http://neftegaz.ru/tech_library/view/4058, Дата обращения 21.01.19
14. **Бормотов А.** Современные силовые полупроводниковые приборы для энергоэффективных технологий / А. Гришанин, В. Мартыненко, В. Мусктиньев, В. Чибиркин // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2010. – № 8. – С. 36-44.

К.Д. Филиппенков, студ.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОЦЕНОЧНОМ РАСЧЁТЕ

На данный момент асинхронные двигатели составляют примерно 80% электрических машин, выпускаемых промышленностью. Основным типом электропривода в последние два десятилетия является частотно-регулируемый асинхронный вариант. Наиболее справочным изданием является [2]. Оно было издано более 35 лет назад для асинхронных машин уже устаревшей серии 4А. За это время появилось множество других более современных серий асинхронных машин, подробные справочные данные по которым являются «коммерческой тайной». Производители современных серий электродвигателей в паспортных данных указывают только основные параметры для номинального режима (номинальные ток и напряжение, энергетические показатели, схему соединения обмоток, кратности пускового тока и момента, кратность максимального момента, номинальный момент, число полюсов, момент инерции). Для расчета и исследования асинхронного двигателя с частотным управлением необходимо знать также данные схемы замещения, которые часто не указываются производителем. Значения параметров схемы замещения получают при проектировании двигателя, но такой способ является трудоемким и не применимым при эксплуатации. Существуют упрощенные методики, позволяющие рассчитать эти параметры по номинальным данным из паспорта асинхронного двигателя.

В данной статье в качестве объектов исследования примем асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором мощностью P=5.5 кВт, синхронной скоростью 3000 об/мин, номинальным напряжением U=220/380 В.: двигатель спроектированный по методике, описанной в [1] и его аналог из серии 4А - 4А100L2, параметры схемы замещения которого приведены в [2].

По расчетам спроектированного двигателя и параметрам двигателя, представленным в [2], построены динамические и статические характеристики с использованием пакетов Matlab и Mathcad.

Для исследуемого двигателя по [1] и двигателя из [2] рассчитаны следующие характеристики:

Параметры схемы замещения:

	R_1,Ом	X_1,Ом	$R`_2$,Ом	$X`_2$,Ом	$X`_{12}$,Ом
Спроектированный двигатель	1.15	1.85	0.582	1.88	75.89
Его аналог 4А100L2	1.04	1.12	0.747	2.28	78.87

В среде Matlab для исследования динамических характеристик были разработаны модели асинхронных двигателей по данным схемы замещения.

Результаты моделирования представлены на рисунках 2,3

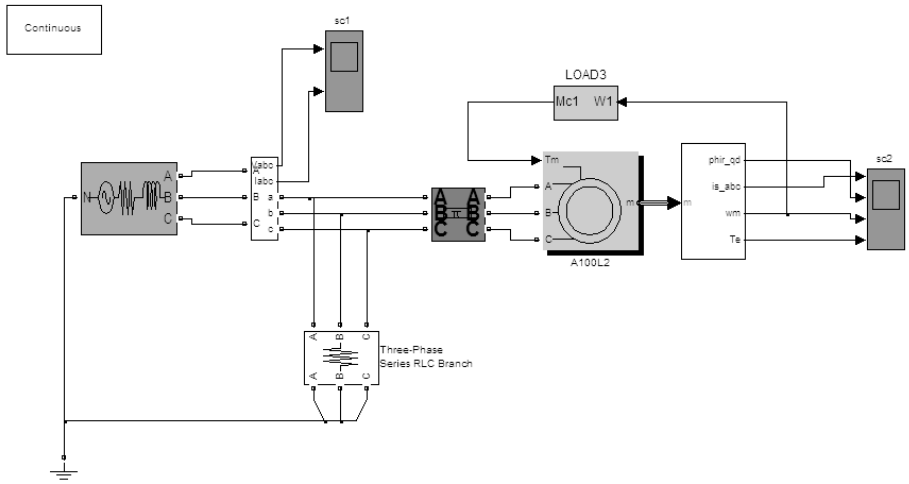


Рисунок 1 – Схема моделирования асинхронного двигателя

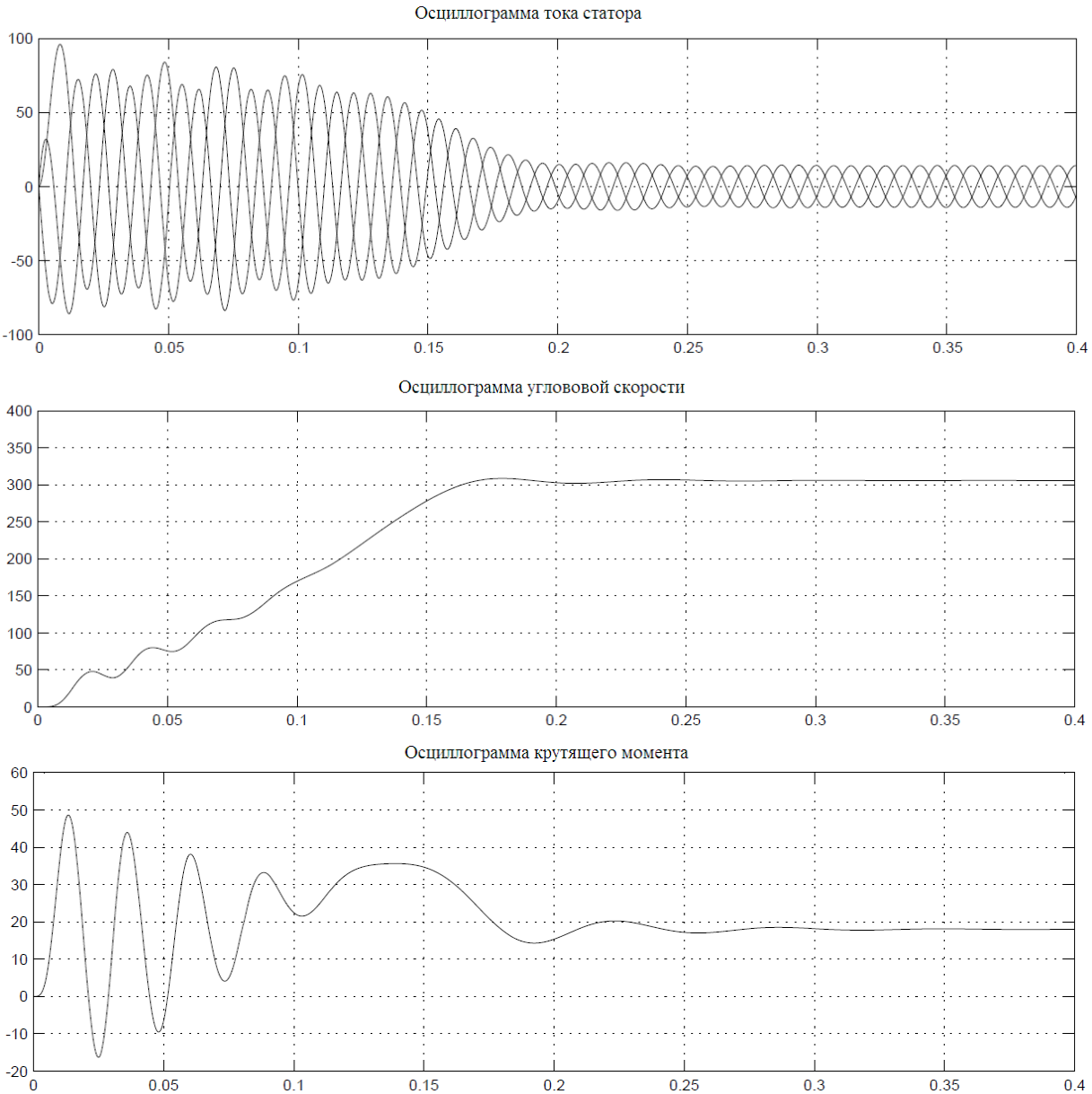


Рисунок 2 – Результаты моделирования спроектированного двигателя.

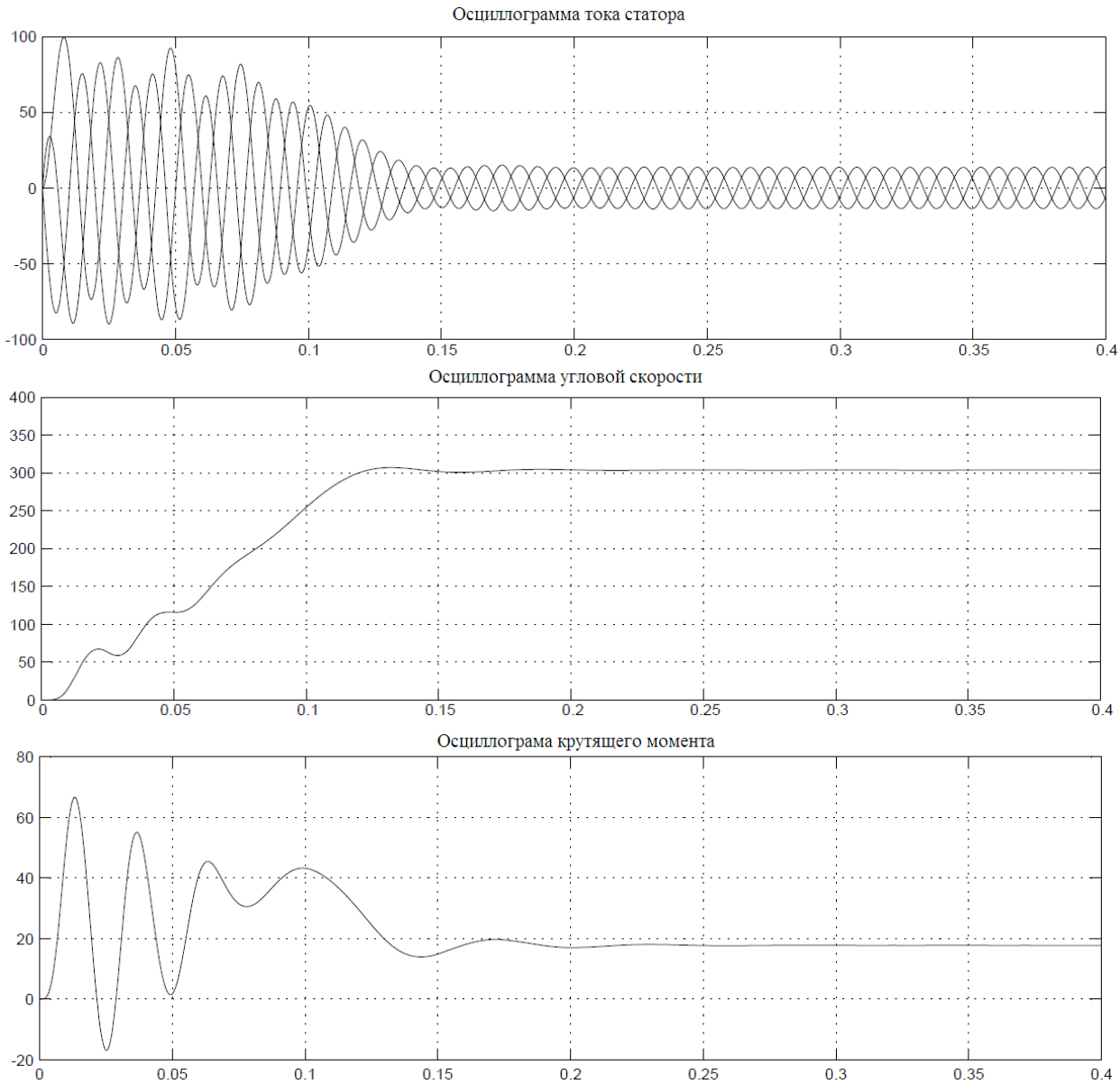


Рисунок 3 – Результаты моделирования 4A100L2

Статические характеристики двигателей строились при регулировании потокосцепления в цепи ротора и при регулировании потокосцепления в воздушном зазоре при частотах 50 Гц, 25 Гц, 10 Гц.

Построение статических характеристик проведено в среде Mathcad. Результаты моделирования представлены на рисунках 4,5

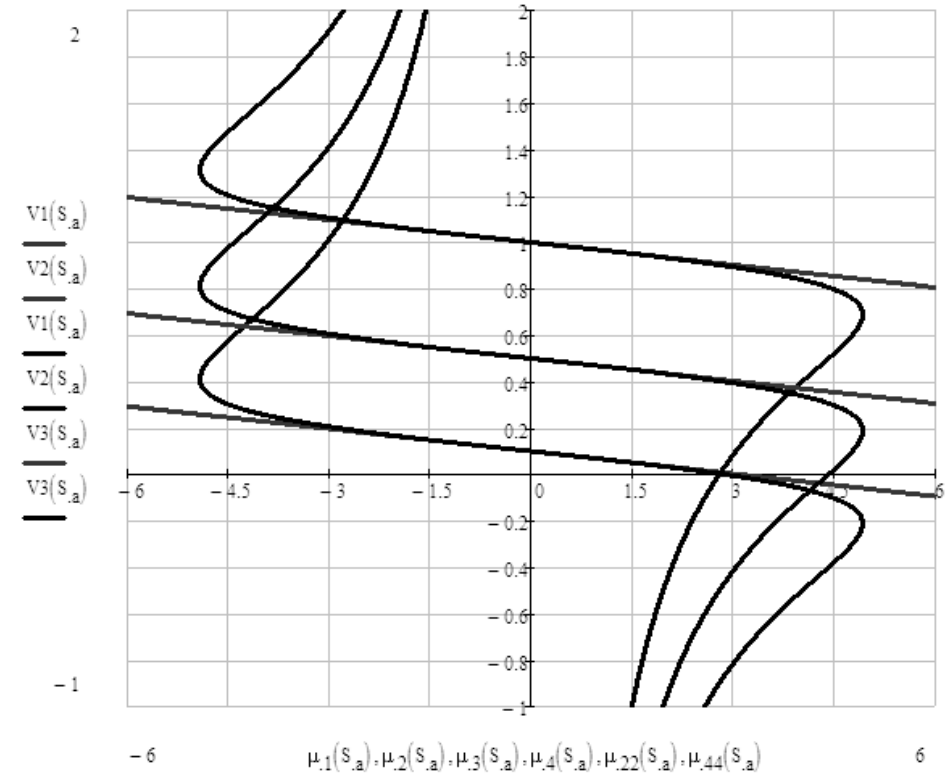


Рисунок 4 – Статические характеристики спроектированного двигателя.

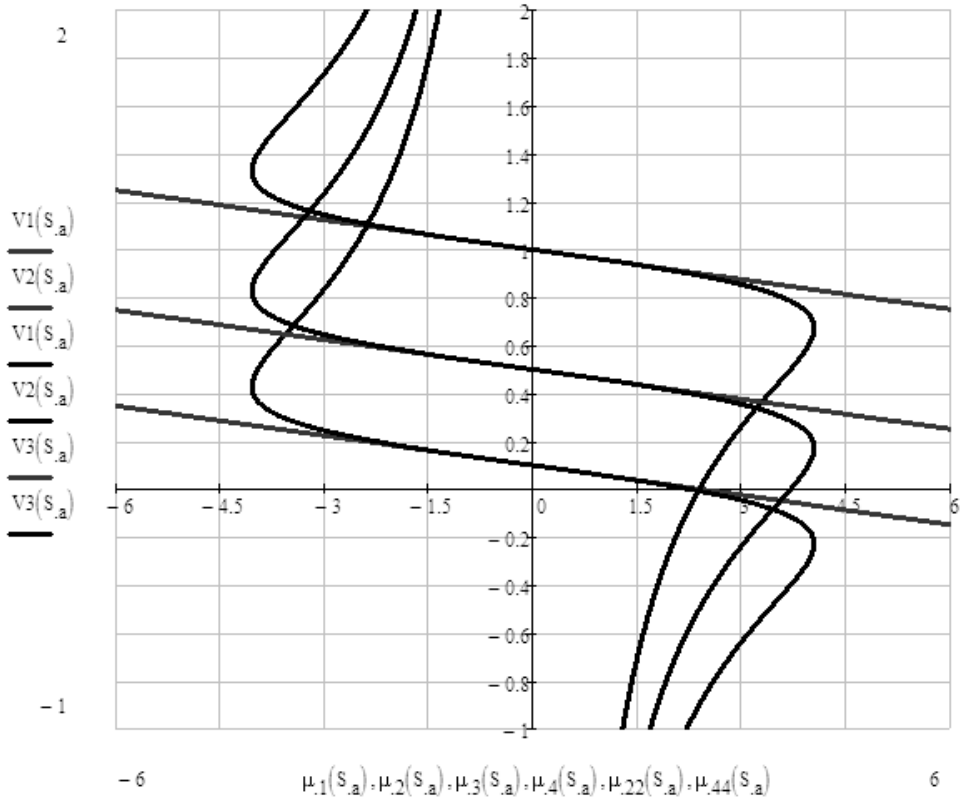


Рисунок 5 – Статические характеристики 4A100L2

Выводы:

- подробная методика расчета параметров схемы замещения асинхронной машины при проектировании и упрощенная методика дают достаточно близкие результаты в пределах 10% для большинства параметров;
- удобным критерием проверки полученных расчетов является компьютерное моделирование;
- основные контрольные параметры – ток в установившемся режиме, скольжение близки к паспортным;
- построение статических характеристик (для скалярного частотного способа управления при стабилизации потокосцеплений ротора и намагничивания) показывает, что по полной методике двигатели обеспечивают большую перегрузочную способность, что требует уточнений по реализуемости.

Литература

15. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин: учебник для студ. высш. учеб. заведений / И.П. Копылов. – М.: Издательский центр «Юрайт», 2011. – 767 с.
16. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И.., Соболенская Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. –504 с.
17. **Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В.** Управление частотно-регулируемым электроприводом: Конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». /Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В. – 2-е изд., испр. – Смоленск, 2012. – 100 с.

Е.И. Хаустов, П.С. Мартынов, студ.; рук. В.В. Марков, И.А. Малых
(Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл)

ЛАБОРАТОРНЫЙ БЛОК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ОТСЧЁТНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Выполнение лабораторных работ по электротехнике и электронике часто проходит с использованием стендов или электронных конструкторов, получающих питание от гальванических элементов (батареек) или аккумуляторов. Данные источники электропитания автономные и электробезопасные, но при этом имеют несколько серьёзных недостатков: малый срок службы, достаточно быстрое истощение электроэнергии, риск отключения лабораторного оборудования при проведении ответственного эксперимента, серьёзные проблемы с утилизацией гальванических элементов и аккумуляторов, отработавших свой ресурс. Для питания лабораторных стендов более рационально использовать стационарные блоки электропитания, работающие от электрической сети. Можно использовать серийно выпускаемые блоки электропитания, но интереснее предложить студентам самостоятельно изготовить блоки электропитания. Эта работа относительно несложная, но, тем не менее, развивает навыки самостоятельной работы и позволяет реализовать в университете проектное обучение по электротехническим дисциплинам.

В настоящее время в свободной продаже появились электронные компоненты очень высокой степени интеграции, которые позволяют самостоятельно изготовить лабораторный блок электропитания с достаточно широким спектром

технических характеристик и цифровым отчётом силы тока и напряжения. Рассмотрим один из вариантов реализации подобного блока питания.

Цель работы: создание лабораторного блока электропитания с регулируемыми значениями силы постоянного тока и напряжения, точной установкой заданных значений тока и напряжения, низким уровнем пульсаций выходного напряжения, возможностью регулировки тока и напряжения в процессе работы блока, наличие стабилизации и защиты по выходному току.

Первым этапом работы по созданию лабораторного блока электропитания стал подбор комплектующих электронных компонентов [1]:

1) преобразователь сетевого напряжения в постоянное напряжение (AC-DC преобразователь AC220 DC24 6A);

2) понижающий преобразователь постоянного напряжения (DC-DC преобразователь DC CC 9A 300Вт);

3) преобразователь постоянного напряжения с интерфейсом USB (DC-DC преобразователь DC6-24-DC5 3A Dual USB);

4) цифровой вольтметр-амперметр с встроенным микроконтроллером (вольтметр-амперметр 3 Разряда Red Blue);

5) переключатели режимов работы блока электропитания со светодиодными индикаторами и сетевой разъём с предохранителем (выключатель KCD1 AC 250В 6A и входной сетевой разъём EIC320 C14 с предохранителем);

6) клеммы для снятия выходного тока и напряжения (разъём «Банан сдвоенный» или аналоги – заменители);

7) регуляторы выходного тока и напряжения (потенциометры многооборотные 5 кОм и 10 кОм, рукоятки для потенциометров, крепёжные изделия);

8) корпус для блока электропитания (изготавливаем самостоятельно, и з подручных материалов).

Рассмотрим технические характеристики необходимых для блока электропитания преобразователей напряжения.

Характеристики преобразователя сетевого напряжения в постоянное напряжение (AC-DC преобразователь AC220 DC24 6A):

1) входное сетевое напряжение: 85…265 В;

2) частота входного сетевого напряжения: 50/60 Гц;

3) наибольшее значение выходного постоянного напряжения: 24 В;

4) диапазон регулирования значений выходного тока: 4…6 А;

5) выходная мощность преобразователя: 100 Вт;

6) защита от повышенного сетевого напряжения: есть;

7) защита от электрической перегрузки по току: есть.

Характеристики понижающего преобразователя постоянного напряжения (DC-DC преобразователь DC CC 9A 300Вт):

1) входное постоянное напряжение: 5…40 В;

2) выходное постоянное напряжение: 1,2…35 В;

3) выходной постоянный ток: 0,2…9 А.

Характеристики преобразователя постоянного напряжения с интерфейсом USB (DC-DC преобразователь DC6-24-DC5 3A Dual USB):

1) входное постоянное напряжение: 6…26 В;

2) выходное постоянное напряжение: 5,2 В;

3) выходной постоянный ток без теплоотвода: 2 А;

4) выходной постоянный ток с теплоотводом: 3 А.

Метрологические характеристики цифрового вольтметр-амперметра с встроенным микроконтроллером (вольтметр-амперметр 3 Разряда Red Blue):

1) рабочее напряжение: 4,5…30 В;

2) рабочий ток (макс): 20 мА;

3) диапазон измерения напряжения: 0…100 В;

4) диапазон измерения тока: 0…10 А;

5) порог чувствительности по напряжению: 0,1 В;

6) порог чувствительности по току: 0,01 А;

7) частота обновления показаний: 100 мс/раз;

8) погрешность измерения тока и напряжения: 1% (± 1 единица младшего разряда цифрового отсчётного устройства).

Испытания лабораторного блока электропитания на надёжность показали, что наименее надёжным элементом является микросхема ШИМ-контроллера CR6842S, который используется в схеме AC-DC преобразователя. Для повышения надёжности блока питания необходимо добавить в комплект запасных частей не менее трёх таких микросхем.

Электрическая принципиальная схема лабораторного блока электропитания показана на рисунке 1.

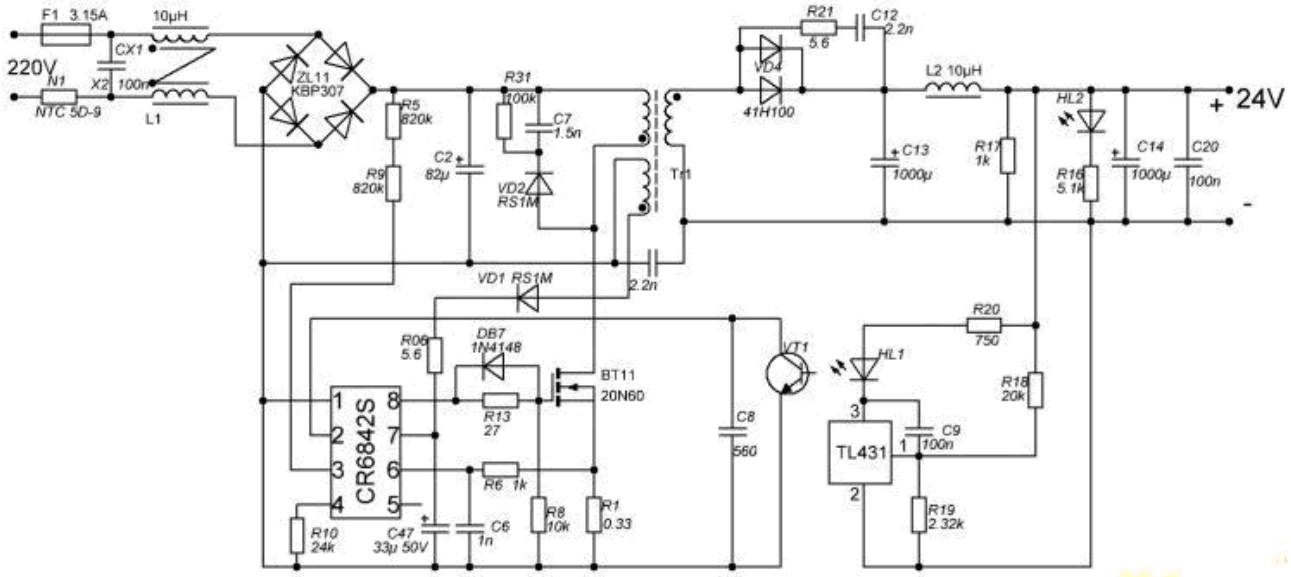


Рисунок 1 – Принципиальная схема лабораторного блока электропитания

Как видно из электрической принципиальной схемы, данный блок электропитания работает в импульсном режиме. Сетевое напряжение сначала выпрямляется, затем преобразуется в высокочастотные прямоугольные импульсы, которые понижаются импульсным трансформатором Т1. Управление процессом преобразования импульсного напряжения осуществляется ШИМ-контроллером

в виде микросхемы CR6842S. Стабилизация выходного напряжения осуществляется программируемым стабилитроном TL431, который используется в качества источника опорного напряжения в импульсных блоках электропитания персональных компьютеров и телевизоров [2].

Подводя итоги описанию предлагаемого лабораторного блока электропитания, отметим его достоинства и недостатки:

1) блок электропитания компактный и лёгкий. Не занимает много места ни на рабочем столе, ни на полках;

2) цифровой вольтметр-амперметр имеет достаточно малую погрешность;

3) имеется возможность установки значения силы постоянного тока без необходимости замыкания выходных клемм;

4) имеется возможность использования блока для зарядки аккумуляторов;

5) недостатки: блок электропитания не запоминает последний использованный разряд и через несколько секунд переключается на младший; также имеются трудности в переключении между индикаторами напряжения и тока.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лабораторный блок электропитания слаботочных электрических цепей постоянного тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chipgu.ru/viewtopic.php?t=4216.

2 Описание регулируемого стабилитрона TL431. Схемы включения, цоколевка, аналоги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.joyta.ru/4883-primenenie-reguliruemogo-stabilitrona-tl431/.

С.В. Ченчиков, студ.; рук. И.С. Полющенков, к.т.н., доцент.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТИРАЛЬНОЙ МАШИНОЙ

В докладе рассмотрена разработка логического контроллера стиральной машины, решаются задачи алгоритмизации процесса управления, составления и отладки программного обеспечения, а также задача моделирования.

Программируемые логические контроллеры – это базовые элементы автоматизации технологических процессов. Эти устройства нашли применение в различных областях техники, в том числе, в бытовой технике с целью улучшения её потребительских качеств.

Логический контроллер стиральной машины предназначен для согласованного управления различными элементами и подсистемами этого бытового устройства в соответствии с режимом стирки. Кроме того должна быть предусмотрена индикация и работа с органами управления (клавиатурой), а также функции обнаружения и обработки аварийных событий и неисправностей. Среди оборудования, примеряемого в стиральных машинах, имеются электрический двигатель для привода барабана, насос, нагревательный элемент, датчик температуры воды, датчик момента электрического двигателя, датчик напряжения, датчик уровня воды, электромагнитный клапан залива, датчик блокировки загрузочного люка, замок загрузочного люка, датчик уровня воды, датчик

скорости вращения барабана, индикаторы и органы управления. Для этого оборудования логический контроллер является системой управления верхнего уровня.

Каждое из перечисленных устройств, как правило, имеет свою локальную систему управления, которая решает частные задачи регулирования, контроля и обеспечения работы устройства в целом. Например, для привода барабана стиральной машины используется электрический двигатель, чаще всего асинхронный двигатель с частотным или векторным управлением. Система управления этого электропривода обеспечивает регулирования координат (скорости вращения и тока), а также формирует процессы пуска и торможения.

Конструктивно логический контроллер стиральной машины может быть реализован в виде микроконтроллера, дискретные и аналоговые входы и выходы которого с помощью специальных интерфейсов и согласующих элементов сопрягаются с силовыми цепями и измерительными цепями, коммутирующими устройствами, а также с линиями связи.

При разработке логического контроллера стиральной машины были решены следующие задачи:

1. Определены требования к электромеханическому, электротехническому и электронному оборудованию, которое используется в конструкции стиральной машины. Осуществлён выбор этого оборудования.

2. Составлены временные диаграммы работы и взаимодействия оборудования в различных режимах.

3. Составлены логические последовательности работы и взаимодействия оборудования при отработке различных рабочих режимов и аварийных ситуаций.

4. Осуществлено компьютерное моделирование разработанных алгоритмов управления.

Например, цикл стирки состоит из следующих этапов:

1. Осуществляется проверка готовности стиральной машины к работе, а именно, исправность оборудования и состояние блокировки загрузочного люка.

2. Включается электрический двигатель, скорость вращения которого контролируется датчиком скорости. Далее с помощью дозатора в бак подаётся смесь воды и моющего средства. Одновременно с этим в бак заливается холодная вода, количество которой зависит от программы стирки. Затем осуществляется замачивание белья.

3. Осуществляется нагрев воды нагревательным элементом. Этот процесс контролируется датчиком в зависимости от программы стирки. Затем происходит основной процесс стирки в соответствии с выбранной программой.

4. При завершении программы основного этапа стирки подаётся сигнал насосу, который откачивает воду из бака. Затем осуществляется отжим белья. Детектируется отсутствие воды в баке. Далее происходит набор воды и полоскание белья. Этот процесс повторяется несколько раз.

5. Осуществляется окончательный отжим на высоких оборотах. Одновременно с этим происходит откачивание воды.

6. После отжима формируется сигнал о завершении стирки и дверца загрузочного люка стиральной машины разблокируется.

Программирование логических контроллеров возможно на любых языках, предназначенных для разработки прикладного программного обеспечения микропроцессорной техники. При этом распространены и унифицированные языки для программирования логических контроллеров, которые соответствуют стандартам Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Для разработки и отладки программного обеспечения логических контроллеров имеются различные средства на базе персональных компьютеров, например, система *CodeSys*, которая кроме, собственно, средств разработки, отладки и эмулирования имеет обширные библиотеки типовых решений и стандартных обработчиков различных устройств. Кроме того, в системе компьютерной математики *Matlab* имеется пакет расширения *State Flow*, предназначенный для моделирования алгоритмов логического и ситуационного управления в форме диаграмм состояний. Пользовательский инструментарий *State Flow* по форме и функциональности аналогичен одному из стандартных языков программирования высокого уровня, который соответствует стандарту МЭК-61131-3. Поэтому компьютерные модели, составленные в *State Flow*, могут быть перенесены из *Matlab* в логический контроллер при незначительной адаптации и доработке. В качестве примера на рис.1 показана блок-схема алгоритма контроля исправности стиральной машины, реализованная с помощью *State Flow*.

Этот алгоритм состоит из трёх этапов и функционирует следующим образом. На первом этапе производится проверка выбора команды. Если никакой команды не выбрано, то система переходит в режим ожидания. В противном случае система переходит ко второму этапу – предварительной самодиагностике, в ходе которой проверяются работоспособность всех систем. Например, если вода не подается насосом, то блокируется дальнейшая работа, а на дисплей выводится соответствующий номер ошибки. Если же неисправностей нет, то на третьем этапе начинается работа выбранной пользователем программы.

Аналогично предварительной диагностике, во время отработки заданной пользователем программы идет диагностика устройств и подсистем стиральной машины. При отсутствии неисправностей работа осуществляется в штатном режиме.

Аналогичные модели в форме блок-схем составлены и для других временных и логических последовательностей и алгоритмов.

В компьютерной модели, составленной для разработки и отладки алгоритмов управления стиральной машиной, применены различные средства *Matlab*. Работа логического контроллера моделируется с помощью диаграмм *State Flow*, примером чего является блок-схема алгоритма диагностики, показанная на рис.1.

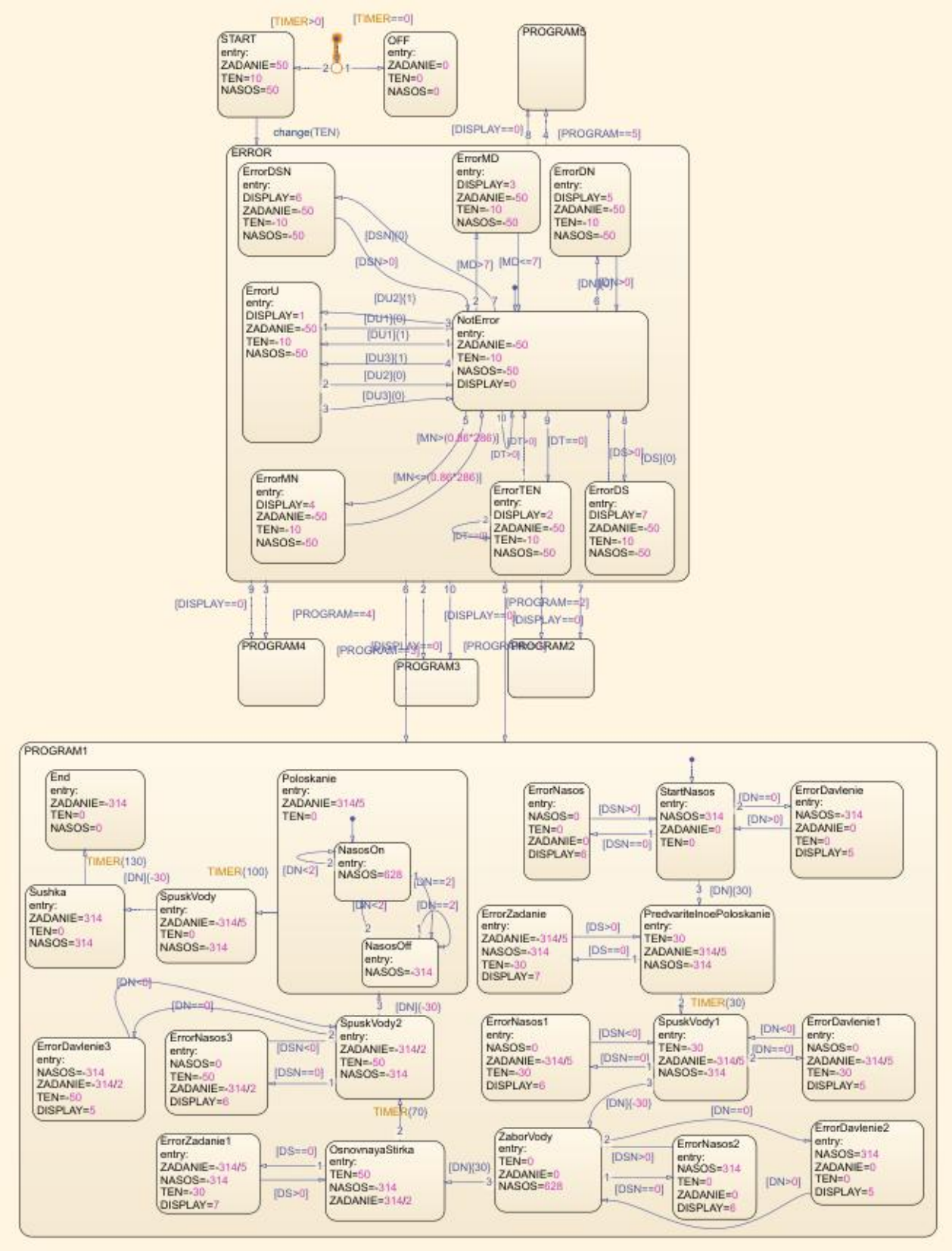


Рис.1. Блок-схема диагностики при управлении стиральной машиной

Электропривод барабана, насос, клапан, замки и другое оборудование в модели реализованы с помощью элементов и блоков *Simulink*. Это позволило не

только отслеживать логику работы контроллера в зависимости от состояния элементов стиральной машины, но и имитировать различные динамические процессы, возникающие при работе различных устройств и подсистем. Например, эта модель позволяет имитировать динамические процессы при управлении электроприводом барабана при его разгонах и торможениях, а также аварийные режимы его стопорения. Кроме того, в модели имитируются динамические процессы нагрева воды, а также динамические процессы при наборе и сливе воды.

Инструментарий *State Flow* кроме воспроизведения логических и временных последовательностей и зависимостей позволил решить и другие задачи алгоритмизации процесса управления:

1. Распределение программных и аппаратных ресурсов вычислительного устройства.

2. Задание и формирование временных интервалов повторения при выполнении подпрограмм и функций для своевременного обновления информации.

3. Назначение приоритетов выполнения подпрограмм и функций в зависимости от их значимости.

4. Оптимизация алгоритмов управления и программного обеспечения, которое их реализует.

С.В. Ченчиков, студ.; рук. И.С. Полющенков, к.т.н., доцент.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЛЕРА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОТИВОУГОННОЙ СИСТЕМЫ

В докладе рассмотрена модернизация механической противоугонной системы для автотранспортных средств с помощью применения электронного контроллера. Описан принцип работы модернизированной системы, алгоритм работы контроллера и преимущества модернизированной системы по сравнению с аналогами.

Современные электронные противоугонные системы имеют ряд недостатков: различные электронные ключи и устройства, блокирующие движение, могут быть взломаны, так как существуют технические средства, которые выводят из строя системы защиты. Механические же противоугонные системы имеют хорошую надежность, так как они выполнены из тугоплавких сплавов, что усложняет процесс их демонтажа. Но и они имеют ограниченную надёжность.

Данная модернизация нацелена на устранение уязвимостей механической противоугонной системы путём использования электронного контроллера.

Основным элементом механической противоугонной системы является механический блокиратор, схема которого показана на рис.1. Также имеются другие конструктивные элементы:

1. Группа контактов, которые замыкаются специальным ключом при повороте.

2. Резервный источник питания.

3. Датчики давления на подвеске автомобиля.

4. Электронный гироскоп.

5. Контроллер, который производит анализ различных параметров работы устройства.

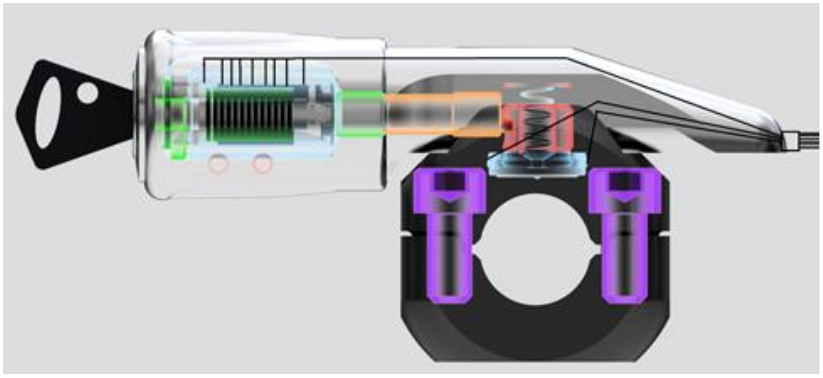


Рис.1. Конструкция механического блокиратора

Электронный контроллер обеспечивает функционирование алгоритма работы противоугонной системы, который и составляет содержание модернизации. Последовательность работы модернизированной системы с электронным контроллером следующая. При установке блокиратора в паз происходит замыкание контрольной линии контроллера, что приводит к включению системы. Далее контроллер находится в режиме ожидания и сообщает о рабочем состоянии оператору, который предоставляется службой безопасности.

Связь с оператором производится с помощью *GSM*-маяка и спутниковой сети связи, например, *Iridium*. Так как для подавления спутниковых сигналов необходимо учесть не только частотный диапазон сигналов и их энергетический уровень (мощность), но и направление на спутник, то использование простых средств подавления радиосигналов не приведёт к нарушению работоспособности противоугонной системы. Аналогично уже имеющимся противоугонным системам, оператор фиксирует наличие сигнала от автомобиля.

Пропажа сигнала с *GSM*-маяка или спутниковой связи является нештатным состоянием, что предписывает выполнение определённых действий оператору – связаться с владельцем автомобиля и, если владелец знает о возможности потери сигнала в месте нахождения (парковки) автомобиля, то тревога отменяется. Это может иметь место, например, вне городской черты, где отсутствует сигнал *GSM*.

Отключение системы происходит при замыкании всех контактов в блокираторе и на входы контроллера подаются сигналы определённых частот и форм. В случае вторжения, если хотя бы одна контрольная линия контроллера будет разомкнута, например, удален блокиратор из паза или отключен шлейф от блокиратора, или контроллер не получает контрольные сигналы, то будет

включен режим тревоги. При этом оператору и владельцу придет сообщение о вторжении в автомобиль и включается звуковой сигнал (сирена). Также при этом возможна автоматическая блокировка дверей.

Так как злоумышленники могут погрузить автомобиль на эвакуатор, в системе предусмотрен гироскопа, который определяет положение автомобиля. При включении системы контроллер фиксирует положение автомобиля по сигналу гироскопа. Если машину попытаются транспортировать, то её положение в пространстве изменится и контроллер фиксирует данное изменение и будет включен режим тревоги. В случае подъёма автомобиля без изменения угла положения в пространстве, изменение его высоты фиксируется датчиками давления, установленными на подвеске.

Контроллер всё время своей работы производит измерение напряжения штатного автомобильного аккумулятора. При попытке злоумышленниками отключить систему защиты путем вскрытия капота и отключения аккумулятора для отключения систем защиты, будет включен резервный источник питания. Так как контроллер фиксирует наличие напряжения в штатной системе электропитания, то будет включен режим тревоги. Также в петлях крышки капота устанавливаются контакты, размыкающиеся при его открытии. Если во включенном состоянии противоугонной системы будет поднят капот, то контроллер зафиксирует это и будет включена система защиты.

Система должна регистрировать события, происходящие с контролируемыми параметрами, в форме журнала. Так в случае, если вторжение в автомобиль имело место, но преступник не смог угнать его, то все изменения будут занесены в журнал событий для того, чтобы владелец или автосервис могли произвести осмотр транспортного средства на наличие неисправностей, так как их возникновение в случае попытки угона велико.

Нельзя отменять факт, что водители могут произвести парковку в неположенном месте. В следствие этого правоохранительные органы имеют право на эвакуацию транспортного средства. Чтобы избежать возникновения ложной тревоги, представители дорожно-патрульной службы сообщают оператору об эвакуации, в результате чего при появлении сигнал тревоги оператор отменяет его. Аналогичную возможность имеет владелец транспортного средства при поломке автомобиля. Так как преступники могут воспользоваться этими возможностями, оператор у представителя органов спрашивает имя, номер удостоверения и проверяет в базе, должен ли находится данный сотрудник на дежурстве. В случае несоответствия какого-нибудь фактора, оператор сообщает бригаде о вторжении. Если же преступник попробует выдать себя за владельца автомобиля, оператор требует от него номер договора о предоставлении услуг безопасности или индивидуальный номер, который владелец должен отправить в СМС-сообщении. Если владелец транспортного средства имеет страховку, покрывающую всю или большую часть затрат на покупку нового автомобиля, можно сделать противоугонную систему без сирены. Это позволит проследить за угнанным автомобилем.

Для отладки алгоритма работы контроллера была составлена модель противоугонной системы автомобиля в системе компьютерной математики *Matlab* с использованием его расширений *Simulink* и *State Flow*, как показано на рис.2.

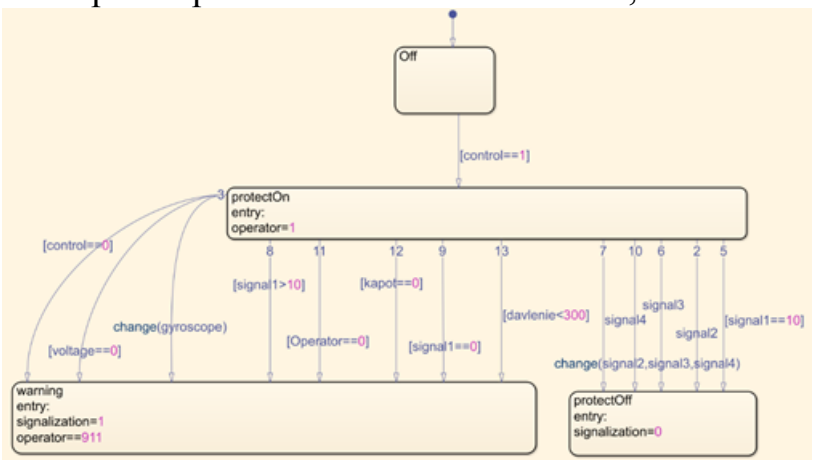


Рис.2. Блок-схема работы контроллера в *State Flow*

Осуществлено моделирование работы противоугонной системы при возникновении различных ситуаций, предусмотренных в алгоритме работы контроллера.

Е.И. Шарин, студ.; рук. П.Е. Данилов, д.т.н., профессор.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕРНИЗАЦИЯ КРАНОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Электрические краны — основные электроприводные установки циклического действия большой грузоподъемности. Отличительной особенностью для башенных кранов является высокое расположение опорного шарнира стрелы на верхней части башни и, соответственно, высокое расположение стрелы. Электропривод кранов, как правило, многодвигательный. Отдельные механизмы кранов имеют самостоятельный электропривод и выполняют подъем и опускание груза, передвижение грузовой тележки и т. д.

Подъемный механизм должен работать с большим диапазоном регулирования скорости, так как наряду с высокими скоростями подъема требуются меньшие скорости при опускании груза. Все механизмы крана рассчитывают на быстрый разгон и торможение для повышения производительности. Вместе с тем, пуск механизмов должен быть плавным.

Для крановых механизмов наиболее широкое применение нашли асинхронные электроприводы с недорогой и привычной для обслуживания релейно-контакторной системой реостатного управления, хотя они уже не удовлетворяют современным требованиям.

Бурное развитие асинхронных электроприводов с частотным управлением послужило основой для разработки частотных электроприводов для крановых

механизмов в том числе. Однако их массовое внедрение затруднено рядом факторов:

– преобразователи частоты формируют напряжение на двигателе с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при которой амплитуда напряжения на клеммах двигателя достигает 1500В, что способствует ускоренному старению и пробою изоляции стандартных крановых двигателей раньше срока их службы;

– требуется установка изолированных подшипников в двигателях, которые исключали бы протекание через них наводимых токов, в противном случае происходит разогрев колец подшипников и их заклинивание.

Эти факторы тем сильнее проявляются, чем больше мощность двигателя, и при мощности свыше 18 кВт необходимо применять уже специальные двигатели с изолированными подшипниками и изоляцией более высокого класса, что весьма существенно увеличивает стоимость электропривода.

В связи с этим современные башенные краны оборудуются частотными электроприводами с серийными крановыми двигателями, в основном, для механизмов небольшой мощности: передвижения, поворота и др.

При этом, для уменьшения стоимости крана, используют, как правило, более простые схемы, не предусматривающие возможность рекуперации энергии в сеть в тормозных режимах (при торможении, спуске груза), что ведет к увеличению расхода электроэнергии в процессе эксплуатации крана.

Для подъемных механизмов частотный электропривод оборудуется специальными двигателями (при мощности свыше 18 кВт) и выполняется по желанию заказчика, так как его серийное применение существенно увеличивает стоимость крана и снижает его конкурентоспособность на рынке.

Возникает необходимость разработки для крановых установок более дешевых электроприводов, использующих отечественное электрооборудование и не уступающих по своим регулировочным свойствам частотным электроприводам зарубежных фирм.

Весьма перспективным в этом отношении является асинхронный электропривод с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора, обеспечивающий в замкнутых системах с различными обратными связями необходимое регулирование координат электропривода. Как показали последние исследования, полная передача управления асинхронным электроприводом импульсному регулятору при сохранении за инвертором лишь функции инвертирования энергии в сеть расширяет возможности и область применения таких электроприводов. [1]

На рис. 1-3 представлены предположительные схемы асинхронного электропривода с применением импульсного регулятора ИР, где UZ - мостовой выпрямитель, VD - отсекающий высокочастотный диод, UV - общий инвертор с LC-фильтром и трансформатором Т. Формирование желаемых механических характеристик и переходных процессов осуществляется с помощью системы автоматического регулирования (САР) и сигналов различных обратных связей $u_{ос}$ по регулируемым координатам.

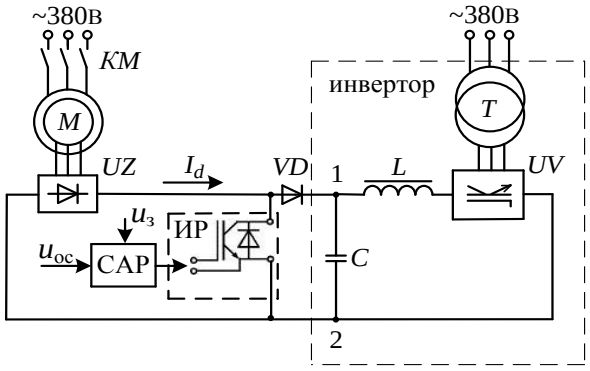


Рис. 1 - Электропривод грузовой тележки или подъема стрелы

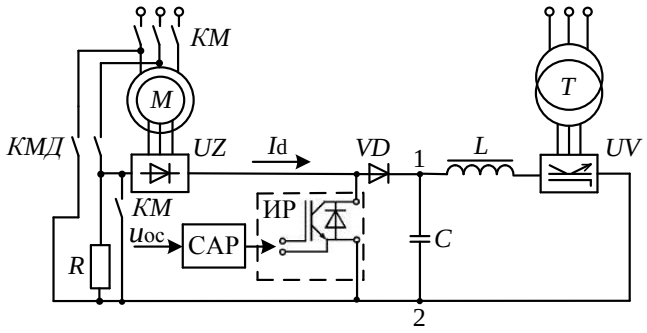


Рис. 2 – Электропривод грузовой лебедки

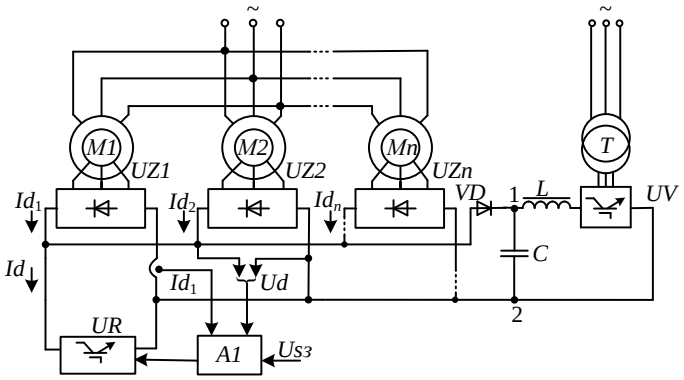


Рис. 3 – Электроприводу передвижения или поворота крана

В своей работе по исследованию способов оптимизации управления асинхронным электроприводом передвижения тележки башенного крана я пользовался схемой рис. 1 и выяснил, что на самом деле данный способ управления позволяет существенно улучшить регулировочные свойства и упростить схему электропривода. Это объясняется получением жестких механических характеристик электропривода без применения тахогенератора благодаря наличию выпрямителя в роторе. Инвертор так же работает с максимальным значением ЭДС, практически не оказывая влияния на работу импульсного регулятора, так как его задачей является только рекуперация энергии в сеть.

Каждая из этих схем электроприводов имеет свой инвертор, т.е. практически так же, как и при частотно-управляемом крановом асинхронном электроприводе, когда каждый двигатель должен управляться от отдельного преобразователя со своим инвертором. Поскольку в рассматриваемых схемах работа импульсного регулятора практически не связана с работой инвертора, а за ин-

вертором сохраняется лишь функция инвертирования энергии в сеть, то, разумеется, что для выполнения этой функции всеми асинхронными электроприводами с импульсным регулятором в роторной цепи, достаточно одного общего инвертора (рис. 4). При этом зажимы 1,2 инвертора превращаются в своеобразные общие шины, к которым, согласно рассмотренным схемам, присоединяются роторные цепи всех асинхронных электроприводов с импульсным регулятором.

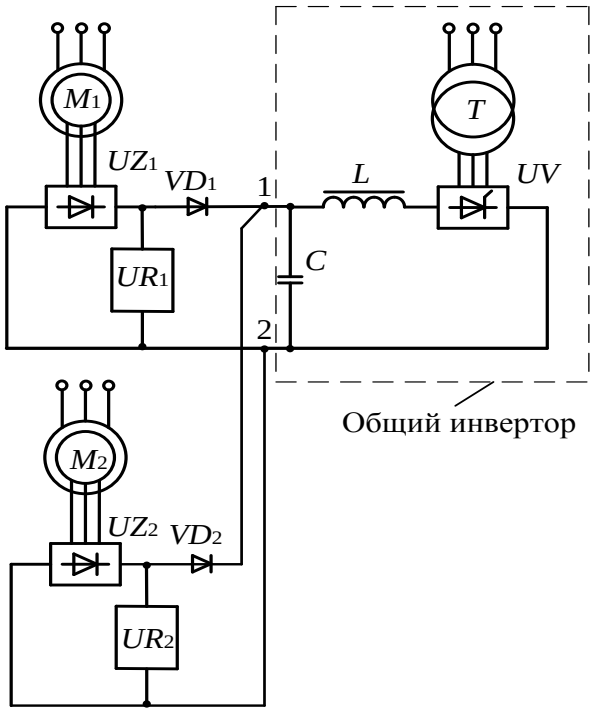


Рис. 4 - Электроприводы с общим инвертором для двух или нескольких механизмов

Таким образом, разработанный асинхронный электропривод с импульсным регулятором и инвертором в цепи выпрямленного тока ротора в полной мере удовлетворяет требованиям, предъявляемым к электроприводу главных механизмов крановых установок, в том числе и к электроприводу передвижения тележки башенного крана. Вместе с тем, он гораздо проще и дешевле, имеет лучшие энергетические и массо-габаритные показатели в сравнении с используемыми и внедряемыми асинхронными электроприводами с частотным управлением.

Литература

1. Данилов П.Е. Теория электропривода. [Текст]: монография / П.Е. Данилов, В.А. Барышников, В.В. Рожков. – Смоленск, 2014. 348 с.
2. П. Е. Данилов, Основы теории электропривода. Часть вторая. – LAP LAMBERT Academic Publishing RU, 2018г.
3. Данилов П.Е., Барышников В.А., Шабентов В.О. Динамические режимы асинхронных электроприводов с импульсным регулятором в цепи выпрямленного тока ротора. – М.: Издательство МЭИ, 1990. – 96 с.
4. https://studfiles.net/preview/6217055/page:2/ (Дата обращения 12.03.19)
5. https://stydopedia.ru/5x824.html (Дата обращения 12.03.2019)

К.Е. Шпентенков, студент; рук. С.П. Курилин, д.т.н., проф.
(филиал ФГБОУ "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Одним из важнейших приоритетов развития России на ближайшие 5-7 лет является освоение Арктики, что позволит укрепить военно-стратегическое положение государства на северных границах. В Российской Федерации Арктику рассматривают, в первую очередь, в качестве стратегического плацдарма, приоритета в области безопасности, а затем, как источник углеводородного сырья после 2050 года в случае, если мировые цены на нефть выйдут за пределы 90-100 долларов за баррель.

Выделяют следующие цели России в процессе освоения Арктики:

- защита северных границ в Арктике имеет существенное значение для разработки месторождений полезных ископаемых, научных исследований и для безопасности центральных регионов страны;
- добыча энергоносителей - недра арктических широт содержат до 15% мировых запасов нефти и до 30% природного газа;
- наблюдения за изменением климата - по оценкам специалистов к 2030 году большая часть льдов арктических территорий растает, что даст возможность открыть новые перспективы для судоходства и хозяйственной деятельности в Арктике.

Следует отметить, что в Арктической зоне Российской Федерации остро проявляется проблема энергетического обеспечения жизнедеятельности, так как углеводородное топливо, как правило, доставляется в Арктику с помощью авиации или морским транспортом с ограниченным сроком навигации. Осуществление таких поставок является ненадежным и дорогим. Поэтому разработка автономных энергетических модулей арктического применения, которые включают возобновляемые источники энергии, является актуальной.

В настоящее время основной акцент в освоении Севера делается на ограниченной диверсификации производства, позволяющей новым предприятиям органически вписаться в существующую структуру производства. Главным образом, это гидроэлектростанции, в энергии которых нуждаются добывающие комбинаты, а также предприятия промышленного комплекса.

На сухопутных территориях Арктической зоны России имеется большое количество рек, что дает возможность использовать наплавные проточные микро и мини-ГЭС, способные обеспечить электроэнергией малой мощности жилые и нежилые строения, объекты социально-бытового назначения и полевого базирования. Особенностью рек данного региона является малая скорость течения водного потока (0,5-4 м/с), что обуславливает необходимость применения для выработки электроэнергии низко оборотистых турбин, например, пропеллерные турбины (турбина Каплана).

Считается перспективным направлением разработка синхронных генераторов с постоянными магнитами и с выходным электронным блоком (активный выпрямитель - инвертор напряжения). Данные генераторы имеют удовлетворительные массогабаритные и динамические характеристики, а также высокий КПД, которые позволяют приводному агрегату работать при различных частотах вращения. Системы с подобными генераторами используются в генерирующих установках, имеющих структуру «синхронный генератор – выпрямитель напряжения – инвертор напряжения» (системы СГ-ВН-ИН).

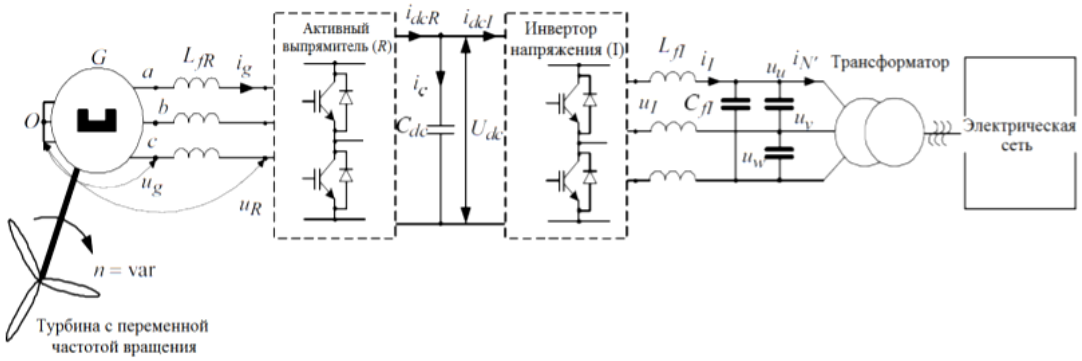


Рис. 1. Схема силовой части системы СГ-ВН-ИН

Использование электрогенераторов с постоянными магнитами обладает рядом преимуществ, которые включают в себя:

- получение высоких значений продольной компоненты магнитной индукции в области электромеханического преобразования энергии (в воздушном зазоре);
- бесконтактность и отсутствие узлов, которые требуют трудоемкое обслуживание. Отсутствие скользящих электрических контактов существенно повышает их ресурс и надежность по сравнению с электрическими генераторами постоянного тока или синхронными генераторами с явно выраженной обмоткой на роторе;
- высокий КПД преобразования механической энергии в электрическую;
- высокие удельные показатели по развиваемой мощности на единицу активной мощности на единицу активной массы и на единицу активного объема;
- большую перегрузочную способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более).

Гидрогенераторы выполняются с вертикальным валом, в верхней части которого располагается генератор, а в нижней - гидротурбина. Мощность гидротурбины и ее частота вращения определяются величиной напора и расхода воды. Гидрогенераторы при больших мощностях изготавливаются на 60-125 об/мин, то есть они являются тихоходными электрическими машинами, что, в свою очередь, подразумевает большие размеры и массу генератора.

Размеры электрической машины определяются допустимым и желательным уровнем электромагнитных нагрузок [1]. Линейную токовую нагрузку и плот-

ность тока определяют из условия получения оптимального генератора. В качестве целевой функции при оптимизации принимают стоимость активных материалов $C_{ак}$: магнитов, обмоточной меди и электротехнической стали. Критерием оптимальности является минимум стоимости при заданных значениях КПД и перегрева обмотки. В свою очередь степень использования активного объема электрической машины характеризуется постоянной Арнольда, пропорциональной объему расточки статора, который приходится на единицу мощности.

Чтобы сконструировать низкооборотный электрический генератор, необходимо использовать кольцевой магнит с максимально возможной остаточной индукцией. Генератор должен иметь большой внешний диаметр и ширину, а также максимально возможное число полюсов. Благодаря изменению диаметра обмоточного провода подбирается число витков катушек так, чтобы выходное напряжение генератора находилось в требуемом диапазоне при заданных частотах вращения. Целесообразно также использовать конструкцию ротора с переменно-полюсной намагниченностью. Такая конструкция особенно рациональна при применении высококоэрцитивных магнитов на основе редкоземельных материалов типа NdFeB (фениборовые магниты), которые могут быть нечувствительны к величине воздушного зазора в магнитной цепи [2]. Главной особенностью конструкции с тангенциальным намагничиванием является возможность получить индукции в зазоре, которая может иногда превышать остаточную магнитную индукцию постоянных магнитов. Это объясняется тем, что поток, входящий в сектор через боковые торцы двух смежных магнитов за счет непрерывности линий магнитного поля, равен потоку, который выходит из сектора через его границу, площадь которой может быть существенно меньше удвоенной площади бокового торца магнита.

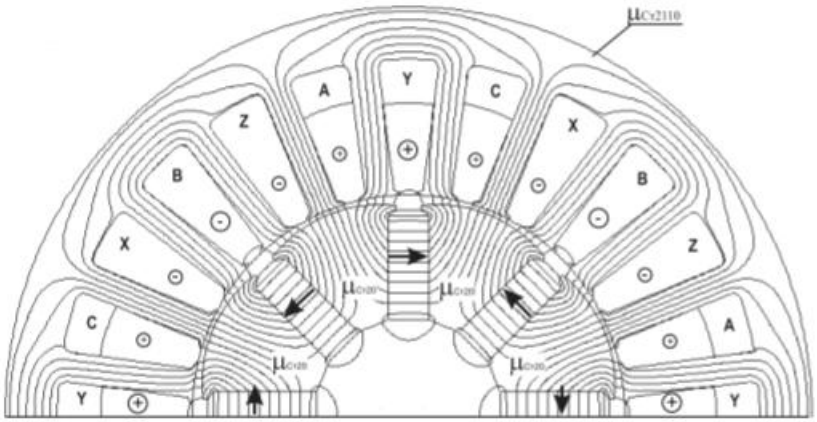


Рис. 2. Картина магнитного поля электрогенератора

Электромагнитный момент можно увеличить за счет изменения конфигурации магнитной системы статора. Так в конфигурации статора с увеличенной высотой пазов за счет значительной коэрцитивной силы постоянных магнитов поле «вытягивается» вдоль зубцов, что позволяет обеспечить высокую линейную нагрузку, а значит и увеличение момента. Для снижения пульсаций электромагнитного момента целесообразно применять профилирование ферро-

магнитных полюсов на роторе по определенному закону или выполнять скос полюсов на роторе [3]. Также можно на основе результатов компьютерного моделирования выбрать и применить магнитные клинья с определенной величиной магнитной проницаемости в области пазов.

Таким образом, характерными особенностями для электрических генераторов с постоянными магнитами является специфичность конструкций, многообразие типов магнитных систем, что можно объяснить специальными условиями их применения. Следует отметить, что массогабаритные характеристики генераторов прямым образом зависят от его конструкции и величин электромагнитных нагрузок. Неудачно спроектированный генератор может иметь существенную массу и габариты, даже, несмотря на применение современных постоянных магнитов.

Вследствие этого необходимо выработать рекомендации для дальнейшего проектирования синхронного генератора в магистерской диссертации. Некоторые из них приведены ниже:

- исходя из постоянной Арнольда, при заданной мощности необходимо выбрать размеры статора генератора;
- пазы статора должны быть увеличенной высоты для реализации токовой нагрузки;
- необходимо выбрать магниты на основе сплава неодим-железо-бор для системы возбуждения;
- является необходимым использовать конструкцию ротора с переменно-полюсной намагниченностью.

Литература

1. Гольдберг О.Д., Макаров Л.Н., Хелемская С.П. Инженерное проектирование электрических машин: учебник. – М.: ИД «Бастет», 2016. – 528 с.
2. Чернышова А.С., Проскуренко С.С., Сергеев В.Д. К вопросу оптимизации синхронного генератора с постоянными магнитами. «Волгодонские чтения. Электротехника. Радиоэлектроника и приборостроение», Владивосток ДВГТУ, 2000.
3. Гребеников В.В. Электрогенераторы с постоянными магнитами для ветроустановок и микро-ГЭС // Наука - научно-технический прогресс в гидроэнергетике. 2011. № 1. С. 43-38.

А.М. Шурохайлов, С.В. Германов, маг; рук. Ю.М. Божин, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ОБМОТОК В ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На большинстве мобильных автономных объектов используются системы электроснабжения постоянного тока, позволяющие работать с химическими и другими батареями постоянного тока

Основным же источником электроэнергии на таких объектах как правило являются ВГПТ (вентильные генераторы постоянного тока с силовым п/п вы-

прямительным блоком). К таким генераторам предъявляется ряд общих и специальных технических требований, одним из которых является требование минимума пульсаций выпрямленного напряжения.

Наиболее широко используемые ВТПГ с трёхфазной мостовой схемой выпрямления имеет коэффициент пульсаций не менее

$$К_п = \frac{2}{m^2 n^2 - 1} = 0{,}057$$

т.е. 5,7% от среднего значения выпрямленного напряжения. Это часто не удовлетворяет потребностям электрооборудования на мобильном объекте. Поэтому используют разные способы уменьшения пульсаций, основным из которых является увеличение фазности генератора и выпрямителя.

Известна эквивалентная 12-ти фазная схема ВГ с двумя 3-х фазными обмотками на статоре, сдвинутыми в пространстве на 30 эл.градусов.

В такой схеме теоретический коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения $К_п$ =0,014.

Тем более что реальный $К_п$ много выше из-за дополнительных искажений формы напряжений (рис.1.)

(рисунок)

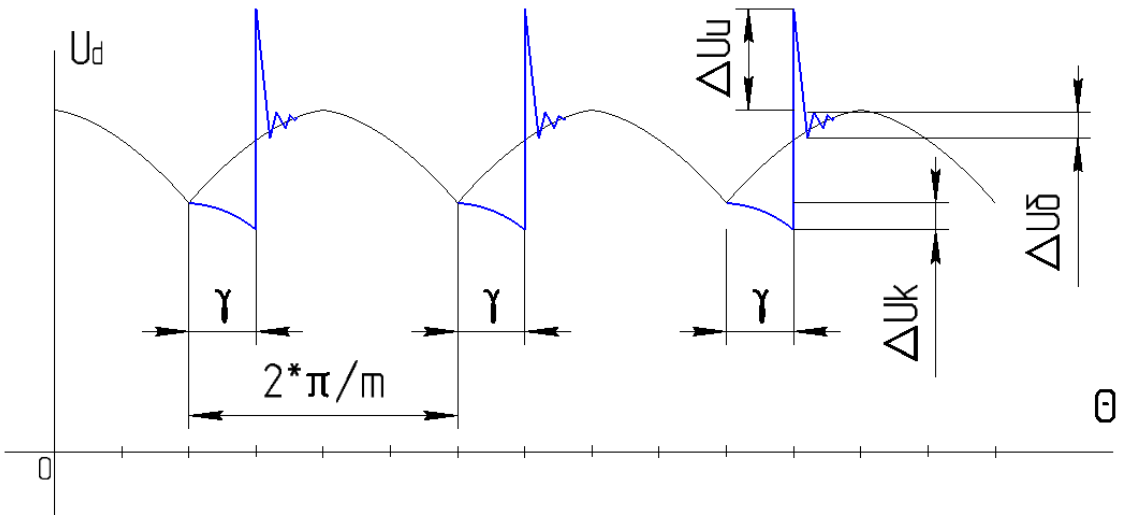


Рис.1. Форма выпрямленного напряжения ВТ.

Здесь:

$$\gamma = arrcos(1 - \frac{2I_d X_k}{\sqrt{6}U_d}$$

γ -угол коммутации.

$\Delta U_б$ - базовая составляющая пульсаций, определяемая передачей переменных составляющих фазных напряжений на интервале проводимости вентилей.

ΔU_k- коммутационная составляющая пульсаций.

$\Delta U_и$-импульсная составляющая пульсаций, возникающая из-за конечного времени залипания вентилей.

Выпрямители можно соединять последовательно, тогда напряжение на выходе удваивается, что позволяет уменьшить число видов фазных обмоток и соответственно уменьшить величину угла коммутации, при параллельном соединении выпрямителей удваивается ток нагрузки при меньшем напряжении. Однако в этом случае требуется подключать нагрузку и выпрямитель через уравнительный реактор.

Если же на статоре ВГ выполнить комбинированную обмотку, то машина может обойтись одним мостовым выпрямителем и близким по величине к эквивалентной 12-фазной схеме коэффициентом пульсаций (Рис.2.)

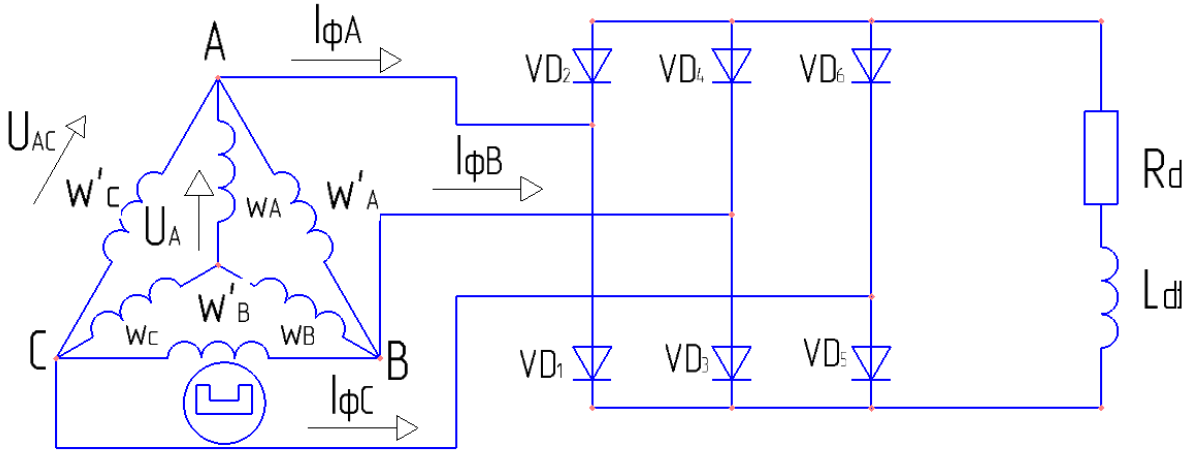


Рис. 2. Схема ВГ с комбинированной обмоткой ротора.

Обмотка генератора состоит из 2х частей, одна соединена звездой, другая треугольником, объединённых в точках ABC. Число витков катушек фаз W_A в 1,73 раз больше, чем у фаз W_F[1]. При этом фазные обмотки генератора смещены в пространстве на 30 эл. градусов. На рис.3. приведены временные диаграммы напряжений и токов соответствующих фаз.

Вентили катодной группы выпрямителя (1,3,5) вступают в работу, когда потенциалы их анодов становятся наиболее положительными (в т.т.1,2.3), а выпрямленные напряжения на интервалах проводимости вентилей определяются поочередно напряжениями обмоток, соединенных в звезду и 5 треугольник, т.е. их максимумы оказываются сдвинутыми во времени на 30 градусов.

Если рассматривать работу такого ВГ на интервале коммутации, то следует ожидать уменьшения угла коммутации ɣ вследствие уменьшения индуктивного сопротивления коммутации, а следовательно, уменьшения коммутационной составляющей пульсаций выпрямленного напряжения.

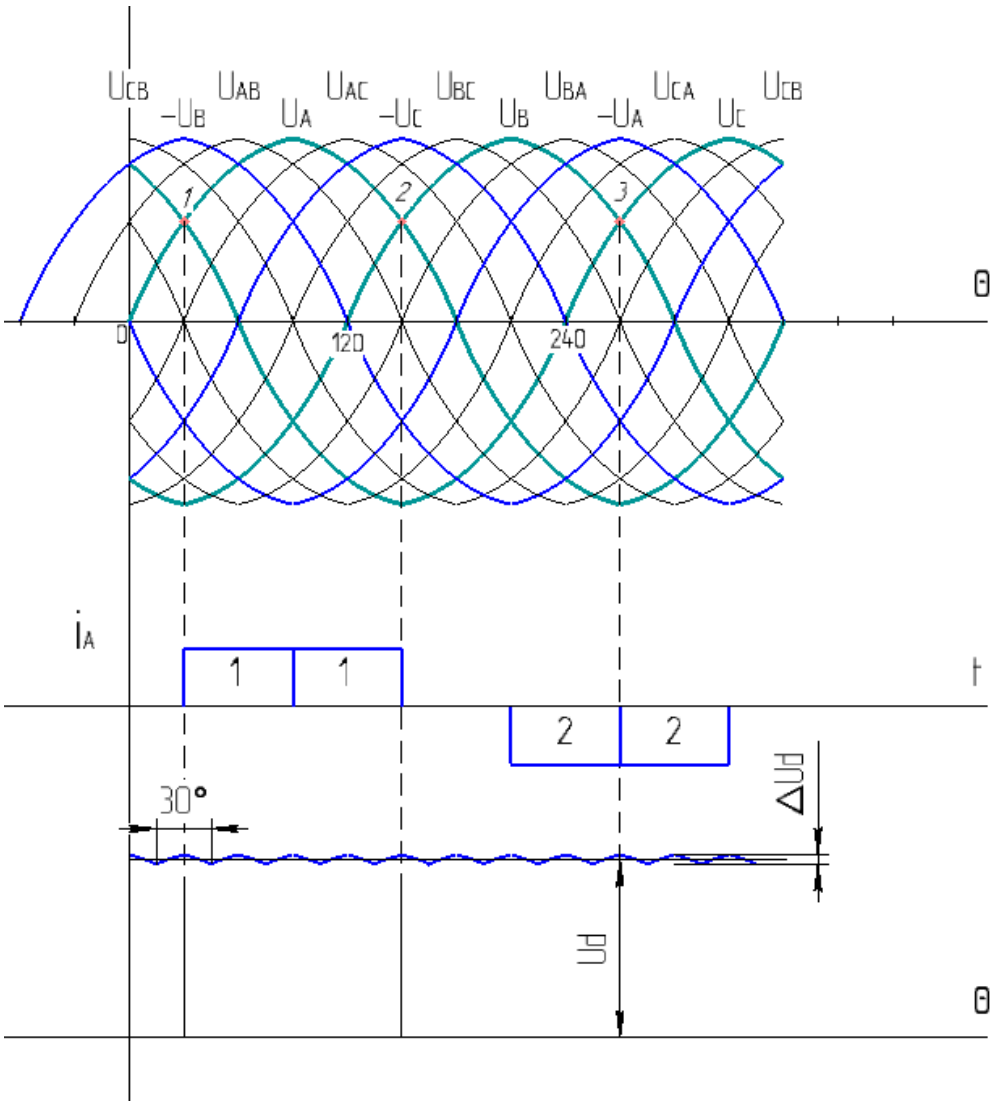


Рис. 3. Кривые напряжений и токов

Литература

1.Вентильные генераторы. Божин Ю.М. М.: Моск.энерг.ин-т,Москва,1986

2.Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины .М.: Высш.шк.,1990.

В.С. Яшин, асп.; рук. А.С. Коваль, к.т.н., доц.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ТАХОГРАММЫ ТОРМОЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАССОВЫХ ЛИФТОВ

В настоящее время в частотно регулируемых электроприводах, применяемых в массовых лифтах, используются профили интенсивности разгона и торможения с заранее заданными параметрами позволяющие изменять частоту питающего напряжения по детерминированному закону. Однако, в связи с растущими требованиями по комфортности и производительности лифтов, существует необходимость в разработке новых и совершенствовании уже имеющихся методов и алгоритмов управления.

Предлагается устройство и алгоритм, реализующие управляемое торможение кабины лифта в зависимости от ее положения с контролируемыми в реальном времени скоростью и ускорением кабины. Применение данного алгоритма позволит увеличить быстродействие без превышения допустимого ускорения по условиям комфортности.

Устройство, реализующее способ управляемого торможения, содержит:

- двигатель 1 (например, асинхронный с к.з. ротором или синхронный с постоянными магнитами) главного привода лифта;
- силовой преобразователь 2, через который запитывается двигатель 1;
- датчик скорости 3, расположенный на валу двигателя 1;
- канатоведущий шкив 4, на котором на канатах подвешены кабина 5 лифта и противовес 6;
- датчик 7 скорости и ускорения кабины 5 лифта, закрепленный жестко на кабине 5 лифта и подключенный к вычислительному устройству 9 (например, программируемый логический контроллер), к которому так же подключен датчик 8 положения кабины в шахте.

Преобразователь 2, который вместе с двигателем 1 и датчиком 3 образуют замкнутую систему регулирования главного привода, подключен к вычислительному устройству, которое, в свою очередь, обеспечивает задаваемую скорость движения лифта и режим управляемого торможении двигателя 1

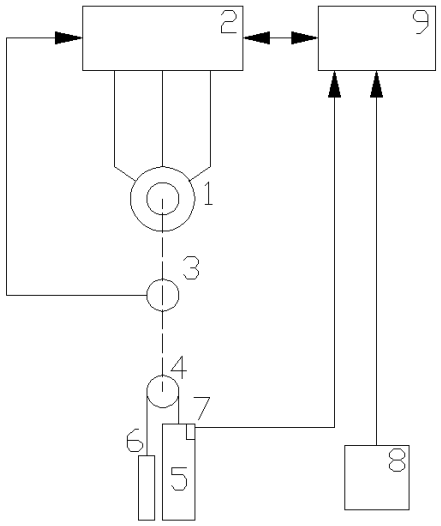


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода лифта, реализующая изменение скорости торможения кабины в зависимости от проходимого ей пути.

Способ регулирования скорости торможении кабины лифта осуществляется следующим образом (Рис. 1, 2).

До начала движении кабины лифта 5 в памяти вычислительного устройства 9 записан путь торможения до этажа останова $S_{нач.}$, задаваемый расположением в шахте датчика положения 8, величина допустимого по условиям комфортности поездки в кабине лифта 5 ускорения $a_{доп}$, величина требуемой точности оста-

новки кабины лифта 5 на этаже *dS* а также период дискретизации *T* вычисления одного шага изменения скорости при торможении кабины лифта 5.

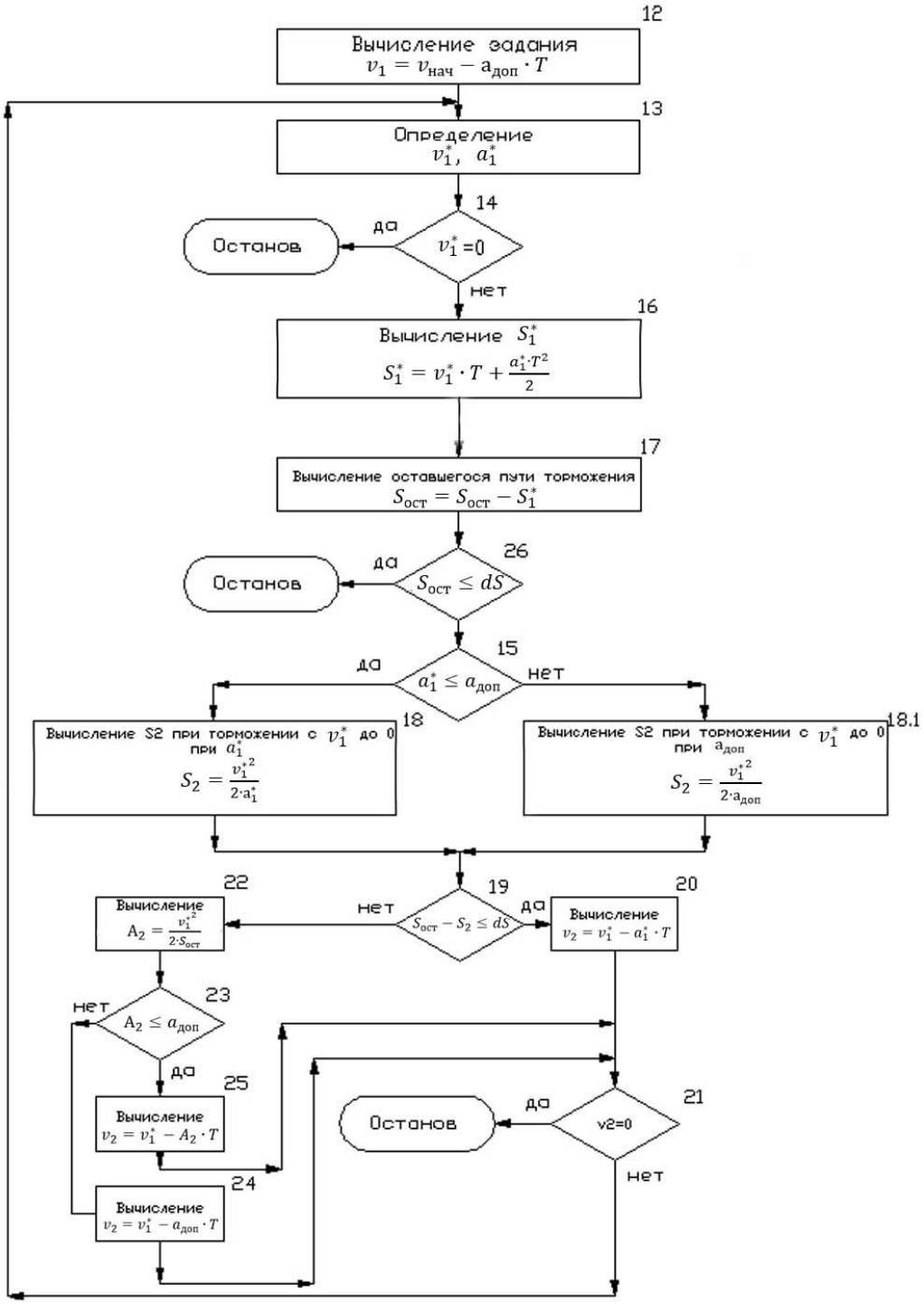


Рисунок 2 – Алгоритм управляемого торможения

После начала движения, при подходе к заданному этажу кабины лифта 5 и поступлении команды на торможение от датчика положения 8, вычислительное устройство 9 по известному допустимому по условиям комфортности поездки в лифте ускорению $a_{доп}$ с начала торможения по соотношению

$$v_1 = v_{нач} - a_{доп} \cdot T \qquad (1)$$

вычисляет скорость v_1, которую должна будет иметь кабина лифта 5 в конце периода дискретизации при торможении с допустимым ускорением $a_{доп}$. (рис. 2, блок 12). Выход вычислительного устройства формирует сигнал задания скорости при торможении кабины лифта на период дискретизации *T*.

В конце периода дискретизации *T* вычислительное устройство 9 определяет реальную текущую скорость v_1^* и ускорение a_1^* кабины лифта 5 в процессе торможения по датчику 7 скорости и ускорения (рис. 2, блок 13).

Если измеренная скорость v_1^* отличается от нуля (рис. 2, блок 14, то по данным преобразователя 2 вычислительное устройство 9 определяет путь S_1^*, пройденный кабиной лифта 5 в процессе торможения за период дискретизации *T* (рис. 2, блок 16).

Сравнением пути, проходимого кабиной лифта за период дискретизации S_1^*, и всего пути торможения до этажа останова $S_{нач}$ вычислительное устройство 9 определяет оставшийся путь торможения до этажа останова $S_{ост}$. (рис. 2, блок 17).

По величине измеренной скорости v_1^* и ускорения a_1^*, которыми обладает кабина лифта 5 в конце периода дискретизации *T*. и считая торможение кабины лифта 5 в первом приближении равнопеременным движением с постоянным ускорением и равным измеренному датчиком скорости и ускорения a_1^*, по соотношению

$$S_2 = \frac{v_1^{*2}}{2 \cdot a_1^*} \qquad (2)$$

вычислительное устройство 9 определяет путь торможения S_2 кабины лифта 5 с измеренной скорости v_1^* до нуля (рис. 2, блок 18 или 18.1).

Если измеренное ускорение a_1^* (рис. 2, блок 15) превышает $a_{доп}$., то в расчете пути S_2 (рис. 2, блок 18) принимается ускорение $a_{доп}$. Рассчитанный путь S_2 сравнивается с оставшимся реальным путем торможения $S_{ост}$. до этажа останова (рис. 2, блок 19).

Если разность вычисленного и реально оставшегося пути торможения укладывается в допустимую точность останова и измеренное ускорение a_1^* , по которому рассчитывался путь торможения, не превышает допустимого ускорения $a_{доп}$, то в следующий период дискретизации *T* продолжается процесс торможения с этим ускорением, и это ускорение берется для расчета значения скорости в конце следующего периода дискретизации (рис. 2, блок 20) как сигнала задания скорости кабины лифта 5 в процессе торможения.

Если разность вычисленного и реально оставшегося пути торможения не укладывается в допустимую, то по величине оставшегося реального пути торможения *dS* и величине измеренной скорости v_1^* в конце рассматриваемого периода дискретизации *T* вычисляется необходимое ускорение торможения A_2 по выражению

$$A_2 = \frac{v_1^{*2}}{2 \cdot S_{ост}} \quad (3)$$

для случая торможения с измеренной скорости v_1^* до нуля (рис. 2, блок 22). Это ускорение сравнивается с допустимым ускорением $a_{доп}$, (рис. 2, блок 23), и если рассчитанное ускорение больше допустимого по условиям комфортности, то для расчета скорости для задания на следующий период торможения используется допустимое ускорение $a_{доп}$ (рис. 2, блок 24). Если рассчитанное ускорение A_2 не превышает $a_{доп}$, то значение скорости v_2 рассчитывается по ускорению A_2 (рис. 2, блок 25).

И так процесс формирования сигнала задания скорости торможения кабины лифта 5 в зависимости от пройденного пути торможения продолжается, пока не выполнится условие, при котором разность вычисленного и реально оставшегося пути торможения в один из периодов дискретизации не будет укладываться в допустимую точность останова на этаже и измеренное ускорение при торможении не будет превышать допустимого значения по условиям комфортности. Если разность вычисленного и реально оставшегося пути торможения укладывается в допустимую точность останова и измеренное ускорение, по которому рассчитывался путь торможения, не превышает допустимого ускорения по условиям комфортной поездки, то в следующий период дискретизации продолжается процесс торможения с этим ускорением, и это ускорение берется для расчета значения скорости как сигнала задания скорости в процессе торможения и, таким образом, обеспечивается уменьшение скорости задания на торможение до нуля одновременно с уменьшением оставшегося пути торможения для кабины лифта до значения, определяемого допустимой точностью останова на этаже.

Если в процессе измерения скорости v_1^* (рис. 2, блок 14) и при расчете скорости v_2 (рис. 2, блок 21) скорость принимает нулевое значение, то процесс торможения прекращается и лифт останавливается.

Таким образом, в процессе торможения управляемого в функции оставшегося до этажа останова пути обеспечивается торможение с максимальным ускорением на уровне допустимого по условиям комфортности, что обеспечивает уменьшение времени процесса торможения и, соответственно, уменьшение суммарного времени поездки, что увеличивает производительность работы лифта при сохранении комфорта.

Моделирование работы алгоритма выполним в математическом пакете MathCad 15.0 с применением функций программирования.

Зададимся следующими начальными условиями:

- T = 0.1 с – Период дискретизации
- dS = 1 см = 0.01 м – Необходимая точность останова
- $v_{нач}$ = 1.5 м/с – Скорость движения кабины лифта до остановки
- $a_{доп}$ = –1.5 м/с^2 – Допустимое по условиям комфортности ускорение
- $S_{нач}$ = 1 м – Расстояние от датчика положения кабины до места останова

По полученным значениям построим графики:

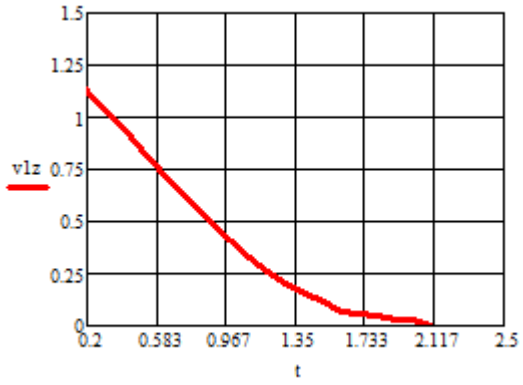


Рисунок 3 – График изменения скорости в процессе торможения

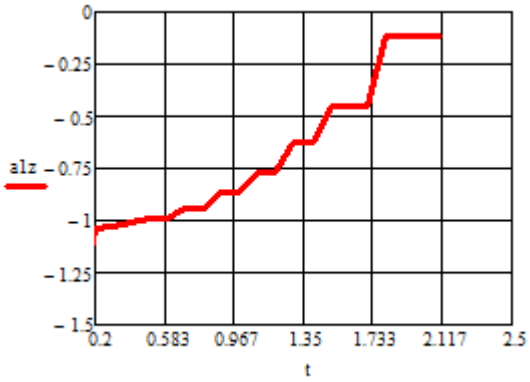


Рисунок 4 – График изменения ускорения в процессе торможения

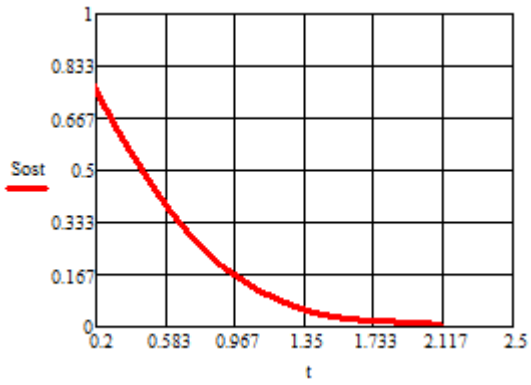


Рисунок 5 – График изменения расстояния в процессе торможения

Литература

3. Патент US 004527662, 1985
4. Патент BY 18515 C1 2014.08.30
5. Краснов И.Ю., Гусев Н.В., Ланграф С.В., Ляпушкин С.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЛАВНОГО РАЗГОНА И ТОРМОЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ/ Томский политехнический университет. Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/obespechenie-plavnogo-razgona-i-tormozheniya-promyshlennyh-mehanizmov, Дата доступа 14.02.2019

СЕКЦИЯ 3
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

А.А. Алексеева, студ.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ GPSS

Повышенное внимание к информационной безопасности (ИБ) руководства компаний различных форм собственности обусловлено стремительной цифровизацией всех сфер общественной жизни. В 2017 году правительство приняло программу развития «Цифровая экономика Российской Федерации», что способствовало усилению процессов перевода системы экономических отношений на использование цифровых информационно-коммуникационных технологий.

Новая среда взаимоотношений субъектов экономической деятельности требует внедрения новых надежных инструментов обеспечения безопасности информационных процессов. Особенно остро эта повестка дня стоит для задач обеспечения процессов безопасности для персональных данных. В соответствии с Федеральным законом № 13-ФЗ от 07.02.2016 ужесточена административная ответственность за нарушение законодательства о защите персональных данных и дифференцирован состав административных правонарушений. С 1 июля 2017 года ответственность за несоблюдение правил о персональных данных, установленных Федеральным законом № 152-ФЗ от 27.07.2006, повысилась в разы – максимальный размер штрафа для юридических лиц составит 75 тыс. руб. (было 10 тыс. руб.).

Для эффективного противодействия инцидентам информационной безопасности в организации необходимо сформировать соответствующий угрозам профиль защиты (protection profile) – независимую от реализации совокупность требований безопасности для некоторой категории изделий ИТ, отвечающая специфическим запросам потребителя [1]. В профиль защиты включается описание совокупности задач защиты, функциональных требований, требований адекватности и их обоснование.

Успешное формирование профиля возможно при получении достоверных и максимально полных сведений о текущем состоянии информационно безопасности (ИБ) в организации, кадастре потенциально опасных инцидентов, рисков, что возможно сделать с помощью аудита ИБ [2]. Целью проведения аудита ИБ является создание документа, который содержит детальную информацию о выявленных уязвимостях объекта аудита, критичности найденных уязвимостях, последствие в случае реализации угроз, рекомендации по устранению уязвимостей и ряд других данных. Одним из инструментов получения указанных сведений является привлечение методов статистики для обработки уже имеющейся

информации, а также математических алгоритмов их обработки, позволяющих проводить анализ угроз ИБ с точки зрения их дальнейшего прогноза.

Известно достаточно большое количество математических моделей, применяемых при анализе ИБ: модели систем дискреционного разграничения доступа, модель HRU, модель распространения прав доступа Take-Grant, модели систем мандатного разграничения доступа, классическая модель Белла–ЛаПадула, в основе ряда моделей лежит теория автоматов [3]. Все отмеченные модели имеют свои условия применения и нацелены на решение конкретных задач анализа угроз ИБ и имеют определенные ограничения по использованию. Исследование инцидентов ИБ по своей сути относится к обратным задачам, для которых характерна необходимость делать какие-либо суждения о причинах наблюдаемого состояния системы [4]. Такие задачи некорректны по своей природе и их решение часто разрабатывается для конкретного случая и не имеет общности алгоритма. В этой связи особенно актуальным становится поиск универсальных методов анализа состояния ИБ в организациях.

В настоящей работе предлагается метод оценки угроз ИБ на основе построения имитационной модели графа перехода состояний в среде GPSS. Среда разработки имитационных моделей GPSS (англ. General Purpose Simulation System) пользуется заслуженной популярностью у многих исследователей благодаря большому набору функциональных блоков, позволяющих моделировать практически все процессы реального мира, которые могут быть описаны в терминах теории массового обслуживания.

Авторами предложен метод решения задачи количественной оценки состояния ИБ в организации на основе анализа графа перехода состояний. Наличие статистической информации о частоте проявления тех или иных инцидентов ИБ (в том числе связанных с влиянием вредоносных программ) позволяет вычислить интенсивности их проявления. Соответственно, состояние ИБ будет определяться тем, какой вредоносной программой была атакована информационная система или объект, а также степенью ее «вредоносности» для организации (может определяться в денежном эквиваленте, или каком либо другом виде стоимостного проецирования ущерба).

Если все потоки событий, переводящие систему из одного состояния ИБ в другое, являются простейшими (пуассоновскими), то процесс функционирования системы есть марковский случайный процесс с дискретными состояниями и задается системой дифференциальных уравнений Колмогорова, решая которые одним из численных методов можно наблюдать динамику вероятностей и определить их установившиеся значения. Недостатком такого подхода выступает то, что при большом числе состояний решение системы дифференциальных уравнений становится весьма трудоемким. Кроме того, когда потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, не являются пуассоновскими, что часто встречается на практике, то данный метод не применим.

Преодолеть возникающую проблему расчета вероятностей состояний можно применением имитационного решения поставленной задачи. Ее реализация не требует составления дифференциальных уравнений и их решения, а

основывается лишь на воспроизведении самого процесса функционирования системы (перехода состояний). Увеличение числа состояний здесь не приводит к существенному увеличению сложности модели, а требует лишь дополнительных блоков, описывающих эти новые состояния.

Интенсивность потоков событий, переводящих ИБ из одного состояния в другое, а также количество этих состояний определяется на основе обработки статистики инцидентов ИБ – частоте их появления и градации видов инцидентов, количество которых также определяется задачами, стоящими перед аудиторами и руководством компании.

Рассмотрим предлагаемый подход на примере. Пусть состояние ИБ без наличия инцидентов обозначено G_1, а состояния G_0 и G_2 характеризуют наличие каких либо инцидентов, а граф перехода состояний имеет вид, показанный на рисунке 1.

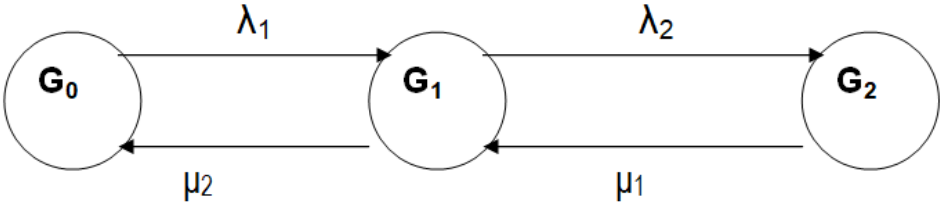


Рисунок 1 – Граф перехода состояний

Интенсивности переходов системы из состояния в состояние λ1, λ2, μ1 и μ2 можно получить на основе обработки статистической информации.

Для рассматриваемого примера программа на языке GPSS приведена на рисунке 2 (были заданы интенсивности $\lambda_1=9\cdot10^{-4}$ час$^{-1}$, $\lambda_2 = 9\cdot10^{-4}$ час$^{-1}$, $\mu_1 =2\cdot10^{-4}$ час$^{-1}$, $\mu_2=10^{-4}$ час$^{-1}$). В данной программе один введенный транзакт перемещается по состояниям, задерживаясь в каждом состоянии на случайный интервал времени, который каждый раз разыгрывается с помощью встроенной в GPSS функции exponential. Если потоки не пуассоновские, то достаточно поменять эту функцию на необходимую. Результаты работы программы выдаются в виде стандартного отчета, фрагмент которого показан на рисунке 3.

Столбец UTIL стандартного отчета отражает коэффициенты использования соответствующих устройств (FACILITY). Под устройствами в данном случае подразумеваются состояния. Значения этих коэффициентов совпадают с значениями предельных вероятностей ($P_0(\infty)=0.0198$, $P_1(\infty)=0.178$ и $P_2(\infty)=0.802$), так как по смыслу коэффициенты отражают долю времени пребывания транзакта в данном состоянии от общего времени моделирования.

Количественной характеристикой состояния ИБ является коэффициент готовности $k_г$, который в данном случае будет равен: $k_г = P_1(\infty)=0{,}178$.

Для отображения динамики изменения вероятностей состояний в процессе выполнения программы среда GPSS предоставляет возможность вывода графиков интересующих системных атрибутов блоков (в данном случае коэффициентов занятости устройств, атрибут которых обозначается fr$<имя устройства>).

```
clear
generate 100000000                          ;задаем временной интервал работы
terminate 1                                 ;модели 100000000 ед. времени
generate ,,,1                               ; ввели в модель 1 транзакт
U_G_0 seize G_0                             ; заняли состояние 0
    advance (exponential(1,0,1/0.0009))     ; задержка на случайное время
    release G_0                             ; освободили состояние 0
U_G_1 seize G_1                             ; заняли состояние 1
    savevalue 1,(exponential(2,0,1/0.0009)) ; запись в ячейку x1 случайного времени
    savevalue 2,(exponential(4,0,1/0.0001)) ; запись в ячейку x2 случайного времени
    test LE x2,x1,rkd                       ; если x2>x1 переход на метку rkd
    advance x2                              ;задержка на содержимое ячейки 2
    release G_1                             ; освободили состояние 1
    transfer,U_G_0                          ; переход на метку U_G_0
rkd   advance x1                            ;задержка на случайное время
    release G_1                             ; освободили состояние 0
    seize G_2                               ; заняли состояние 2
    advance (exponential(3,0,1/0.0002))     ;задержка на случайное время
    release G_2                             ; освободили состояние 2
    transfer,U_G_1                          ; переход на метку U_G_1
          start 1                           ; запуск моделирования
```

Рисунок 2 – Программа расчета вероятностей состояний

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME
G_0	1794	0.020	1124.140
G_1	17747	0.178	1000.709
G_2	15953	0.802	5028.754

Рисунок 3 – Фрагмент стандартного отчета модели перехода состояний

Для более наглядного отображения области переходного процесса в программе было уменьшено время моделирования до 800 000. График динамики вероятностей, представлен на рисунке 4.

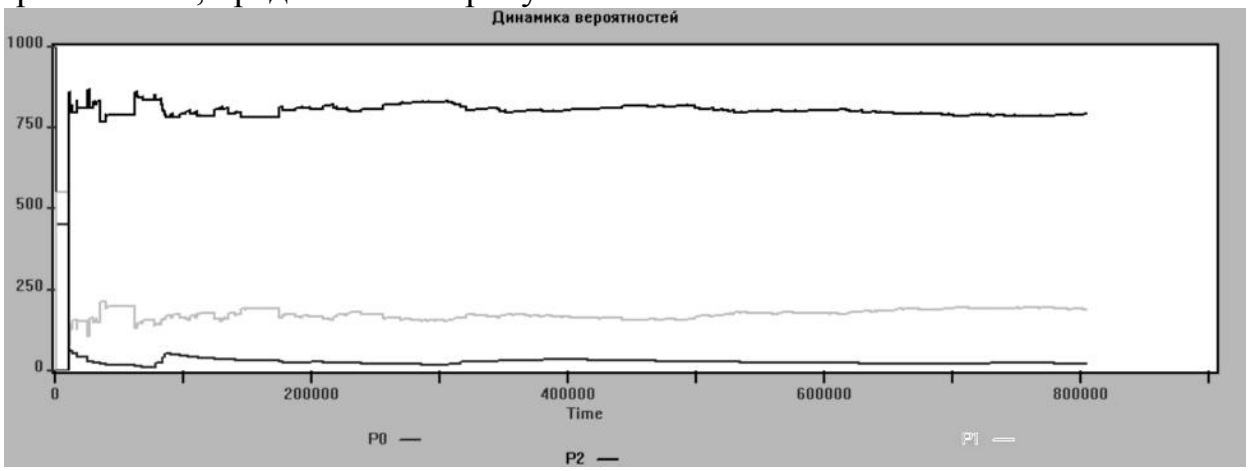


Рисунок 4 – График динамики вероятностей

Анализ графиков на рисунке 4 позволяет сделать вывод, что переходный процесс заканчивается относительно быстро и система переходит в установившийся режим с $k_г = P_1(\infty)=0{,}178$, что является низким уровнем, если под состоянием мы условились понимать уровень ИБ. Это позволяет сделать вывод о необходимости применения каких-либо мер для повышения безопасности ин-

формационной инфраструктуры предприятия. Повторные модельные эксперименты позволят оценивать новые решения и в конечном итоге добиться приемлемого уровня ИБ.

Предложенный подход может найти применение для количественной оценки уровня ИБ при проведении аудита состояния ИБ в организациях различного профиля и стать инструментом анализа предлагаемых инструментов и процедур повышения уровня их информационной защищенности.

Литература

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1–2008. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 1. Введение и общая модель / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-15408-1-2008 / (дата обращения 09.12.2018).
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 27007–2014 – "СМИБ. Руководства по аудиту систем менеджмента информационной безопасности"/ Электронный фонд правовой и нормативно- технической документации. [электронный ресурс]. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200112881 (дата обращения 09.12.2018).
3. Девянин П.Н. Модели безопасности компьютерных систем. Управление доступом и информационными потоками / М. : Горячая Линия - Телеком, 2012. –321 с.
4. Пучков А.Ю. Решение инструментальных обратных задач с использованием нечеткого фильтра/Материалы VI всерос. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во: ПНИПУ. Т.1. 2017. 441 с. С: 321-322.

И.А. Артёмов, А.Ю. Мельк, студенты; рук. М.А. Свириденкова , к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON И C#

В настоящее время IT-технологии стали неотъемлемой частью множества сфер человеческой жизни. Информационные технологии внедряются повсеместно, начиная от сферы хозяйственной, заканчивая производственной. Благодаря данным технологиям усовершенствуются и облегчаются различные производственные процессы. Как правило, IT-специалисты разрабатывают сложное программное обеспечение, для выполнения тех или иных задач фирм, предприятий и крупных компаний.

В основе таких программ помимо пользовательского интерфейса лежит множество вычислительных алгоритмов, представленных в виде функций и процедур. Это может быть обработка входящих данных, их анализ, а также получение обработанных выходных значений. Всё это разрабатывается с помощью языков программирования (ЯП), которых в настоящее время появилось огромное множество. Каждый ЯП имеет свои особенности, свою среду разработки, а так же и свои ограничения.

Цель данной работы – проанализировать два популярных языка программирования Python и C#. Работу можно разбить на две следующие составляющие:

- теоретическая часть, где будут рассмотрены функциональные возможности каждого ЯП по отдельности;

- практическая часть, содержащая данные о проведенных сравнительных экспериментах.

В результате по полученным данным будет сделан обобщающий вывод о характеристиках языков и степени их различия.

На данный момент Python является одним из современных языков программирования, который стремительно завоевывает популярность. Python – многоцелевой высокоуровневый язык программирования [2].

Его дизайн позволяет писать хорошо читаемый код. В Python реализована поддержка различных парадигм программирования. Язык достаточно прост, так как является интерпретируемым. Существует три известных среды исполнения для Python: Jython, CPython и Python.Net [2].

Второе важное достоинство – универсальность. Python является кросс-платформенным языком и может работать с любой операционной системой. Данный язык используют в web-приложениях, для системных задач в серверах, массивах данных и так далее.

Из недостатков Python выделяет его недостаточное быстродействие, что и будет проверено экспериментальным путем.

В настоящий момент язык программирования C# один из самых мощных, активно развивающихся языков в IT сфере. С его помощью пишутся разнообразные приложения: от калькулятора до крупных веб-порталов и веб сервисов. C# - компилируемый язык, использующий JIT-компиляцию (англ. Just-in-time compilation, компиляция «на лету») в машинный код. Компиляцию можно разделить на два этапа[3]:

1) Первоначальная.

Этот этап подразумевает преобразование кода программы в промежуточный язык – CIL (англ. Common Intermediate Language), так называемый «высокоуровневый ассемблер». На этом этапе мы получаем сборку - исполняемый файл .exe или библиотеку .dll, если реализуем приложение или библиотеку соответственно.

2) Во время выполнения.

При запуске приложения происходит его JIT-компиляция в машинный код под конкретный процессор, впоследствии на котором он и будет выполняться.

Этот тип компиляции подразумевает то, что компиляция производится не всего кода, а только той части, к которой идет обращение в текущий момент. После компиляции эти части приложения будут храниться до завершения его работы.

Стоит также обратить внимание на то, что компиляция будет происходить не исходного кода, а кода, полученного на первоначальном этапе компиляции, т.е. кода CIL, что даёт преимущество в быстродействии над интерпретируемыми языками программирования в плане выполнения приложения, но тратится дополнительное время на первоначальную компиляцию.

Для проведения сравнительных экспериментов были выбраны два алгоритма: алгоритм пузырьковой сортировки и алгоритм быстрой сортировки. Исследования проводились на основе блок-схем этих алгоритмов.

Создадим приложение на C#, с помощью которого сгенерируем файлы данных для того, чтобы исходные данные обоих языков были одинаковые и шансы на «победу» уравнялись:

Исходный код на C#:

```
        using System;
using System.IO;
namespace Создать_Файл
{
   class Program
   {
      static void Main(string[] args)
      {
        Console.Write("Введите кол-во элементов: ");     //Выводим сообщение в консоль;
         //Считываем введенное пользователем значение с консоли;
         int Количество = Convert.ToInt32(Console.ReadLine());
         //Инициализируем переменную для генерации случайных значений;
         Random случ = new Random();
         //Открываем файл на запись, если файла с именем "Data" нет то создастся новый;
         StreamWriter файл = new StreamWriter("Data.txt");
        for(int i = 0; i < Количество; i++)    /Записываем в файл случайные значения;
         {
            файл.Write( случ.Next(10000000) );
            файл.WriteLine();
         }
         //Закрываем файл. Это обязательно, иначе записанные значения не сохранятся;
         файл.Close();
      }
   }
}
```

С помощью данного приложения сгенерируем четыре файла: Data1тыс.txt, Data10тыс.txt, Data50тыс.txt Data100тыс.txt, содержащие тысячу, десять, пятьдесят и сто тысяч случайных значений соответственно.

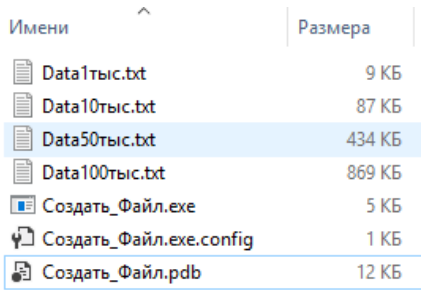


Рисунок 1 – Вид программы со сгенерированными файлами

Создадим приложение для сортировки сгенерированных данных:

Исходный код на C#:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
namespace Сортировка
{
   class Program
   {
      static void Main(string[] args)
      {
         //Инициализируем переменную для точного измерения времени исполнения кода;
         System.Diagnostics.Stopwatch stopwatch = new System.Diagnostics.Stopwatch();
         List<int> массив = new List<int>();          //Инициализируем динамический массив;
         StreamReader файл = new StreamReader("Data.txt");          //Открываем файл "Data.txt"
для чтения;
         while(!файл.EndOfStream)          //Пока не считали все значения, добавляем из в массив;
         {
            string Строка = файл.ReadLine();
            массив.Add(Convert.ToInt32(Строка));
         }
         файл.Close();          //Закрываем файл;
         stopwatch.Start();          //Начинаем отсчитывать время;
         bool sorted = false;
         while (!sorted)          //Сортировка пузырьком;
         {
            sorted = true;
            for (int j = 0; j < массив.Count - 1; j++)
            {
               if (массив[j] < массив[j + 1])
               {
                  int k;
                  k = массив[j + 1];
                  массив[j + 1] = массив[j];
                  массив[j] = k;
                  sorted = false;
               }
            }
         }
         //массив.Sort(); quick сортировка
         stopwatch.Stop();          //Заканчиваем отсчитывать время;
         //Выводим результат в консоль;
         Console.Write( "Затраченное время: " + ( (double)stopwatch.ElapsedMilliseconds / ( 1000 )
).ToString() + " сек" );
         Console.ReadKey();          //Ждём нажатия клавиши пользователя;
      }
   }}
```

Так как значений у нас заведомо больше 16, то справедливо можно использовать метод list.sort(), поскольку при данном условии будет применяться quick сортировка [1].

Создадим функции для 2 сортировок на Python:

```
# Функция сортировки пузырьком
```

```
def bubble_sort(mylist):
    # Var
    last_item = len(mylist) - 1 # Последний элемент массива.

    for z in range(0, last_item):# Последняя итерация в for не исполняется.
        for x in range(0,last_item - z):
        # for x in range(0,last_item - z):  <- Улучш. сортировка. Не доходим до Last_Item.
            if mylist[x] > mylist[x+1]: # Если 1-й элемент больше 2-го...
              mylist[x], mylist[x+1] = mylist[x+1], mylist[x] # Меняем элементы местами.
    return mylist
# Быстрая сортировка
def quick_sort(mylist):
  if len(mylist) <= 1: # Если элемент 1 в массиве. Ничего не сортируем. Логично.
      return mylist
  else:
      q = random.choice(mylist) #Выбираем произвольный элемент для сравнения
      less = [] # Подмассив элементов массива, которые меньше выбранного элемента
      greater = [] # Подмассив элементов массива, которые больше выбранного элемента
      equal = [] # Подмассив элементов массива, которые равны выбранному элементу
      for n in mylist:
          if n < q:
              less.append(n)
          elif n > q:
              greater.append(n)
          else:
              equal.append(n)
      return quick_sort(less) + equal + quick_sort(greater) #Соединяем подмассивы в 1
большой отсортированный массив
```

Получили выходные данные, которые представлены на рисунке 2.

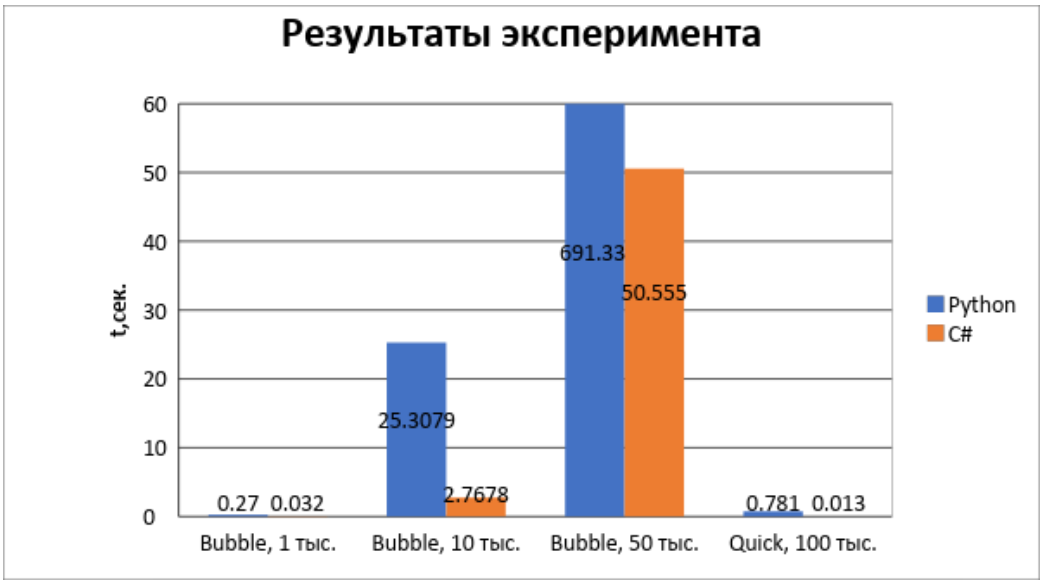


Рисунок 2 – Результаты эксперимента

В результате получили, что программа сортировки, разработанная на C# , обрабатывает значения в среднем в 11,3 раза быстрее при сортировке пузырьком

и в 60 раз быстрее при quick сортировке, чем программа, разработанная на Python.

Таким образом, в ходе проведенных исследований были рассмотрены функциональные возможности двух языков программирования Python и C#. В практической части данной работы были поставлены эксперименты по анализу быстродействия алгоритмов пузырьковой и быстрой сортировки различных массивов случайных значений (от 1 тыс. до 100 тыс.).

Литература

1. List<T>.Sort Method [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/api/system.collections.generic.list-1.sort?view=netcore-3.0

2. Любанович Билл, Простой Python. Современный стиль программирования. – СПб.: Питер, 2016. – 480 с.

3. Структура программы [Электронный ресурс]: Режим доступа: https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/tour-of-csharp/program-structure

Т.В. Безверхая, студент; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСТРОЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

В настоящее время особую роль в организации и в частности автоматизации производственного процесса играют системы управления жизненным циклом (Product Lifecycle Management, PLM), которые являются результатом формирования и развития PDM-систем (управление данными об изделии). PDM-технологии, появившиеся в начале 1990-х гг. и окончательно сформировавшиеся примерно к 2010 году, существенно расширились по степени охвата и по мощности предлагаемых решений, что предопределило необходимость разработки систем управления жизненным циклом (ЖЦ). Особенно актуальным является использование PLM-систем в промышленном комплексе, так как именно в крупных производственных организациях ярко выражены проблемы интеграции и хранения больших объемов данных. Исследование агенства TAdviser за 2015-2018 гг. [1] показало, что подрядчиками успешного внедрения PLM-систем стало более 30 компаний в следующих отраслях: машиностроение и приборостроение, военно-промышленных комплекс (ВПК), электротехника и микроэлектроника, энергетика, строительство и промышленность строительных материалов, что отражает особое значение PLM-похода в производственной отрасли. PLM-систем повышают производительность труда, снижают издержки, обеспечивают данными АСУП, ERP и другие системы и в целом эффективно сопровождают интеллектуальную собственность хозяйствующего субъекта.

Жизненный цикл объекта (продукта, изделия) включает совокупность процессов, которые осуществляются с момента определения потребностей рынка и общества в определенном продукте до его утилизации непосредственно

после эксплуатации. В качестве объекта системы рассматриваются различные корабли, автомобили, самолеты, ракеты, компьютерные сети, а информация об объекте является цифровым аналогом этого объекта. Таким образом, понятие «Product Lifecycle Management» актуально для любой экономической отрасли, где могут используются информационные технологии (ИТ).

Важным аспектом является определение места изучаемых PLM-систем в общем комплексе систем автоматизации организации. На примере промышленной организации можно заключить, что в настоящее время устоявшимся представлением корпоративной системы является пирамида автоматизации, включающая три уровня [2]:

– нижний уровень автоматизации технологических процессов (ТП) (системы диспетчерского управления SCADA, контроллеры и распределенные системы управления DCS и разработанные на их основе АСУ ТП);

– средний уровень оперативного управления производством MES, включающих системы управления фондами EAM;

– верхний уровень бизнес систем управления ресурсами предприятия ERP, MRP.

Следует отметить, что реальное применение этих систем в промышленности доказывает невозможность их четкого разграничения, так как каждый из уровней, как правило, взаимодействует с другими уровнями автоматизации, при этом степень их интеграции зависит от конкретной предметной области. Кроме того, сегодня активно создаются и дополняются пограничные системы, например, PLM, LIMS (лабораторные информационно-управляющие системы), MIS (информационная система производства и управления) и EMI (интеллектуальное управление производством), которые сочетают функционал взаимодействующих уровней.

Целью PLM-систем является контроль за ЖЦ продукта, это главный процесс в общем наборе корпоративной информационной системы (ИС) производственного предприятия. Также, важно отметить, что принято выделять шесть основных ключевых задач работы PLM-систем в рамках ведения продукта от разработки до утилизации (таблица 1) [3].

Таблица 1 – Основные задачи PLM-систем

Название задачи	Характеристика
Управление данными о продукте	Данные являются основой для принятия решения производства, материально-технического снабжения, сбыта, эксплуатации и ремонта. Полное или частичное электронное представление информации об объекте сокращает сроки производства в полтора раза и приводит к уменьшению затрат на 50-80%.
Управление жизненным циклом оборудования	PLM-решение обеспечивает бесперебойный цикл производства, улучшает качество планирования, контроля и точность работы оборудования.
Программно-проектное	Информация об объекте используется для принятия стратегических решений производства, включая контроль бюджета, планирование мощ-

управление	ностей, управление прочими потоками информации.
Поддержка взаимодействия	Наличие постоянной обратной связи и контроля объекта на всех этапах ЖЦ с участниками (поставщиками, подрядчиками, заказчиками, инвесторами) разработки, сокращение себестоимости, повышение конкурентоспособности.
Управление качеством	Применение эффективных способов и систем контроля качества на всех этапах ЖЦ продукта.
Соблюдение требований охраны природы	PLM-системы должны включать в себя компоненты, снижающие издержки и риски и учитывающие требования законодательства, Такой подход сокращает время на заполнение бланков предписаний по технике безопасности.

В целом PLM описывает бизнес-подход к управлению объектом и его составляющими, а также формированию интеллектуального капитала и информации, связанной с объектом производства, и их использованию на протяжении всего ЖЦ. В рамках современного подхода можно выделить одиннадцать этапов ЖЦ изделия: маркетинг и изучение рынка; проектирование и разработка продукта; планирование и разработка процессов (технологий производства, эксплуатации и т.п.); закупки; производство или предоставление услуг; упаковка и хранение; реализация; установка и ввод в эксплуатацию; техническая помощь и обслуживание; послепродажная деятельность или эксплуатация; утилизация и переработка в конце полезного срока службы. На рисунке 1 представлены основные этапы ЖЦ объекта производства.

Рисунок 1 – PLM-система управления ЖЦ изделия

Из рисунка 1 ясно, что данная концепция позволяет отслеживать каждый объект или экземпляр объекта производства на всех этапах ЖЦ, завершая процесс в конце срока службы утилизацией и архивированием всей информации. Различные встроенные модули PLM объединяют процессы, вовлекая всех участников ЖЦ в единое пространство с акцентом на учет интересов и организации, и требования заказчика. Такой подход позволяет сокращать издержки производства и эффективно реализовывать стратегическое ведение бизнеса при интеграции с другими ИС.

PLM-система создает контролируемую среду распространения информации, в которой можно хранить идеи и документы, доступные определенным лицам при необходимости. Система также позволяет избавиться от дублируемой информации. Важно отметить, что для всех организаций важно удаленно поддерживать связь с внешней средой: партнерами, поставщиками, клиентами; для отдельных хозяйствующих субъектов принципиально важно контролировать состояние объекта между географически распределенными участниками ЖЦ. Последнее актуально, во-первых, в случае рассредоточенного производства ввиду наличия нескольких филиалов организации; во-вторых, если у организации нет специалистов в той или иной области производства, и целесообразно привлечение специалистов из организации; в-третьих, при сборе данных о функционировании изделия у заказчика. Важно отметить, что взаимодействие с заказчиком в рамках PLM-похода имеет особое значение, так как организация-производитель имеет возможность отслеживать результаты использования или внедрения объекта, проводить статистику функционирования и анализировать полученные данные.

На основе собранной информации можно предсказать сроки снижения функциональности и отказа тех или иных компонентов изделия и провести заблаговременное их обслуживание или замену. На этапе утилизации изделия появляется возможность определить ценность элементов объекта и в результате сократить расходы на производство, использование и обслуживание изделия, уменьшить время простоя в результате возможных отказов.

PLM-система позволяет описать регламент бизнес-процесса, а затем осуществить автоматический контроль его исполнения. Исполнитель получает точные инструкции, что и как нужно сделать, получает необходимые для этого документы, кому передать процесс дальше - система сама определит человека, основываясь на единожды описанных регламенте и этапах. PLM-системы эффективно решают вопрос формирования отчетов. Известно, что относительно объектов производства трудно аккумулировать информацию, которая, как правило, хранится в разных файлах и представлена разными типами данных, и специализированные модули находят необходимые данные по заданным параметрам и создают отчет в требуемом виде.

Таким образом, рассмотренные PLM-системы помогают в повышении своевременности и обоснованности принимаемых решений за счет оперативного сбора, передачи, обработки и интеграции информации, согласованности на

различных уровнях управления, а также предопределяют рост производительности труда, сокращение сроков подготовки производства и снижение непроизводственных потерь. Область применения PLM-систем растет быстрыми темпами. Она интегрирует такие сферы деятельности, в которых использование интеллектуальных активов, связанных с изделием и обмен такими активами обеспечивают заметное увеличение ценности.

Литература

1 Мировой рынок PLM [Электронный ресурс] URL : http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:PLM_(мировой_рынок) (дата обращения: 10.02.2019).
2 А.Г. Шопин, И.В. Занин, А.В. Бурдин. MIS и EMI: информационные системы уровня MES // Автоматизация в промышленности. 2016. №6. С. 28-34.
3 Сафронов В. В., Барабанов В. Ф., Кенин С. Л. Анализ архитектуры развертывания PLM систем // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. № 10. С. 69-73.

Т.В. Безверхая, студент; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ PLM-СИСТЕМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА

В настоящее время использование PLM-систем позволяет организациям производить продукцию необходимого качества и предоставляет заказчикам и пользователям определенные преимущества при работе с конкретными видами продуктов. Взаимосвязь PLM с другими областями приносит новые возможности и открывает такие сферы, где потенциал связанного с изделием интеллектуального капитала реализуется внутри расширенного предприятия. Актуальность изучения данного вопроса представлена активным развитием и применением PLM-систем в цифровом производстве, анализе и управлении моделированием, послепродажным обслуживанием, включая техобслуживание, ремонт и эксплуатацию, и многих других сферах производства и предоставления услуг.

Технологии PLM являются основой, интегрирующей информационное пространство, в котором функционируют такие автоматизированные системы предприятий, как: САПР, ERP, PDM, SCM, CRM и другие. В настоящее время, отечественный рынок PLM-систем включает более 90 программных продуктов. Анализ использования PLM по количеству проектов внедрений, проведенный агентством TAdviser, показал, что на российском рынке особенно перспективными могут считаться следующие системы: «1С:Предприятие 8 PDM Управление инженерными данными», «Лоцман:PLM», «3DExperience», «Siemens NX», «Союз-PLM», «T-FLEX PLM+».

Продукт «1С:Предприятие 8 PDM Управление инженерными данными 3» (1С:PDM 3) позволяет управлять электронной структурой изделия (ГОСТ 2. 053-2013), файловым архивом конструкторской и технологической документации, вести учет подлинников и копий бумажного архива (ГОСТ 2.501-2013), рассчитывать трудовые и материальные нормы, оперировать электронными из-

вещениями об изменении. В 1С:PDM 3 также присутствует редактор структуры изделия, с помощью которого можно редактировать несколько исполнений в одном рабочем окне, что уменьшает вероятность возникновения ошибки при работе с проектом. Пользователь имеет возможность добавить к составу изделия собственные параметры элемента, отсутствующие в CAD-модели (например, комплекты, документы, варианты допустимых замен), а также разместить цифровые модели и чертежи в виде документов, относящихся к структуре изделия.

Технологическая подготовка производства в программе направлена на детальное описание процесса производства, которое включает подробную информацию о всех процессах, переходах, маршрутах, комплектовании, используемых в ходе изготовления изделия. Данный подход дает возможность вставки эскизов, чертежей, программ с числовым программным управлением в рабочую область. Результатом технологической подготовки производства является выполненная по технологии WYSIWYG электронная версия объекта: применив форматирование, таблицы, цвет, пользователь получает бумажную версию проекта вместе с операциями.

Важнейшим средством для укрупненного анализа производственного процесса является расцеховочный маршрут. С его помощью можно определить последовательность участков, через которые будет проходить изделие в процессе изготовления. На базе маршрута можно создать аналитическую карту отдельного процесса, необходимую для оценки и оптимизации узких мест при изготовлении изделия: к маршруту, помимо стандартных пунктов обработки, добавляются позиции, описывающие перемещение изделия, складирования и контроля.

Также ИС предоставляет возможность создания технологии по таблице параметров, которая используется в том случае, если параметры технологии имеют множество зависимостей от параметров изделий, но их функциональная зависимость отсутствует. Таблицы позволяют установить табличное соответствие между параметрами изделия и параметрами технологии, между параметрами технологии и типоразмерами изделия, а также между параметрами одной технологии и различными изделиями.

Система «Союз-PLM» (разработчик «Програмсоюз» [1] позволяет организовать единое информационное пространство для управления инженерной технической информацией, связанной общей структурой изделия на протяжении всего его жизненного цикла и сложных инженерных объектов в области машиностроения, приборостроения, архитектуры, строительства. Интерфейс программного комплекса состоит из трех основных окон: «Дерево хранилища», «Состав», «Свойства», так же присутствуют удобные инструменты навигации и визуализации электронной структуры изделия, способы отображения различных статусов составных частей. Имея открытую архитектуру, «Союз-PLM» обеспечивает возможность присоединения различных программных продуктов и взаимодействия с ними. Существует также возможность добавлять новые шаблоны документов, а также редактировать существующие. В программе присутствует двусторонняя ассоциативная связь между документом и источником данных в

PLM, имеется инструмент редактирования документов, а также возможность экспорта документа в форматы PDF и 1С.

«ЛОЦМАН:PLM» (разработчик «АСКОН») представляет собой программную платформу, позволяющую создавать ИС управления данными об изделии с учетом специфики любого машиностроительного предприятия, а также предоставляет пользователю набор прикладных модулей, обеспечивающих решение типовых, стандартизированных задач в конкретных областях [2].

«ЛОЦМАН:PLM» позволяет пользователям настраивать и масштабировать систему в соответствии с различными требованиями предприятий с помощью инструментов разработки API и SDK, а также функционал программы дополняется различными средствами бизнес-конфигурирования и администрирования. Благодаря модулям для интеграции с «SolidWorks» и «AutoCAD» система может взаимодействовать не только с продуктами своей компании, но и с программным обеспечением других разработчиков. Возможна интеграция с такими CAD-системами, как «Inventor», «CATIA», «Creo», «NX», «Solid Edge». Поддерживается взаимодействие с EDA-решениями «Altium Designer», «Delta Design».

За управление бизнес-процессами предприятия в данном ПО отвечает специализированный модуль «ЛОЦМАН WorkFlow». Суть этого модуля заключается в том, что каждый участник получает исходные данные, фиксирует результаты своей работы и передает задания другим участникам процесса, а руководители получают возможность контролировать выполнение работ и автоматически получать уведомления о нарушении сроков выполнения, если они имели место быть.

Отчеты формируются с помощью генератора отчетов «FastReport» и записываются в привычные форматы офисных пакетов (Microsoft Office, OpenOffice). При необходимости, можно сформировать любой отчет с необходимыми данными, настроить произвольные шаблоны (формы) отчетов в соответствии с требованиями стандартов предприятия или распространенные стандартизированные отчеты в соответствии с требованиями стандартов серий ЕСКД и ЕСТД.

Программный комплекс «T-FLEX PLM+» (разработчик «Топ Системы») предназначен для решения всего спектра задач, связанных с информационной поддержкой и сопровождением всего жизненного цикла изделия [3]. Данное ПО обладает самым современным пользовательским интерфейсом, для просмотра конструкторского чертежа детали, а также созданных операционных эскизов, нет необходимости переключаться между приложениями. Рабочее окно обеспечивает отображение в виде дерева, где отображен операционный и расцеховочный маршруты обработки, а также справочники и расчеты. Данные по техпроцессу, операциям и переходам структурированы на соответствующих закладках.

«T-FLEX DOCs» имеет готовые модули интеграции практически со всеми наиболее популярным системами проектирования, в том числе: «T-FLEX CAD», «Solid Works», «Autodesk Inventor», «AutoCAD», «Компас», «Pro/E» и «Siemens

NX», что позволяет довольно свободно вести проектирование как отдельных деталей, так и сборочных единиц. Это стало возможным благодаря специализированному модулю «T-FLEX PDM Framework», разработанному для решения задач взаимодействия системы «T-FLEX DOCs» с различными CAD-системами.

Для анализа программных продуктов был использован метод экспертных оценок. В соответствии с методом объектами экспертном оценки являются 4 PLM-системы, параметрами сравнения – 14 функциональных характеристик. С помощью весового коэффициента была определена степень важности каждой характеристики так, чтобы итоговая сумма весовых коэффициентов равнялась 10 баллам, и сравнительная шкала, равная 5 баллам. Результат был получен на основании анализа исходных данных официальных web-сайтов фирм-производителей (таблица 2).

Таблица 2 - Сравнение популярных PLM-систем

PLM-системы / Функциональные характеристики	Весовой коэффициент	1С:PDM 3	Союз-PLM	ЛОЦМАН: PLM	**T-FLEX PLM**
Управление бизнес-процессами	0,9	3,6	2,7	3,6	4,5
Управление электронным архивом документов	0,4	2	0,8	1,2	2
Многовариантное проектирование изделий	0,9	4,5	2,7	2,7	3,6
Работа с 3D-изображением	1	3	2	3	5
Механизм фильтрации, поиска узлов и деталей	0,3	0,9	1,2	0,3	0,9
Механизм согласования на этапах ЖЦ	0,8	3,2	1,6	1,6	3,2
Планирование и управление проектами	0,5	2,5	0,5	1,5	2,5
Контроль сроков выпуска рабочей документации	0,4	2	0,8	1,2	0,8
Конструкторская подготовка производства и анализ изделий (CAD/CAE);	0,5	2	2,5	1,5	1
Технологическая подготовка производства и изготовление изделий (CAPP/CAM);	0,5	2,5	2,5	1,5	2
Интеграция с САПР и другими программами	0,7	2,8	1,4	2,1	3,5
Инструменты (возможности) конфигурирования системы	1	5	2	3	5
Наличие стандартных справочников на изделия и классификаторов ЕСКД, ЕСТД	0,7	3,5	0,7	2,1	3,5
Удобство интерфейса	0,8	4	0,8	2,4	4
Стоимость	0,6	3	2,4	2,4	0,6
Сумма баллов	10	44,5	24,6	30,1	42,1

Результаты метода экспертных оценок показали, что наилучшей среди изученных ИС является «1С:PDM 3» (44,5 балла в рейтинге), однако функционал «**T-FLEX PLM»** также отражает высокие результаты (42,1 балла). На основании изученных данных, представленных разработчиками современных отечественных PLM-систем можно сказать, что рассмотренные программы имеют схожие интерфейсы и построены на архитектуре «клиент-сервер».

Имеются лишь незначительные различия по функциональным характеристикам.

Высокоэффективные инструменты конфигурирования системы по индивидуальным требованиям заказчика, надежная и комфортная работа на узких каналах связи, полнофункциональная система управления рабочими процессами (WorkFlow), отличительные программно-технические решения – особенно характерно для «Союз-PLM».

Несмотря на то, что «ЛОЦМАН:PLM» рекомендуется использовать в интеграции с другими программами компании «АСКОН», данная система позиционируется как универсальная, поскольку в ней имеются интерфейсы к нескольким САПР. И в качестве одного из компонентов решения поставляются справочник стандартных изделий и классификатор ЕСКД.

Технологический уровень нынешних решений «T-FLEX» полностью соответствует требованиям мирового рынка и достаточно активно на этом рынке используется. Программные продукты «T-FLEX PLM» выпускаются на шести языках, что обеспечивает полную единую техническую поддержку и отсутствие отставания по функциональности. Все новейшие разработки появляются одновременно для всех пользователей систем «T-FLEX» по всему миру. Разработчики создали дополнительный модуль к системе «T-FLEX CAD», позволяющий работать с 3D-изображением в виртуальном пространстве при помощи шлема виртуальной реальности «HTC Vive», что стало возможным благодаря новой графической библиотеки, основанной на стандарте OpenGL.

Особенно следует отметить систему «1С:Предприятие 8 PDM Управление инженерными данными». Сегодня данная система является наиболее популярной, и агенство «TAdviser» анонсирует, что «1С:PDM 3» и дальше будет укреплять свои позиции на современном рынке подобных продуктов, так как в большей степени соответствует российским реалиям, особенностям осуществления учета и контроля за производством. ИС отличается эргономичностью интерфейса, предлагает многовариантное проектирование изделий и удобную работу с 3D-изображением, а также эффективный механизм согласования на этапах ЖЦ.

Рассмотренные PLM-системы успешно внедряются на предприятиях с различной сферой деятельности не только в России, но и за рубежом. Например. комплекс «1С:PDM 3» применяется в различных крупных организациях, таких как ОАО «Корпорация Тактическое Ракетное Вооружение», ОАО «Уральское Конструкторское Бюро Транспортного Машиностроения». Платформа «T-FLEX PLM» успешно применяется более чем на 3700 российских предприятиях и более чем на 1300 зарубежных компаний по всему миру.

Таким образом, разработанные отечественными производителями системы не уступают по качеству иностранным. Российский рынок может предоставить потребителю не только современное, качественное программное обеспечение российских разработчиков, но и профессиональную, оперативную техническую поддержку, которая осуществляется напрямую или через партнеров компаний-разработчиков программного обеспечения, практически в любой стране.

Литература
1 Союз-PLM. Система информационной поддержки жизненного цикла изделий [Электронный ресурс] URL : http://www.programsoyuz.ru/products/system-soyuz-plm.html (дата обращения: 26.03.2018).

2 ЛОЦМАН: PLM. Система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия [Электронный ресурс] URL : https://ascon.ru/products/ (дата обращения: 26.10.2018).

3 Кочан И. Н. T-FLEX PLM на международном рынке // Спецвыпуск: САПР и графика. 2017. № 10. С. 24–27.

М.А. Василькова, студ; рук. Ю.И. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Смоленске)

МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ В РЯД ФУРЬЕ В МЕСТАХ РАЗРЫВА ФУНКЦИИ

Разложение сигналов в ряд Фурье широко применяется в системах передачи данных, синтезе звуков в компьютерной технике, алгоритмах сжатия информации. Несмотря на большое количество работ в этой области, остается ряд проблем, решению которых не всегда уделяется должного внимания. Одной из них является определение достаточного количества гармоник, которые надо использовать в разложении в ряд Фурье, чтобы обеспечить заданную точность представления сигнала в точках, где характер преобразуемого сигнала резко изменяется (точки разрыва функции первого и второго рода). Контроль и снижение такой погрешности преобразования особенно актуально при формировании качественных сигналов в системах визуального контроля и распознавания мелких деталей изображений поступающих от видеокамер.

Автором предложен метод контроля и снижения погрешности разложения функции в ряд Фурье в точках разрыва функции, а также представлена программа в системе MathCAD, иллюстрирующая работоспособность предлагаемого подхода.

Пусть сигнал во временной области описывается функцей *f(t).* Будем полагать, что на участке от *t1* до *t2* функция *f(t)* удовлетворяет условиям Дирихле, следовательно, на этом участке она может быть разложена в ряд Фурье. Ограничение функции указанным участком можно трактовать как умножение функции *f(t)* на одиночный прямоугольный импульс единичной амплитуды и длительностью $\tau = t2 - t1$. В результате получим функцию с разрывами первого рода. Но ряд Фурье плохо сходиться в районе разрывов функции. Предлагается провести коррекцию ряда с тем, чтобы устранить погрешность в местах разрыва функции.

Представление функции на участке от *t1* до *t2* рядом Фурье означает, что функция *f(t)* может быть представлена в виде суммы слагаемых [1]:

$$f(t) = b_0 + \sum_{n=1}^{\infty}[a_n \sin(n\, w_0\, t) + \sum_{n=1}^{\infty}(b_n \cos(n\, w_0\, t)]. \quad (1)$$

Коэффициенты b_0, a_n, b_n определяются видом функции *f(t)*, $w0 = 2\pi/\tau$.

Заметим, что если функция *f(t)* на рассматриваемом участке симметрична, то все коэффициенты a_n,равны нулю, а если – ассиметрична, то все b_n равны нулю. Коэффициент b_0 отличен от нуля только в случая наличия постоянной составляющей в аппроксимируемой функции.

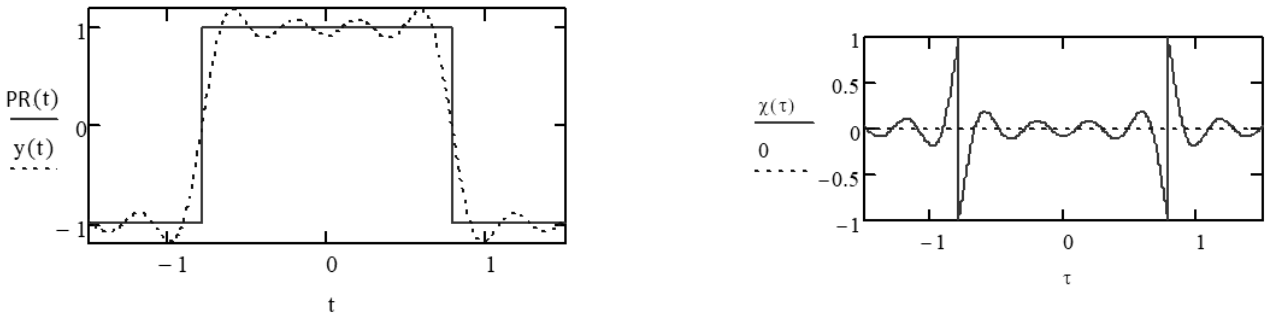
Представление функции в виде ряда (1) позволяет получить математическое описание функции и определить занимаемую ею полосу частот. В практических задачах не требуется точного воспроизведения исходной функции *f(t)* и число членов ряда, из каких либо соображений, ограничивают. В результате получают функцию $y(t) \approx f(t)$, которая аппроксимирует *f(t)* с некоторой погрешностью.

На первый взгляд можно сделать предположение, что чем больше оставляемое число членов ряда, тем точнее аппроксимация и можно получить удовлетворительное приближение аппроксимируемой функции. Но это не совсем так. Всегда остаётся погрешность в местах разрыва функции и с увеличение числа членов ряда эта погрешность аппроксимации не может быть меньше чем 18%. Это обусловлено наличием эффекта Гиббса и погрешность аппроксимации не может быть уменьшена увеличением числа членов ряда [2,3]. Поэтому можно заключить, что сходимость ряда Фурье функций, имеющих разрывы, плохая.

Хотя функцию аппроксимируют лишь на отрезке (*t2, t1)*, при воспроизведении функции с использованием ряда Фурье этот отрезок функции будет периодически повторяться по всей оси времени. Поэтому периодические функции, удовлетворяющие условиям Дирихле, представляют в виде ряда Фурье.

Предлагаемую коррекцию рассмотрим на примере разложения в ряд Фурье прямоугольного импульса *PR(t)* без постоянной составляющей, у которого длительность $\tau = \pi$ импульса равна длительности паузы. Частота первой гармоники ряда в этом случае будет равна $w_0 = 2$. Ограничимся четырьмя первыми отличными от нуля членами ряда, что часто применяют на практике. Он будет иметь следующий вид:

$$y(t) = \left(\frac{4}{\pi}\right)\left[cos(w_0\, t) + \left(\frac{1}{3}\right)\cos(3\, w_0\, t - \pi) + \left(\frac{1}{5}\right)\cos(5\, w_0\, t) + \left(\frac{1}{7}\right)\cos(n\, w_0\, t - \pi)\right].$$



а) б)

Рисунок 1 – Графики аппроксимация прямоугольного импульса и ее погрешности

На рисунке 1,а представлен прямоугольный импульс *PR(t)* и его аппроксимация *y(t)*. Из рисунка следует, что: а) фронт прямоугольного импульса плохо аппроксимируется рядом Фурье; б) на горизонтальном участке аппроксимации прямоугольного импульса выделяется первый максимум, величина которого, как выше указывалось, составляет 18% от амплитуды прямоугольного импульса и не зависит от числа членов ряда. С увеличением числа составляющих ряда крутизна фронта будет увеличиваться, а погрешность аппроксимации останется неизменной и равной100%.

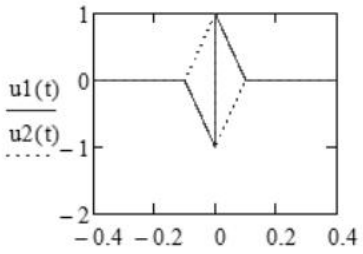
На рисунке 1,б представлена абсолютная погрешность аппроксимации прямоугольного импульса указанным рядом Фурье. Можно заметить, что погрешность аппроксимации фронта равна амплитуде прямоугольного импульса, то есть очень большая, и состоит из двух асимметричных частей, которые хорошо представляется линейной зависимостью. Чем больше число слагаемых ряда в представлении прямоугольного импульса, тем точнее такое представление. Поскольку погрешность восстановления фронта импульса имеет жёсткую привязку к середине импульса и имеет неизменную форму, то её можно компенсировать. У импульса есть два фронта – положительный и отрицательный. Погрешности аппроксимации этих фронтов противоположны.

Для анализа работоспособности описываемого метода снижения погрешности разложения в ряд Фурье прямоугольного импульса, была разработана программа в среде *MathCAD*, представленная на рисунке 2.

$$u1(t) := \begin{cases} ((-1 - 10t)) & \text{if } (-0.1 < t < 0) \\ (1 - 10t) & \text{if } (0 < t < 0.1) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$u2(t) := -u1(t)$ $\quad w0 := 2$

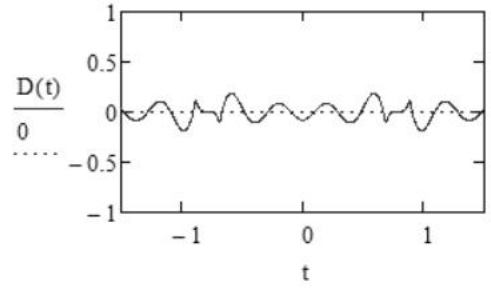
$$PR(t) := \begin{cases} 1 & \text{if } (\cos(w0 \cdot t) > 0) \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$y(t) := \frac{4}{\pi} \cdot \left[\cos(w0 \cdot t) + \left(\frac{1}{3}\right) \cdot \cos(3 \cdot w0 \cdot t - \pi) + \left(\frac{1}{5}\right) \cdot \cos(5 \cdot w0 \cdot t) + \frac{1}{7} \cdot \cos(7 \cdot w0 \cdot t - \pi) \right]$$

$y2(t) := y(t) + u1(t + 0.785) + u2(t - 0.785)$

$D(t) := y2(t) - PR(t)$



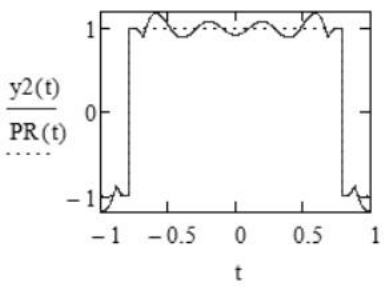


Рисунок 2 – Программа коррекции фронта прямоугольного импульса

Вначале программы формируется ассиметричная линейная функция *u1(t),* компенсирующая погрешность положительного фронта импульса и противоположная линейная функция *u2(t)* для компенсации погрешности отрицательного фронта. Добавим сформированные функции к аппроксимирующему ряду, предварительно сдвинув их к середине соответствующего фронта. В результате получим аппроксимацию фронтов прямоугольного импульса с компенсированной их погрешностью.

В программе представлены графики компенсирующих погрешность функций *u1(t)* и *u2(t),* а также график функции *y2(t*), представляющей собой ряда Фурье с добавленными компенсирующими функциями; *D(t)* – погрешности аппроксимации прямоугольного импульса рядом Фурье с добавленными компенсирующими функциями. Сравнивая графики погрешности, показанной на рисунке 1 и график *D(t)* на рисунке 2, видно, что погрешность аппроксимации, обусловленная фронтами, скомпенсирована.

Учитывая, что погрешность аппроксимации плоской части прямоугольного импульса с увеличением числа членов ряда Фурье не может быть меньше 18%, можно сделать вывод о достаточности лишь четырёх членов ряда *D(t)=y(t)-PR(t)* с добавлением функций коррекции погрешности фронтов.

Компенсирующие функции *u1(t)* и *u2(t)* можно использовать для формирования соответствующих периодических последовательностей $u1_T(t)$ и $u2_T(t)$. Добавляя эти последовательности к разложению в ряд Фурье любой (не обязательно меандра) периодической последовательности прямоугольных импульсов, получим аппроксимацию ряда с фронтами, не содержащими погрешности аппроксимации.

Принципиально возможно компенсировать и первый всплеск аппроксимации, обусловленный явлением Гиббса [3]. В этом случае повысится точность аппроксимации прямоугольного импульса при увеличении числа членов ряда Фурье. Если такую компенсацию не проводить, то увеличение числа членов ряда приведёт к уменьшению абсолютной погрешности аппроксимации других пульсаций, а амплитуда первого всплеска останется неизменной. Но всплеск функции аппроксимации, обусловленный явлением Гиббса, не имеет простого математического описания и полностью не может быть компенсирован.

Предложенный метод контроля и компенсации погрешности в точках разрыва функции, представленной рядом Фурье, может найти применение в различных системах обработки данных, применяющих спектральное представление сигналов в своих алгоритмах.

Литература

1. Привалов И. И. Ряды Фурье: учебник для вузов. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 164 с.
2. Вадутов О.С. Электроника. Математические основы обработки сигналов: учебник и практикум для академического бакалавриата. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 307с.
3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2009. – 656 с.

М.А. Василькова, студ.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПОДГОТОВКА НАБОРОВ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00425

Разработка и внедрение интеллектуальных систем на современном этапе развития информационных технологий является наиболее активно развивающимся направлением автоматизации человеческой деятельности. Его важность особенно подчеркивается в программе развития «Цифровая экономика Российской Федерации», принятой Правительством РФ в 2017 году. Согласно указанной программе, к ключевым информационным технологиям относятся: большие данные, нейротехнологии и искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорика, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальностей. В представленном списке нейротехнологии занимают почетное второе место, что говорит о важности этого направления для цифровизации жизни общества. Особое место среди нейротехнологий занимают новые архитектуры искусственных нейронных сетей, называемых глубокими. Они, а также возросшие доступные вычислительные мощности современных компьютеров, привели к прорывным достижениям в области глубокого машинного обучения, в частности, задачах распознавания изображений, выявления скрытых закономерностей [1].

Неотъемлемым этапом решения задач глубокого машинного обучения выступает препроцессинг – подготовка данных к последующему анализу в соответствии с выбранной концепцией и методологией. Актуальность решения этой задачи подтверждается тем, что до 70% времени разработки программ анализа данных уходит на предварительную подготовку данных.

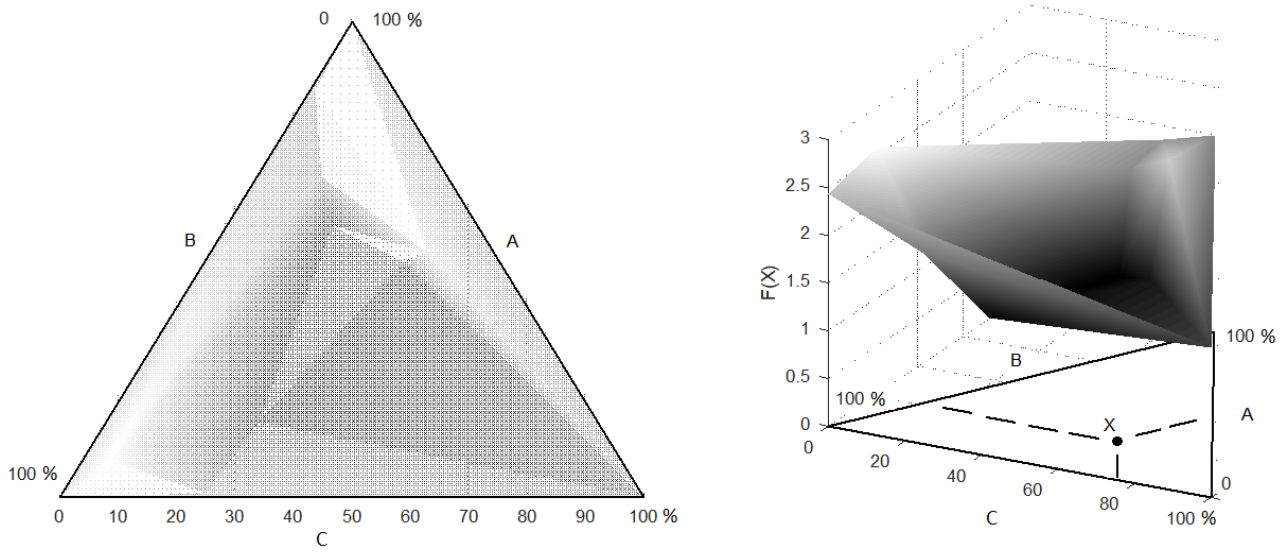
Предобработка данных включает две стадии: очистку (исключения факторов, снижающих качество данных и мешающих работе аналитических алгоритмов) и оптимизацию (снижение размерности). Применение нейронных сетей снимает с исследователя часть нагрузки по препроцессингу, так как сеть сама учится осуществлять лучшее представление данных для дальнейшей классификации, однако здесь возникает другая проблема – получение достаточного объема исходных примеров для конкретной предметной области, что далеко не всегда возможно сделать. Поэтому ставится задача синтезировать наборы данных, имитирующих поведение исследуемого объекта.

Автором разработана программа и интерфейс приложения для подготовки заданного количества изображений, распределенных по классам, для обучений глубоких нейронных сетей в задаче распознавания состояний трехкомпонентных систем. Программа, реализованная в среде *MatLAB*, распределяет изобра-

жения по различным папкам для хранения обучающих и тестирующих выборок в соответствии с заданным количеством классов.

Трехкомпонентные системы представляют собой класс объектов, состояние которых можно определять на основании анализа их состава, причем состав должен содержать только три разновидности какой либо субстанции. В химических исследованиях это могут быть различные смеси из трех компонент, при рассмотрении социальных структур под компонентами могут пониматься три группы, выделяемые из сообщества по каким либо признакам. Например, если осуществляется анализ клиентов организации, то всю их совокупность можно разделить на активных, нейтральных и пассивных потребителей услуг и уже исходя из этого, строить дальнейшие маркетинговые действия.

Графическое отображение состава трехкомпонентной системы предполагает построение равностороннего треугольника, по каждой стороне которого откладывается процентное содержание соответствующего компонента. Такой треугольник называют концентрационным. Из точки *X* внутри треугольника, соответствующей текущему составу смеси, проводят линии, параллельные сторонам треугольника и на их пересечении со сторонами треугольника определяют соответствующие концентрации компонент смеси. Обозначив вещества буквами *A, B* и *C* отметим. что вершины треугольника будут соответствовать стопроцентному содержанию компонент, то есть, чистым веществам *A, B* и *C*. Функция *F(X),* характеризующая состояние трехкомпонентной системы, откладывается по оси, перпендикулярной плоскости концентрационного треугольника. На рисунке 1б представлен пример объемной диаграммы состояния трехкомпонентной системы, а на рисунке 1а – ее проекция на концентрационный треугольник.



а) б)

Рисунок 1 – Объемная диаграммы состояния трехкомпонентной системы

Распознавание состояния трехкомпонентной системы осуществляется сверточной нейронной сетью (*CNN – Convolutional Neural Network*). Такие сети являются разновидностью глубоких нейронных сетей, успешно осуществляющих классификацию объектов по изображениям за счет применения принципов ограниченного восприятия, разделяемых весов и снижения размерности [2]. Такая сеть формирует иерархическое восприятие признаков, что обеспечивает высокую степень обобщения образов и качество их классификации. Применение *CNN* позволит осуществлять оперативное распознавание различных режимов и состояний трехкомпонентной системы за при наблюдении за ней в реальном масштабе времени. *CNN* будет отслеживать положение точки *X* в зонах проекции *F(X)* и определять возможные тенденции развития динамики состояний с целью предотвращения нежелательных последствий.

Особенностью задачи распознавания в данном случае является то, что фигура треугольника для всех классов будет одна и та же. Поэтому сеть должна распознавать не фигуру, а текстуру рисунка и, соответственно, программа должна генерировать большие наборы различных изображений класса с одинаковой текстурой, а также предоставлять возможность создавать изображения с различной текстурой для заданного количества классов.

Для генерации текстуры было предложено использовать какую либо функцию *F(X)*, заданную на треугольной области определения (концентрационном треугольнике), управляя одним из параметров которой можно было бы изменять текстуру. В качестве такой функции было выбрано графическое отображение решения задачи триангуляции. Триангуляция состоит в соединении всех точек непересекающимися отрезками так, чтобы новые отрезки уже нельзя было добавить без пересечения с имеющимися. Применяемая в дальнейшем триангуляция Делоне характеризуется тем, что внутрь окружности, описанной вокруг каждого треугольника, не попадают другие точки множества. В трехмерном случае триангуляция Делоне определяется аналогично, только строятся тетраэдры, а сферы, описанные вокруг каждого тетраэдра, не должны содержать внутри себя точек из триангулируемого множества.

Сначала функция *F(X)* вычисляется в точках треугольной области *X=(x1,x2).* Затем строится триангуляция Делоне множества точек на плоскости *tri = delaunay(x1,x2).* После этого применяется функция *trisurf(tri,x,y,F)* формирующая затененную поверхность *F(X).* Вид этой поверхности со стороны концентрационного треугольника принимается за изображение одного элемента класса.

Модификация текстуры задавалась параметром *K*, определяющим количество областей в концентрационном треугольнике. На основании этого параметра сначала создаются массивы из нулей *x=zeros(1,K)* и *y=x*, которые потом заполнялись числами, определяющими координаты точек, попадающих внутрь концентрационного треугольника.

В программе предусмотрена возможность создавать различные комбинации параметров изображений текстур, определяющих цветное или черно-белое изображение, со сглаженными переходами между областями и без. Пример не-

скольких текстур с резкими и плавными переходами цветов для одного из классов показан на рисунке 2.

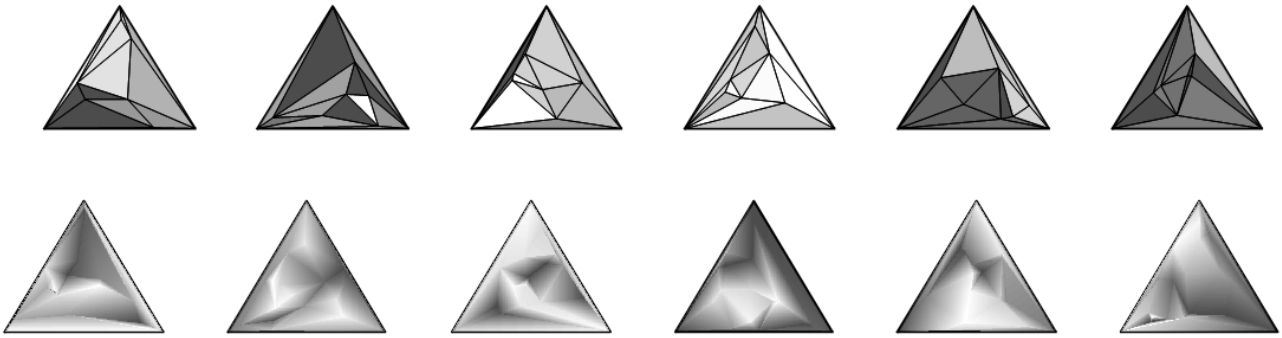


Рисунок 2 – Текстуры с резкими и плавными переходами цветов

Для обеспечения формирования области определения функции *F(X)* в форме равностороннего треугольника после генерации поля точек, принадлежащих этой области, принудительно задаются координаты вершин:
x(1,1)=0; y(1,1)=0; x(1,2)=100;y(1,2)=0; x(1,3)=50;y(1,3)=87; x(1,4)=0;y(1,4)=0.

Входными данными для программы являются уже отмеченный выше параметр *K*, определяющий различия текстур между классами, параметры выбора цвета (черно-белый или цветной) и сглаженности переходов внутри текстуры (сглаженный или нет). Кроме этого задаются необходимые количества классов и изображений в классах, корневая папка, в которой будут храниться сгенерированные изображения. Объем тестирующей выборки задается в процентах от объема обучающей.

Выходными данными программы являются папки с изображениями классов. Папки программой генерируются автоматически и имеют названия: для обучающих выборок – *class_N_train*, для тестирующих – *class_N_test.* Здесь N обозначает номер соответствующего класса.

Применение разнообразных генераторов текстур позволит программе найти применение в различных системах поддержки принятия решений, использующих глубокие нейронные сети при решении задач распознавания состояния систем, структур поверхностей. Получаемые наборы требуемых размеров и распределенных по классам изображений позволят проводить предварительное обучение глубоких нейронных сетей, что дает возможность снижать затраты вычислительных ресурсов при тонкой настройке сети на месте применения.

Литература

- Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. — СПб.: Питер, 2018. — 400 с.
- Пучков А.Ю., Дли М.И. Программный комплекс для изучения методов распознавания изображений на основе сверточных нейронных сетей/ Инфорино-2018. Материалы IV Междунар. научно-практич. конф. «Информатизация инженерного образования» – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 556 с. С. 178-181.

Т.С. Гончарова, студ.; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ

В настоящее время топливно-энергетическому комплексу (ТЭК) уделяется особое внимание, поскольку он является важнейшим фактором внешней политики, обеспечивает энергетическую безопасность страны и развитие экономики, социальной стабильности, а также, ТЭК во многом определяет положение страны в мире. Российская экономика является высоко зависимой от ТЭК, а в условиях масштабной информатизации и цифровизации всех отраслей промышленности, на первый план выходят вопросы обеспечения безопасности. Топливно-энергетический комплекс структурно подразделяется на несколько отраслей, одной из которых является электроэнергетика.

Работоспособность электроэнергетического комплекса безусловно является необходимым условием стабильности других отраслей промышленности. Электросетевые организации обеспечивают электроснабжение населения, организаций и стратегически важных объектов страны, доводя электричество от источника (электростанции) до конечного потребителя. Электросетевые организации являются крупными режимными предприятиями, имеющими в своей собственности огромное количество зданий, объектов и территорий, что обуславливает важность вопросов обеспечения безопасности этих объектов путем ограничения и контроля допуска персонала или иных лиц. В решении данного вопроса следует помнить, что наиболее часто причиной разнообразных нарушений является именно человеческий фактор, и надежнее использовать специально-разработанные автоматизированные системы. Системы контроля и учета доступа (СКУД) применяются как в крупных организациях, так и на сравнительно небольших, но стратегически важных объектах. Главной проблемой внедрения СКУД в крупных организациях является ее масштабируемость. Независимо от того, сколько новых объектов появляется у организации, система должна работать как единое целое. Электроэнергетическая отрасль требует особого внимания в вопросах предотвращения угроз информационной безопасности (ИБ). Обеспечение безопасности здесь начинается с выстраивания концепции и заканчивается созданием и внедрением политики использования конкретных инструментов и методов защиты. При этом необходимо осуществлять разделение внутренней среды организации по уровням обеспечения ИБ.

СКУД является важнейшей составляющей системы безопасности, поскольку именно здесь принимается решение о допуске или недопуске конкретного человека на территорию или режимные объекты. Комплексный интегрированный подход к построению системы безопасности является на данный момент самым эффективным. СКУД в системе безопасности организации можно следующим образом (рисунок 1):

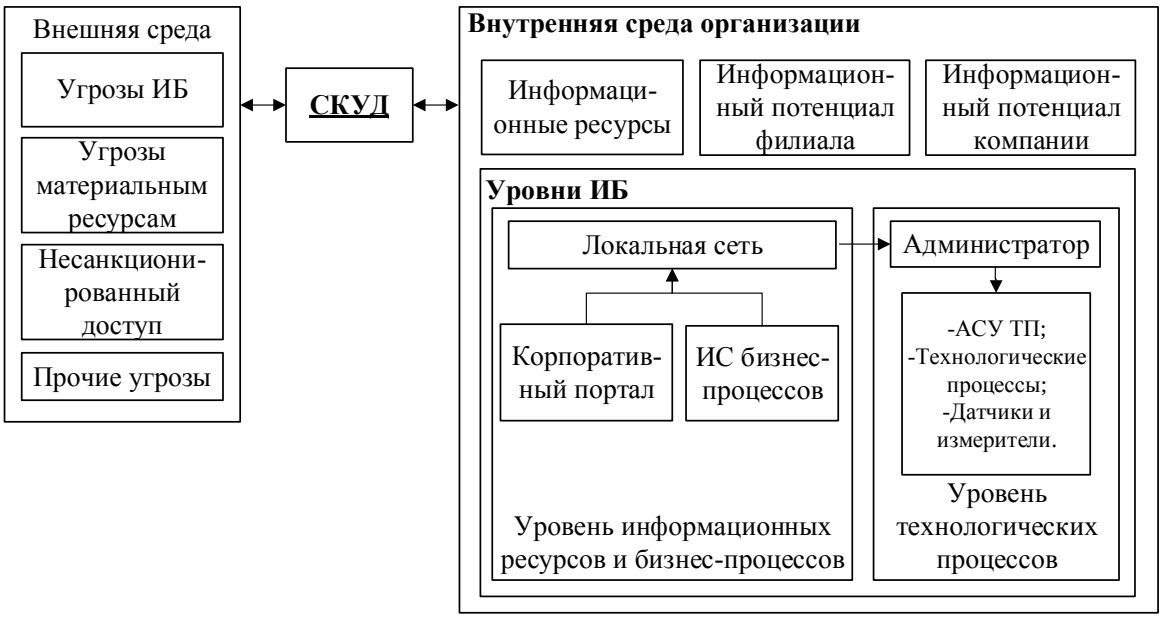


Рисунок 1 – СКУД в общей системе безопасности электросетевой организации

Системы контроля и учета доступа обладают широкими возможностями для регистрации персонала и посторонних лиц, основанные на персональной идентификации или на биометрических признаках. Согласно ГОСТ Р 51241-2008 «Средства и системы контроля и управления доступом» [1], элементами любой системы контроля и учета доступа являются: контроллер; идентификатор; считыватель; преграждающее устройство и программное обеспечение (ПО). При внедрении СКУД в организацию, следует помнить о том, что системы подразделяются на локальные и сетевые. Локальная СКУД имеет существенные недостатки. Во-первых, она не является масштабируемой, поскольку все проходные пункты подключены к одному контроллеру. Во-вторых, такая архитектура не использует базу данных (БД) организации, что говорит о невозможности формирования отчетов и контроля за событиями, которые происходили в прошлом, а также отсутствует возможность вести оперативный удаленный контроль в режиме реального времени. Другими словами, это просто единичный автоматизированный пропускной пункт, где в зависимости от корректности пропускного идентификатора посетителя система либо разрешит проход на территорию, либо нет. Для использования в электросетевой организации с множеством филиалов и большим количеством рабочего персонала, локальная система не подходит. Для объединения объектов организации и филиалов, находящихся на значительном удалении друг от друга, могут применяться сетевые IP-системы контроля доступа. В таких системах связь между контроллерами и компьютерами с ПО осуществляется с помощью имеющихся в организации защищенных локальных сетей. В данном случае архитектура не будет иметь ограничений по увеличению масштаба, новое оборудование просто «добавляется» в локальную сеть, что позволит любому количеству проходных пунктов работать в одной системе, используя единую базу данных. СКУД могут взаимодействовать с такими системами, как SAP и SCADA, которые в большинстве своем применяются в электросетевых

организациях. Также сетевые системы могут работать вместе с подсистемами инженерии помещения, например, пожарно-охранные системы, системы видеонаблюдения, UEBA/UBA-системы и SIEM-системы. Сетевые СКУД обладают большим набором дополнительных функций в отличии от локальных систем, так как они базируются на работе системы как «единого целого» и на взаимодействии с БД организации. К таким полезным функциям можно отнести: масштабируемость; централизованное управление любыми компонентами системы из любой точки организации удаленно; возможность проведения различного рода анализа, например, анализ информации о входе/выходе, действиях операторов системы, учета рабочего времени и т.д.; разграничение контроля для разных групп сотрудников (выездные бригады, посменные рабочие); интеграция СКУД с другими подсистемами безопасности. Кроме того, регламент внедрения, эксплуатации и ответственности сотрудников при работе со СКУД должен быть зафиксирован в политике информационной безопасности (ПИБ) организации.

А. Л. Даутов и А. С. Пуряев в статье [2] отмечают, что системы контроля и учета доступа игнорируются в некоторых организациях, а причинами тому являются: недостаточное развитие информационной базы данных систем, необходимость использования только отечественного ПО, уступающего по функционалу зарубежному, высокая стоимость комплектующих аппаратной части, отсутствие установленных методик оптимального использования систем. Однако, не смотря на данные проблемы, в течение последних лет в электросетевых организациях РФ разрабатывается проект, который в значительной степени расширит возможности применения СКУД. Планируется внедрение аппаратной части системы, подразумевающей размещение различных датчиков слежения и пропускной аппаратуры не только на проходных точках, но и на каждом отдельно взятом помещении организации, что подтверждает актуальность и необходимость использования сетевых СКУД во всех электросетевых организациях и их режимных объектах уже сейчас. Таким образом, в настоящее время становится очевидным тот факт, что применение хорошо организованной системы доступа значительно повышает уровень безопасности в организации, улучшает трудовую дисциплину сотрудников, а также позволяет оптимизировать многие смежные процессы. Можно с уверенностью сказать, что сетевые СКУД в ближайшем будущем будут по-прежнему актуальны, их функциональность будет расширяться, а ИБ стратегических отраслей страны будет прорабатываться более детально на законодательном уровне.

Литература

1. ГОСТ Р 51241-2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний [Электронный ресурс]. Введ. 2009-09-01. М. : Стандартинформ, 2009. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200071688 (дата обращения 21.02.19).
2. Даутов А. Л. Внедрение и развитие систем контроля и управления доступом на предприятии [Электронный ресурс] / А. Л. Даутов, А. С. Пуряев // Инновационная наука. 2016. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-i-razvitie-sistem-kontrolya-i-upravleniya-dostupom-na-predpriyatii (дата обращения 15.02.19).

И.В. Гудкова, студентка; рук. Е.А. Панкртова, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АТРИБУЦИИ

Вопрос определения авторства текста возникает в различных сферах деятельности человека и представляет ценность не только для литературоведов, филологов и историков, но и для юристов, криминалистов, военных и т.д. Анализируя различные произведения можно обнаружить некое сходство между разными отрывками одного и того же текста, или произведениями одного автора. Совокупность общих для произведений одного автора характеристик составляет так называемый авторский стиль, который зависит от личности писателя, времени, в котором он жил и создавал свои произведения, особенностей речи.

Атрибуция текста – его исследование с целью получения каких-либо сведений об авторе либо установление/подтверждение авторства, а также для определения условий создания документа. Можно выделить методы атрибуции, которые требуют предварительной обработки текста и методы, которые применяются к необработанному тексту. В свою очередь, обработка исходного текста может быть произведена вручную либо с помощью средств вычислительной техники.

Методы атрибуции разнообразны, на сегодняшний день практически отсутствует их точная классификация, а также полный анализ существующих методов, оценка их достоинств и недостатков.

Разработано множество методов атрибуции, имеющих филологическую, историко-документальную или математико-статистическую основу, однако на сегодняшний день практически отсутствует их полная классификация, отражающая отличительные особенности каждого метода, точную оценку достоинств и недостатков. Проанализировав имеющиеся методики, была разработана следующая классификация, представленная на рисунке 1.

Большинство методов атрибуции требует предварительной обработки исходного текста. К примеру, метод, основанный на учете статистики употребления пар элементов любой природы, идущих друг за другом в тексте описан в [2]. В основе такого метода лежит формальная математическая модель последовательности букв или других элементов текста как реализации цепи Маркова. Суть метода заключается в построении матрицы переходных частот употребления пар элементов по тем произведениям, чье авторство доподлинно известно. Для каждого автора вычисляется вероятность того, что он создал анонимный текст. Автором считается тот, для кого вероятность оказывается наибольшей. Предварительная обработка в таком методе обычно заключается в удалении слов, для которых автоматически не удалось определить грамматический класс, знаков препинания или слов с заглавной буквы, склейке слов, разделенных переносом.

Рисунок 1 – Классификация методов атрибуции

Рассмотренный метод реализован в системе «Атрибутор». В ней в качестве стилевых признаков используются трехбуквенные сочетания – триады. За счет этого возможно проанализировать однобуквенные и двухбуквенные служебные слова, что включает в себя значительную часть наиболее частотных предлогов, союзов, частиц и междометий, которые традиционно считаются значимыми стилеметрическими показателями. Предварительно из текста удаляются все слова, начинающиеся с заглавной буквы.

Все изложенные выше методы предполагают автоматическую предварительную обработку текста.

К методам, требующим предварительную обработку текста вручную можно отнести атрибуцию текстов на основе анализа частот парной встречаемости грамматических классов слов и применения элементов теории графов, представленная в работе Л.И. Бородкина [1], причем грамматические классы не были ограничены русским языком. Методика требует предварительной перекодировки текста в последовательность кодов грамматических классов вручную. Метод достаточно трудоемкий за счет большого объема ручной работы, а также сильной трудоемкости сравнения данных с использованием графов на последнем этапе анализа. Данная методика атрибуции текстов реализована в программе анализа статистических особенностей текстов “Historical Text Analyzer” [3]. Разбивка текста и выставление пометок о частях речи в программе осуществляется с использованием специальных словарей.

К методам атрибуции, не требующим предварительной обработки текста можно отнести атрибуцию минимальной условной сложности сжатия (МУСС). Суть метода заключается в том, чтобы к тексту, принадлежащему конкретному автору, добавлять исследуемый текст и проверять, насколько хорошо сжимается полученный текст. Автор проверяемого документа тот, с чьим текстом он сжимается лучше всего. Проведенные исследования показали, что различные программы сжатия определяют истинных писателей довольно часто на текстах большого объема. Наибольшей точностью (71%) обладает программа rarw, использующая модификацию алгоритма LZ (сжатие без потерь по методу Лемпеля-Зива). МУСС-атрибуция изучалась также в рамках применения для спорных музыкальных текстов, для построения филогенетических деревьев различных видов. Теоретические оценки мощности данного метода в настоящее время отсутствуют. Предполагается, что при дальнейшем развитии метода он может превзойти другие атрибуторы. Данный метод реализован в системе «Лингвоанализатор 3-е».

Алгоритм, применяющийся в интернет-сервисе «Антиплагиат» также осуществляет проверку без предварительной обработки атрибутируемого текста. Поиск совпадений осуществляется методом сравнения последовательностей символов без учета языковых особенностей и речевых взаимосвязей. За счет этого достигается высокая скорость поиска совпадений. Система не позволяет определять заимствованный текст, если в каждом предложении было убрано либо добавлено хотя бы одно слово. В связи с этим на сегодняшний день существуют программы, позволяющие обойти проверку с помощью данной системы.

Методы классификации с помощью опорных векторов основываются на том, что задачу атрибуции можно привести к задаче классификации. Все тексты, в том числе и выбранные для обучения, разворачиваются в один вектор, индексами в котором выступают слова. Выделяются два множества из обучающей выборки: точки, принадлежащие данному автору и принадлежащие кому-то другому. Для этого строят гиперплоскость с помощью метода опорных векторов. Для анализа неизвестного текста необходимо выяснить, в какую часть пространства он попал. На основе данного метода разработан программный комплекс «Авторовед», исследуемый текст не подвергается первоначальной обра-

ботке.

На сегодняшний день не существует универсального метода атрибуции. Набор характеристик текста, позволяющий достоверно подтверждать авторство, также не определен. Анализ существующих методов атрибуции показал, что наиболее перспективен метод на основе статистических параметров текста, а именно: число абзацев, наиболее частые триграммы, оценка биграмм вида гласная-гласная, гласная-согласная, согласная-гласная, согласная-согласная, а также оценка текста по гистограммам длин слов.

Литература

1. Бородкин Л.И. Математические методы и компьютер в задачах атрибуции текстов // От Нестора до Фонвизина. Новые методы определения авторства / под ред. Л.В. Милова. М., 1994.

2. Кукушкина О.В., Поликарпов А.А, Хмелёв Д.В. Определение авторства текста с использованием буквенной и грамматической информации // Проблемы передачи информации. М.: Наука, 2001. Т. 37. № 2. С. 96–108.

3. Осиновский Д.Э., Ровный А.С., Новицкий Д.В. Компьютеризованный текстологический анализ исторических документов: возможности программы НТА// Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер». М., 1998. № 22.

И.В. Гудкова, студентка; рук. Е.А. Панкртова, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АТРИБУЦИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ЕГО СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Долгое время споры об авторстве какого-либо произведения решались на основе литературно-исторических или филологических методов. Однако они довольно-таки трудоемки и не дают абсолютной гарантии правильности оценки в зависимости от аналитических способностей и эрудиции исследователя. В настоящее время для установления авторства применяется множество подходов из математической статистики и теории вероятностей. Современный уровень развития информационных технологий позволяет использовать компьютерные средства для решения задач атрибуции. Разработаны различные программные средства, использующие алгоритмы нейронных сетей, теорию распознавания образов, различные математические и статистические метолы.

На сегодняшний день не существует универсального метода атрибуции. Различные методы атрибуции отдают предпочтение различным характеристикам текста. Проанализировав разработанные методы атрибуции можно сделать вывод о том, что необходимо проводить изыскание новых или совершенствование существующих методов атрибуции текста, для поиска характеристик, позволяющих однозначно идентифицировать автора неизвестного текста.

На наш взгляд, использование именно математико-статистических методов при анализе текста дает наиболее полную и точную информацию о его авторе.

Статистические характеристики позволяют получить информацию о частотности букв и буквосочетаний, какие слова и словосочетания наиболее часто

используются. Получить данные сведения можно в специальных частотных словарях [1]. Данные словари имеют широкое применение при решении широкого круга задач: лингвистические исследования, составление словарей, анализ текста, информационный поиск, проверка на плагиат. На основе частотных характеристик можно решать задачи атрибуции.

Важными характеристиками текста являются повторяемость различных его элементов: букв, k-грамм, слов, словосочетаний, чередование согласных и гласных.

В основе разработанного метода лежит предположение о том, что устойчивыми характеристиками авторского стиля являются число абзацев, наиболее частые триграммы, оценка биграмм вида гласная-гласная, гласная-согласная, согласная-гласная, согласная-согласная, а также оценка текста по гистограммам длин слов.

Пусть n(A) – повторяемость элемента A, т.е. число его употребления в тексте. Величина n(A) – абсолютная, следовательно, не дает полного представления об исследуемом документе, вместо нее используются относительные величины. Для текста таковыми являются ранговая и относительная частота элемента.

Обозначим относительную частоту элемента A как p(A). Она равна отношению абсолютной частоты n(A) к общему числу элементов N:

$$p(A) = \frac{n(A)}{N} \tag{1}$$

Данная величина обычно вычисляется на некоторое достаточно большое число элементов (например, 1 000 000). Это позволит сравнивать различные по длине тексты.

Под рангом будем понимать порядковый номер элемента в тексте. Тогда ранговая частота r(A) элемента A – это отношение суммы рангов этого элемента $Sum_{r(A)}$ к сумме все рангов Sum_N:

$$r(A) = \frac{Sum_{r(A)}}{Sum_N} \tag{2}$$

$$Sum_N = N \times \frac{N+1}{2}, \tag{3}$$

где N – общее число элементов.

Оценить ранговую частоту можно продвигаясь по тексту вперед или назад. В первом случае элементы нумеруются от начала текста, во втором случае с конца.

Тексты, написанные на естественном языке, отличаются небольшой разницей в значениях относительной и ранговой частоты. Чем больше частота данного элемента в языке и больше объем текста, тем меньше отличие между ними.

Анализ гистограмм длин слов означает то, что если для всех длин слов, встречающихся в тексте, вычислить их относительные частоты и построить выборочную функция распределения текста по длинам слов, то гистограммы,

построенные для текстов одного автора, будут иметь приблизительно одинаковую форму, отличную от формы гистограмм, построенных для текстов других авторов. Кроме того, расстояние между выборочными функциями распределения для текстов одного автора будет значительно меньше, чем для текстов разных авторов.

В предлагаемом методе рассматривается следующий алгоритм атрибуции текстов по длинам слов. Пусть есть коллекция текстов, чье авторство доподлинно известно (эталонные тексты). Для каждого из них строится выборочная функция распределения по длинам слов. При этом рассматриваются слова длиной не более 8 букв. Они, как правило, составляют не менее 90% всего текста, что вполне достаточно для составления «статистического портрета» текста, доли слов большей длины достаточно малы, чтобы их влияние было практически не заметно, поэтому ими можно пренебречь. Для анонимного текста также строится своя выборочная функция распределения по длинам слов. Затем вычисляются расстояния между функцией распределения анонимного текста и функциями распределения каждого из эталонных текстов. Чем меньше расстояние между функциями распределения, тем больше вероятность того, что исследуемый текст написан автором эталонного текста.

Научная новизна предлагаемого метода заключается в следующем:

1. Принятие итогового решения на основе анализа нескольких характеристик по принципу мажоритарного голосования.
2. Определен новый набор характеристик текста, не исследовавшийся ранее.

Литература

4. Ляшевская, Ю. Н, Шаров, С. А. Новый частотный словарь русской лексики: [Электронный документ]. – (http://dict.ruslang.ru/freq.php). дата обращения 09.03.2019.

Е.А. Зайцева, студент; рук. Л.В. Гадасина, канд. физ.-мат. наук, доцент
(СПбГУ, кафедра информационных систем в экономике, г. Санкт-Петербург)

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ

В настоящее время большинство строительных компаний сталкивается с проблемой ограниченного числа участков, доступных для застройки жилых зданий. В условиях ожесточающейся конкуренции девелоперы проектов на рынке недвижимости стремятся, чтобы их продукт заинтересовал как можно большее количество покупателей, при этом проект должен окупиться и покрыть все связанные с ним затраты. В связи с этим особенно актуальной проблемой для любого участника рынка недвижимости является его ценовая стратегия и конкурентное поведение. Ценообразование на основе сравнения своих цен с ценами конкурентов предполагает ценовые войны, но длительный демпинг в конечном итоге приводит к выравниваю цен на менее выгодном для всех продавцов

уровне. Требуется выбрать такой подход к ценообразованию, который обеспечил бы стабильное конкурентное преимущество.

На примере шведской строительной компании ООО «Бонава Санкт-Петербург» [1] в работе рассматривается подход, позволяющий автоматизировать моделирование различных доступных ситуаций расположения домов. В компании рассматриваются разные архитектурно-строительные концепции, в которых может меняться положение некоторых зданий, и как следствие их поворот. В зависимости от поворота здания меняются такие параметры как стороны света и вид из окон квартир. Эти параметры напрямую влияют на стоимость квартиры. Компания использует дифференцированный подход к ценообразованию, который предполагает неодинаковое наложение коэффициентов на цену квартиры в зависимости от ее маркетингового потенциала. Коэффициенты накладываются на базисную цену в зависимости от параметров квартиры. Чаще всего отдел продаж выбирает следующие параметры, формирующие коэффициенты:

- этаж (по мере возрастания этажей происходит пропорциональное увеличение коэффициентов);
- вид из окна (у каждой секции индивидуальное окружение, в зависимости от которого формируется вид из окна квартир);
- сторона света;
- тип секции (некоторые проекты имеют свою внутреннюю сегментацию, секция, взятая из другого проекта может отличаться по уровню от вновь созданной);
- наличие террасы (в некоторых секциях на последних этажах предусматривается наличие террас или французских балконов);
- количество комнат в квартире.

В компании не было никаких универсальных подходов к тому, как рассчитывать цену на жилье на стадии покупки участка. Расчет стоимости квартиры производился в индивидуальном порядке для каждой квартиры только после того, как участок был куплен. Архитектурно-строительная концепция выбиралась опытным путем без применения математических моделей. В настоящее время количество свободных мест под застройку в пределах города сокращается, и застройщики тратят все больше средств на покупку свободного участка [2]. Как следствие, растет себестоимость всего проекта и цена квадратного метра. В связи с ограниченным количеством свободных участков девелоперам чаще приходится придумывать методы адаптации под текущие условия. В компании было принято решение о разработке модели, рассчитывающей стоимость квартир на этапе создания различных концепций посадки зданий на участок. Такая модель позволит рассчитать стоимость квадратного метра как для каждой квартиры в индивидуальном порядке, так и для всего проекта.

Помимо проблемы, связанной с ограниченным количеством свободных участков, в компании перед архитекторами была поставлена задача разработки типовых секций, которые будут использоваться при строительстве любого проекта. Такой подход используется в скандинавских странах и удобен тем, что

ускоряет процесс формирования концепции участка. Также, важной характеристикой модели является объединение данных нескольких отделов компании: отделом развития выполняется поиск участка, после этого отдел проектирования выполняет макет посадки зданий на участок, а отдел маркетинга определяет параметры, формирующие цену квартиры, полученный файл на выходе является результатом слияния данных от трех отделов.

Целью данной работы является разработка модели, которая позволит рассчитать итоговую стоимость проекта для разных архитектурно-строительных концепций и получить значение планируемых денежных потоков от продажи квартир, и на основе полученных данных найти проектное решение расположения зданий, при котором достигается максимальная цена за квадратный метр.

В работе используется сценарный метод решения задачи. На одном земельном участке может быть разработано несколько видов посадки зданий. Каждая концепция является отдельным сценарием для модели с различной ценой на выходе. Такой метод решения задач применяется в моделях с неоднородными входными данными, но с одинаковым набором вычислений.

Задача включает в себя работу с данными с одинаковыми параметрами, которые можно структурировать в виде таблицы для наглядного представления входящей информации. В строках можно задавать перечень данных, в столбцах параметры, которыми обладает рассматриваемый тип данных. Между заголовком столбца, заголовком строки и их общим элементом устанавливается бессловесная, графическая смысловая связь (например, площадь квартиры в виде числового значения в столбце с названием «Площадь» и в строке, где на месте заголовка указан номер квартиры). На данный момент самым удобным инструментом для работы с электронными таблицами является Microsoft Excel. Помимо огромного количества встроенных функций, в Excel имеется встроенный язык программирования, позволяющий автоматизировать неоднократно повторяющиеся типовые задачи. С помощью управляющих элементов Microsoft Excel интерфейс модели можно разработать под требования руководителя. Одной из главных причин выбора именно такого инструмента для реализации задачи является надстройка Excel – Power Query. Функции Power Query позволяют делать преобразования над загружаемыми таблицами таким образом, чтобы конечному пользователю были доступны только итоговые таблицы – результаты работы сведения таблиц [3]. Такая особенность надстройки Excel помогает не перегружать интерфейс модели и делает программный продукт более закрытым, скрывая формулы и модификации таблиц.

Созданная модель позволяет проецировать концепцию, сделанную архитектором, в плоскую таблицу, где отображаются основные параметры, необходимые для дальнейших расчетов. Для удобства использования модели пользователем необходимо выбрать параметр, с помощью которого можно осуществлять поворот секции прямо в модели с пересчетом цен. Также модель должна учитывать разные возможности расположения квартир:

- односторонние квартиры,

- двухсторонние квартиры, выходящие на противоположные стороны света,
- угловые квартиры, имеющие смежные стороны светы.

В связи с чем были выбраны 2 параметра, которые выступали в роли ключей для модели: количество сторон и привязанность к входу в секцию, которая отражает расположение квартиры относительно этого входа: квартира может располагаться на той же стороне, что и вход, на противоположной, а также на правой или левой боковой стороне. При построении концепции необходимо менять только значения ключей, все остальные показатели пересчитываются автоматически. На рисунке 1 представлен пример секции.

Рисунок 1. Пример секции здания.

Модель апробировалась на двух принципиально отличающихся архитектурных концепциях. На одной здания размещаются в виде буквы «П» и создают полуоткрытый двор, на другой здания расположены параллельно. Помимо расположения зданий концепции имеют различия в используемых секциях. В сценарии с параллельным расположением зданий в некоторых корпусах предусматриваются террасы на последних этажах, для учета которых используются повышающие коэффициенты. Мнения руководителей в выборе концепции разошлись, так как одна концепция выглядит уютнее, но с меньшим числом квартир, другая концепция предусматривает большее число квартир, но в ней используются не совсем типовые секции. Для таких разных концепций без расчетов трудно найти различия с экономической точки зрения.

При вводе параметров для двух концепций цена за м2 за весь проект получается больше у концепции с большим числом квартир и с параллельным расположением зданий. Помимо средней цены за м2 итоговая выручка по всем квартирам за проект (которая получается путем суммы произведения рассчитанной индивидуальной цены за м2 квартиры на площадь квартиры) также получилась больше у второго проекта. Таким образом, если оба проекта привлекательны с внешней точки зрения и имеют одинаковые затраты, то целесообразнее выбрать концепцию с большим числом квартир. Пример работы модели показан на рисунке 2.

Number of apartments	Saleable area	Amount	Average price w/o discount per sqm	Average area	Average price per appt w/o discount
345	19642,12	2 586 937 323	131 154	56,92692308	7 485 062
419	19947,84	2 638 065 530	132 317	47,75244898	6 314 514

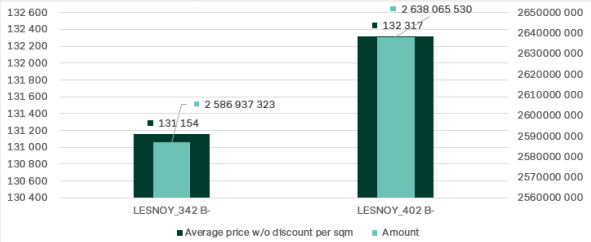


Рисунок 2. Результат работы модели.

Таким образом, построенная модель служит для поддержки принятия решений и позволяет экономически обосновать выбор конкретной архитектурно-строительной концепции, а также провести детализированный анализ различия цен для разных типов квартир.

Список литературы

1. Официальный сайт компании. URL: https://www.bonava.ru/ (дата обращения: 02.03.2019).
2. Перемены неизбежны: динамика рынка недвижимости Санкт-Петербурга в 2017 году // Путеводитель по рынку недвижимости. 2017. URL: https://spbhomes.ru/science/dinamika-rynka-nedvizhimosti-pervichnogo-zhilja/ (дата обращения: 02.03.2019).
3. Chris Webb's BI Blog, Microsoft Power BI, Analysis Services, MDX, DAX, M, Power Pivot and Power Query. 2018. URL: https://blog.crossjoin.co.uk/category/power-query/ (дата обращения: 02.03.2019).

К.З. Зырянова, студентка; рук. М.И. Зернов, д.в.н., профессор
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПИСАНИЕ СПОСОБА АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН

В статье представлен обобщенный алгоритм аутентификации пользователей в распределенной информационной системе на примере системы контроля и управления доступом.

Ключевые слова: блокчейн, распределённая информационная система, аутентификация, алгоритм, алгоритм консенсуса, СКУД.

На сегодняшний день фактически все крупные информационные системы носят распределенный характер. Под распределенной системой в данном случае понимается система, в которой вычисления сосредоточены не на одном вычислительном узле, а на нескольких, участвующих в этой сети [2, 4]. Существуют различные типы распределенных информационных сетей. Рассмотрим систему контроля и управления доступом [1]. Такие системы, как правило, являются централизованными системами, у которых основная информация о пользователях и их правах хранится на общем сервере. Такой подход во многом является небезопасным, и в любой момент сервер может дать сбой, что нарушит работу всей системы.

Для устранения вышеупомянутых проблем с защитой и отказоустойчивостью, архитектуру системы контроля и управления доступом можно спроектировать, внедрив современную технологию блокчейн.

При данном подходе общая база данных [5], которая хранит информацию о пользователях и их правах доступа к некоторым ресурсам (в прозрачном виде), будет рассредоточена на всех элементах информационной сети.

В данной статье охарактеризована система контроля и управления доступом, которая будет создана в рамках магистерской диссертации, а также алгоритм работы аутентификации пользователей на основе технологии блокчейн.

1. Аутентификация

К классической категории средств защиты коммуникационных информационных систем (глобальных, корпоративных, локальных), относят аутентификацию.

Механизмы аутентификация предполагают использование различных характеристик пользователей для обеспечения защиты от несанкционированного доступа к ресурсам.

Технология блокчейн имеет невероятный потенциал и может стать поворотной точкой в развитии аутентификации пользователей в распределённых информационных системах.

Блокчейн-технология, в основу которой входит распределённая база данных, хранящая информацию обо всех транзакциях участников системы в виде «цепочки блоков» [6]. Доступ к базе данных есть у всех пользователей распределенной информационной сети, использующей блокчейн-технологию.

Передача данных в блокчейн-технологии контролируется и осуществляется с использованием криптографических методов, что свидетельствует о ее надежности по сравнению с традиционными системами.

База данных блокчейн состоит из последовательности транзакций, информация о которых хранится одновременно на множестве рассредоточенных компьютеров. Подделать или удалить такие сведения достаточно сложно: именно эта особенность делает блокчейн-технологию такой перспективной для использования во многих сферах.

Ядром блокчейн-технологии можно назвать механизм консенсуса. Для каждой из задач он имеет специфический алгоритм работы и должен быть тщательно выбран, исходя из характерных особенностей распределенной информационной системы.

2. Система контроля и управления доступом

Система контроля и управления доступом - совокупность программно-аппаратных средств, предназначенные для обеспечения санкционированного доступа к ресурсу для определенного круга лиц [3].

Цель контроля доступа - предоставить возможность входа в систему и получения каких-либо данных только тем, кто был уполномочен ими пользоваться. Электронные системы контроля доступа обеспечивают быстрый и удобный доступ авторизованным лицам и делают невозможным доступ для несанкционированных пользователей.

Под ресурсами понимаются любые виды информации, к которой определенному человеку нужно получить доступ (это может быть электронная информация, это может быть доступ к зданиям и т.д.).

Основные задачи:

- Ограничение несанкционированного доступа в систему;
- Аутентификация пользователя;
- Обеспечение неизменности данных в базе данных.

В системе присутствуют следующие ограничения:

- От 1 до 1000 пользователей;
- Независимость от прозрачности данных и операций, протекающих в системе;
- Отказоустойчивость работает в том случае, когда в системе более 51% узлов валидны.

Система обеспечивает выполнение следующих функций:

- автоматическая журнализация добавления, удаления, изменения прав доступа пользователя в системе;
- предоставление определенных прав пользователям;
- защита от несанкционированного доступа;
- предоставление информации, прошедшим успешно аутентификацию пользователям;

3. Описание алгоритма функционирования

Для того, чтобы все операции протекали в безопасном ключе, будет применено шифрование данных. В качестве метода аутентификации принята аутентификации на основе ЭЦП [5, 6].

При регистрации нового пользователя в системе, для него в приложении будет сгенерировано два ключа: открытый и закрытый.

Закрытый хранится только на устройстве пользователя, в то время как открытый отправляется в общую базу данных, и далее распространяется на всех устройствах в качестве информации о новом пользователе. Открытый ключ служит для определения правильности операций, протекающих в системе.

Если пользователь хочет добавить, удалить или изменить права для нового пользователя, его действия шифруются при помощи его закрытого ключа и отправляются на другие устройства, которые могут проверить правильность операции, имея открытый ключ пользователя, совершающего операцию.

При этом вступают в работу алгоритм консенсуса между пользователями сети, что позволяет проверить правильность информации.

При добавлении нового пользователя, на остальных устройствах обновляется база данных. Добавляется новая транзакция с новыми данными.

Транзакция представляет собой строку из таблицы с данными о пользователе. В ней есть поле с хэшем с предыдущей транзакцией (рисунок 1). Таким образом формируют цепочку данных:

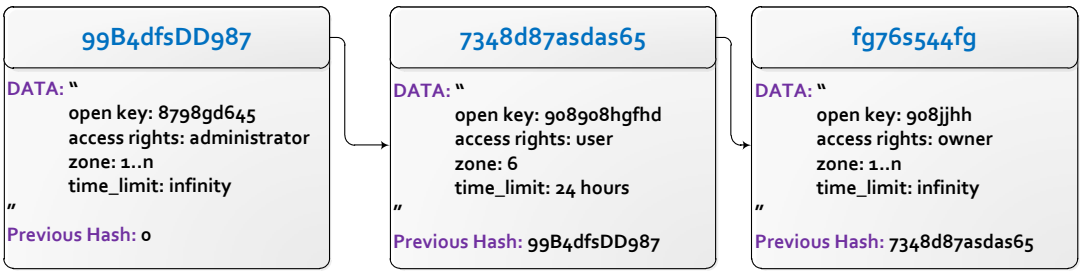


Рисунок 1 – Цепочка блоков, включающих транзакции

После обновления таблицы на локальном устройстве, остальные устройства должны подтвердить валидность операции. Количество устройств для подтверждения выбирают исходя из алгоритма консенсуса, основанного на алгоритме «важности» (Proof-of-Importance).

После согласования большинством устройств изменений в системе, а именно проверкой мог ли администратор вообще подключить нового пользователя, данные постепенно подтверждаются и синхронизируются, после чего новый пользователь может получить доступ к ресурсу.

Алгоритм работы приведен на рисунке 2.

В результате разработан способ аутентификации пользователей в распределенных информационных системах на основе технологии блокчейн. Приведенный способ имеет весомые преимущества перед существующими по двум основным критериям:

- несанкционированный доступ в такой системе будет произвести гораздо сложнее, так как аутентификация производится не на одном главном устройстве (сервере), а за счет участников сети;
- повышение отказоустойчивости за счет распределенного хранения информации, так как система не зависит от работы центрального сервера.

Оценка данных критериев будет выполнена в выпускной квалификационной работе.

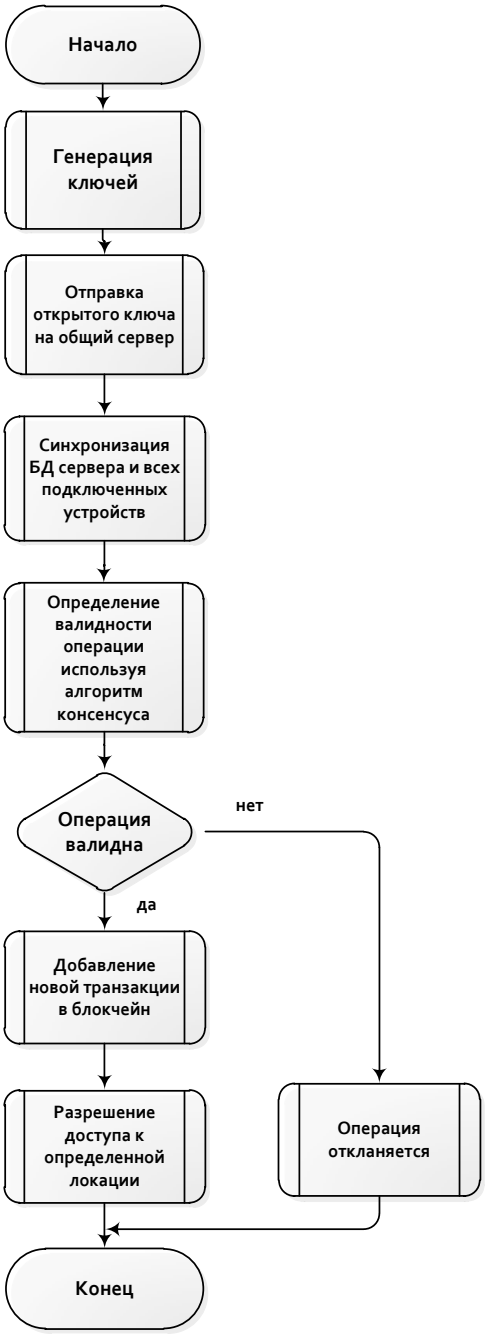


Рисунок 2 – Алгоритм работы аутентификации пользователя в распределенной системе хранения данных с использованием технологии блокчейн

Литература

1. Ворона В. А., Тихонов В. А. Системы контроля и управления доступом //ООО «Научно-техническое издательство - 2010. - 272 е.: ил – 272 с.
2. Додонов М. В., Сопченко Е. В. Распределенная обработка данных в современных СУБД - Самара, 2010 С. 95-97.
3. Зернов М. И., Зырянова К. С., Обзор методов хранения данных в системе видеонаблюдения и контроля доступа, Постулат, вып. 10, 2018, стр. 7-8.
4. Найханова Л.В. Распределенная обработка данных - Издательство ВСГТУ, Улан-Удэ, 2001 С. 30-32.
5. Скакун В. В. Системы управления базами данных - Минск: БГУ, 2007 С. 101-104.
6. Imran Bashir, Mastering Blockchain: Deeper insights into decentralization, cryptography, Bitcoin, and popular Blockchain frameworks, 2017, p. 19-20.

Н.И. Казаченко, студ.; рук. В.И. Борисов, д. ф.-м. н., проф.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ РЕШЕТЧАТЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Для повышения чувствительности и разрешающей способности неразрушающего акустического контроля часто используются излучающие фокусирующие пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП), в виде фазированных решеток состоящих из отдельных пьезоэлектрических элементов различной формы, на которые подаются возбуждающие электрические сигналы с различными фазами. Применение таких ПЭП в неразрушающем акустическом контроле позволяет также повысить достоверность контроля. Так как акустическое поле ПЭП формируется в результате интерференции когерентных акустических волн, то кроме основных максимумов оно содержит ряд дополнительных, которые могут влиять на эффективность работы ПЭП.

В предлагаемой работе приведены результаты численного анализа акустического поля излучения фокусирующего пьезопреобразователя в виде кольцевой решетки, состоящей из 17 концентрических кольцевых пьезоэлементов, на которые возбуждающие электрические сигналы подаются в одной фазе, т. е. ПЭП представляет собой акустический аналог оптической зонной пластинки Френеля.

Расчетная схема такого ПЭП приведена на рисунке 1.

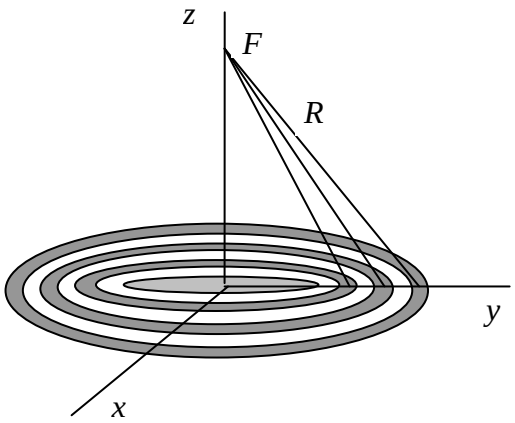


Рисунок 1 – Схема кольцевой фокусирующей фазированной решетки

Параметры решетчатого пьезопреобразователя выбирались таким образом, что радиус кольцевых пьезоэлементов выбирался таким, чтобы расстояние от центра соседних колец до выбранной фокальной точки *F* отличалось на длину волны в пространстве, где распространяются акустические волны. Для устранения влияния соседних кольцевых элементов друг на друга кольцевой зазор между элементами выбирался равным половине длины акустической волны в области ее распространения.

Расчеты акустического поля излучения проводились для резонансной частоты пьезоэлементов 5 МГц, и длины волны 0,3 мм, что соответствует нагружению ПЭП на водную среду.

Результирующая величина акустического давления P (в произвольных единицах) в точке F с координатами $0,0,z$ на расстоянии R от элементарного излучателя площадью dS, расположенного в точке с координатами x, y, 0 с применением методики расчета пьезоэлектрических преобразователей, приведенной в работе [1], будет определяться следующим выражением:

$$P(0,0,z) = \sqrt{\left(\sum_0^N \frac{rz}{R^2}\cos\frac{2\pi}{\lambda}R\right)^2 + \left(\sum_0^N \frac{rz}{R^2}\sin\frac{2\pi}{\lambda}R\right)^2}, \qquad (1)$$

где λ – длина волны в материале среды, где распространяется акустическая волна;

r – расстояние от центра ПЭП до элементарного излучателя площадью dS.

Полученное выражение (1) позволяет определить амплитуду давления P акустической волны в относительных единицах, генерируемой кольцевым решетчатым ПЭП в любой точке его оси.

Расчет акустического поля излучения проводится следующим образом. Сначала производится расчет структуры кольцевого пьезопреобразователя путем выбора количества кольцевых пьезоэлементов, расстояния между отдельными элементами и ширину и диаметр отдельных колец для определенного фокусного расстояния от плоскости пьезоэлементов до фокальной точки F, а затем на основании формулы (1), проводится расчет акустического поля излучения ПЭП.

К примеру, на рисунке 2 приведена зависимость давления акустических волн вдоль оси пьезопреобразователя для фокусного расстояния 100 мм с шириной колец, равной половине длины волны.

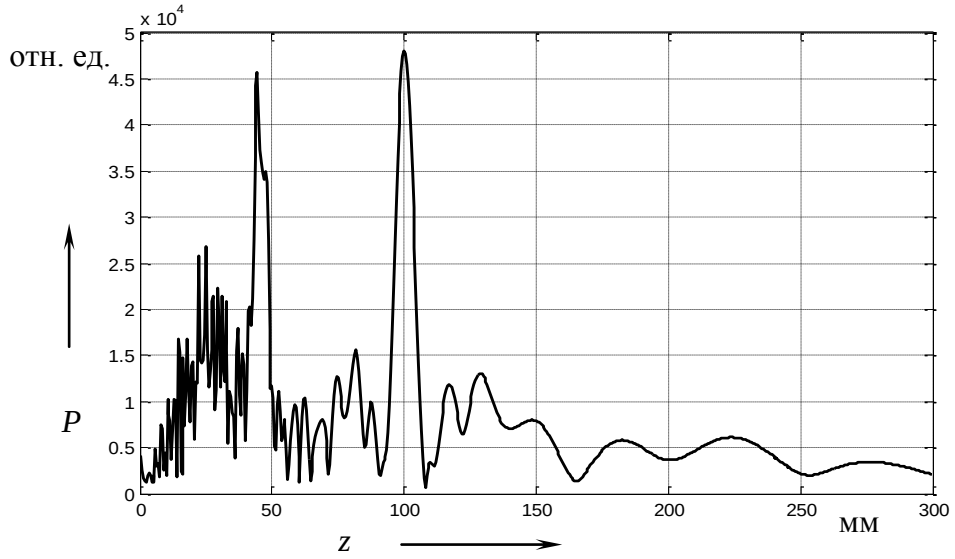


Рисунок 2 – Распределение давления акустических волн вдоль оси пьезопреобразователя при при рассчитанном фокусном расстоянии 100 мм

Из приведенного рисунка 2 видно, что акустическое поле вдоль оси кольцевого решетчатого пьезопреобразователя отличается от акустического поля активных концентраторов на основе вогнутых пьезопластин различной формы [2]. Так для решетчатого ПЭП кроме неупорядоченных осцилляций акустического давления в ближней зоне наблюдается дополнительный фокус, расположенный на расстоянии 45 мм кроме рассчитанного фокуса с фокальным расстоянием 100 мм. Анализ акустических полей кольцевых ПЭП, рассчитанных для других фокусных расстояний показал, что дополнительный фокус в ближней зоне наблюдается на расстояниях, приблизительно в два раза меньше рассчитанных фокусных расстояний. В дальней зоне кольцевых ПЭП наблюдается нерегулярные осцилляции акустического давления.

Рисунок 3 иллюстрирует распределение давления акустических волн 17 элементной кольцевой решетки в зависимости от радиуса r в плоскости рассчитанного фокусного расстояния 100 мм.

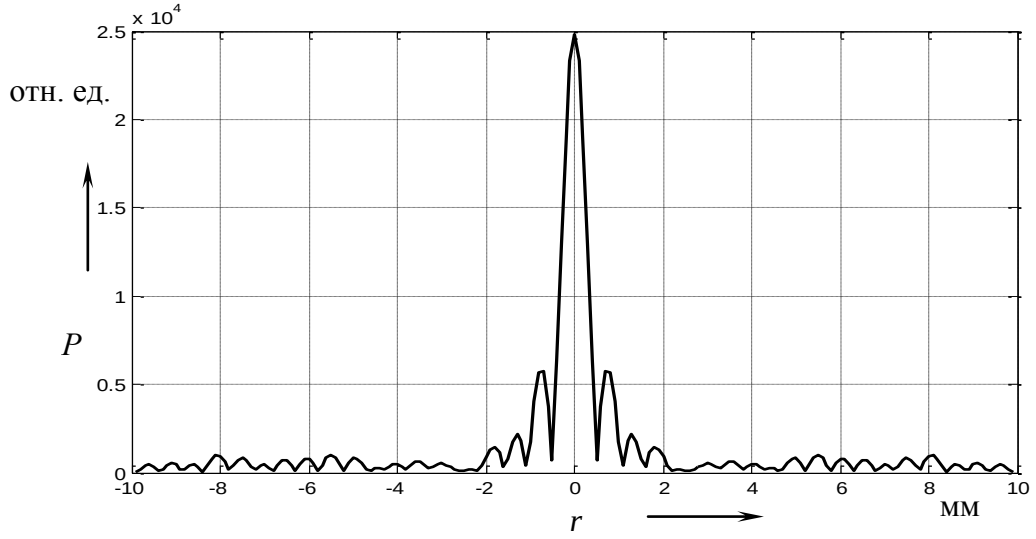


Рисунок 3 – распределение акустического давления в плоскости, перпендикулярной оси пьезопреобразователя на расстоянии 100 мм

Из рисунка 3 видно, что в области основного фокуса вся энергия акустических волн формируется в виде акустического пучка, диаметр которого по уровню половинной амплитуды равен 1,6 мм.

Анализ акустического поля рассматриваемого ПЭП показал, что оно имеет аналогичный вид как для ширины пьезоколец равной половине длины волны, так и для колец шириной в длину волны, а также и для колец с различной шириной, но равной площадью.

Литература

1 Борисов, В. И. Тонкая структура акустического поля излучения пьезопреобразователей на основе круглых пьезопластин / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, А. С. Никитин. – Вестник Белорусско-Российского университета. – 2015, № 4(48). – С. 102-108.

2 Борисов, В. И. Акустическое поле излучения активных концентраторов на основе пьезопластин в виде поверхностей второго порядка / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, В. А. Новиков, Е. Н. Прокопенко. – Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018, №1(58). – С. 104-111.

М.В. Канищев, асп.; рук. В.П. Мешалкин академик РАН, д.т.н., проф.
(Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева)

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ ВНЕШНИХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ НА ЭТАЛОННЫХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ ПРИ ИХ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ

Конкурентоспособность отдельных предприятий определяется востребованностью выпускаемых продуктов и величиной издержек на их производство. Уменьшение издержек связано или с освоением новых технологий производства или с усовершенствованием существующих. Опыт показывает, что и новые технологии со временем нуждаются в оптимизации.

Для того чтобы эффективно управлять промышленным предприятием необходимо знать насколько оно эффективно по сравнению с подобными предприятиями, и представлять, где, как, и на сколько можно снизить величину издержек производства.

В настоящее время указанные проблемы решаются с помощью систем бенчмаркинга, которые представляют методологию анализа и инструменты повышения эффективности, и производительности промышленных предприятий. В настоящее время широко используются методы бинчмаркинга, основанные на определении лучших практик [1].

Методы бинчмаркинга, основанные на эксергетическом [2] также не дают конструктивного подхода достижения лучших практик.

В данной работе предлагается энергетический бенчмаркинг, основанный на методах Process Integration и большом опыте разработки мероприятий по снижению удельного энеогопотребления на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах [3]. В основании предлагаемой в работе методики бенчмаркинга лежат не только фундаментальные законы Интеграции Процессов, но и результаты обследования 11 нефтеперерабатывающих заводов, включающее обследование и интеграцию 170 отдельных установок и промышленных объектов. Обследование проводилось во всех сезонах и широких климатических условиях, включающих и влажный климат Балкан и Дальнего Востока, зной Среднеазиатских степей и мороз Сибирской тайги. Обследованы различные режимы работы предприятий, для различного вида сырья, которое уже было использовано для переработки.

Были определены все технологические параметры процессных потоков, теплофизические данные во всех рабочих диапазонах температур определены в заводских лабораториях. Для всех обследованных заводских процессов определены термодинамически обоснованные, экономически выгодные и технически достижимые значения минимального удельного энергопотребления. Разработанные проекты энергоэффективной реконструкции реализуются, в настоящее время, на 23 установка.

Выполнив обследование более ста технологических установок на НПЗ мы видели, что в настоящее время на установках переработки нефти применяются

современные высокоэффективные теплообменные аппараты, такие как спиральные ТО, пластинчатые компаблоки, разборные и сварные пластинчатые теплообменные аппараты, кожухопластинчатые блоки для высоких давлений. Температура недорекуперации в таких ТО может достигать ~ 10°С, поэтому в качестве минимальной разности температур между теплоносителями в системе рекуперации тепловой энергии эталонной установки выберем значение ΔT_{min}=10°С.

Для того, чтобы определить энергопотребление обследуемой установки при ΔT_{min}=10°С воспользуемся аппаратом составных кривых [60]. Холодная и горячая составные кривые являются зависимостями, связывающими изменение суммарной потоковой энтальпии холодных технологических потоков для холодной составной кривой, во всем диапазоне температур подсистемы холодных потоков, и горячих для горячей составной кривой, также во всем диапазоне температур горячих потоков.

Для построения, например, холодной составной технологических потоков установки весь диапазон температур в котором находится подсистема холодных технологических потоков установки разбивается на температурные интервалы, границами которых являются начальные и конечные температуры холодных потоков T_{Ck}. Затем вычисляется суммарное изменение потоковых энтальпий в *k*-м температурном интервале.

$$\Delta H_{Ck} = \sum_{i=1}^{I_k} CP_{Cki}\left(T_{C(k+1)} - T_{Ck}\right) + \sum_{l=1}^{I_{rk}} r_{Ckl} M_{Ckl}, \quad (1)$$

где CP_{Cki} – потоковая теплоемкость *i*-го холодного потока, находящегося в k-м температурном интервале; r_{Cki} – скрытая теплота фазового перехода первого рода *l*-го холодного потока в *k*-м интервале; I_k – количество холодных потоков в *k*-м интервале; I_{rk} – число холодных потоков с фазовым переходом в *k*-м интервале; M_{Ckl} – массовый расход *l*-го холодного потока в *k*-м интервале; I_k – количество холодных потоков в *k*-м интервале.

Заметим, что если технологический поток в пределах изменения своей температуры имеет фазовый переход и изменение температуры, то он сегментируется, представляется в потоковой таблице, как несколько потоков – латентный и потоки с изменяющимися температурами.

Затем в декартовых температурно-энтальпийных координатах для каждого температурного интервала фиксируется (откладывается) вычисленное изменение потоковой энтальпии в нем. Таким образом мы получаем функцию связывающую температуру потоков и общее изменение их потоковой энтальпии. При этом интервальные температуры фиксированы процессом (регламентом), поэтому мы фиксируем значение H_{C0} на энтальпийной оси для минимальной температуры холодной составной кривой и от него начинается ее построение. Затем значение H_{C0} мы можем менять, т.е. перемещать кривую вдоль энтальпийной оси, поскольку важно только изменение энтальпии технологических потоков при изменении их температуры.

Для определения полезной тепловой нагрузки на эталонную установку, строим составную кривую горячих технологических потоков процесса, т.е.

определяем функцию *FTh*(*H*), которая возвращает значение температуры системы горячих потоков в зависимости от изменения их потоковой энтальпии от некоторого начального значения *Hh*0 (Рис.2.).

После этого задаваясь начальным значением потоковой энтальпии $H0_1$, определяется функция *FTc(H)* для холодной составной кривой. Значение $H0_1$ выбираем так, чтобы оно располагалось на окончании горячей составной кривой. Затем начало холодной составной кривой сдвигаем влево на величину *dH*, и перестраиваем холодную составную кривую для нового начального значения потоковой энтальпии $H0_1 - dH$.

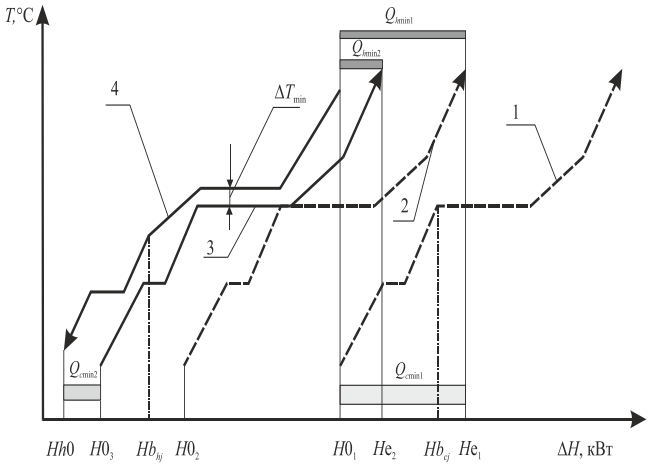


Рис. 1. Определение полезной нагрузки на горячие утилиты эталонной установки. 1 – начальное положение холодной составной кривой; 2 – сдвиг холодной составной кривой до достижения заданного значения ΔT_{min}; 3 – конечное положение холодной составной; $Q_{H\min}$ – полезная нагрузка на горячие утилиты; $Q_{C\min}$ –нагрузка на холодные утилиты.

После каждой сдвижки определяем разности температур между кривыми во всех точках излома горячей составной кривой Hb_{hj} включая начало и конец горячей кривой, и во всех точках излома холодной составной кривой Hb_{cj} включая начало и конец холодной кривой.

$$\Delta T_j = FTh\left(Hb_{hj}\right) - FTc(Hb_{hj}),\ \forall\ Hb_{hj} \in FTh, \quad (2)$$

$$\Delta T_j = FTh\left(Hc_{hj}\right) - FTc(Hc_{hj}),\ \forall\ Hc_{hj} \in FTc, \quad (3)$$

Выполняем эту процедуру только в области рекуперации тепловой энергии, т.е. там, где проекции кривых совмещаются на энтальпийной оси.

Вместе с этим вычисляем изменение потоковой энтальпии необходимое для нагрева горячих потоков в непокрытой горячей кривой части холодной составной кривой, т.е.

$$Q_{H\min} = H0_3 - Hh0. \quad (4)$$

Это значение и будет являться полезной нагрузкой горячих утилит эталонной системы.

Повторяем описанную процедуру до тех пор, пока не выполнится строгое условие:

$$\Delta T_j < \Delta T_{min}. \quad (5)$$

После этого возвращаемся на предыдущий шаг для определения полезной нагрузки горячих утилит эталонной установки.

Строгое неравенство (5) нам необходимо потому, что, если случится так, что разность между температурами фазовых переходов на горячей и холодной составной кривой будет равна $\Delta T_{\min}$, то при нестрогом условии будет неверно

Рис. 2. Блок-схема программного модуля для определения полезной мощности горячих утилит эталонной установки

определена полезная нагрузка горячих утилит эталонной системы, как показано на рисунке 1. В этом случае полезная нагрузка горячих утилит эталонной установки составит значение Q_{Hmin2}.

Блок–схема описанного алгоритма показана на рисунке 2.

После определения полезной нагрузки горячих утилит можно вычислить показатель энергоэффективности нефтеперерабатывающей установки:

$$\varepsilon_{energy} = \frac{Q_{Hreal} - Q_{Hmin}}{Q_{Hreal}}, \quad (6)$$

где Q_{Hreal} – существующая полезная мощность горячих утилит на установке.

Описанный алгоритм реализован, как один из объектов, в программном обеспечении *Anselm Ecosystem,* который разработан для проведения сравнительного анализа энергоэффективности нефтеперерабатывающих установок и НПЗ.

Сравнительный НПЗ состоит из следующих этапов:

1. Сбор и заполнение таблицы исходных данных.
2. Верификация.
3. Расчет показателей энергоэффективности.
4. Визуализация.
6. Постановка целей по повышению энергоэффективности. Описанный алгоритм представлен в блок-схеме на рисунке 3.

С помощью разработанного математического обеспечения были вычислены полезные нагрузки горячих утилит эталонных установок для нескольких десятков обследованных установок первичной переработки нефти. Это позволило провести статистическую обработку результатов и получить регрессионную зависимость, определяющую полезную нагрузку на внешние горячие энергоносители в зависимости от основных влияющих факторов, которые были определены при статистической обработке.

$$Q_{Hmin}(10\,℃) = 0.504 - 14F_S + 1.43 \times 10^{-8} \times W - 4.08 \times 10^{-4} \times N_C - \\ -1.803 \times 10^{-2} \times N_f - 0.31 \times t_1 - 4.07 \times 10^{-7} \times S_E - \\ -0.517 \times 10^{-1} \times t_2 + 243.67 \times F_S^2, \quad (7)$$

где F_S – удельное потребление топлива; W – потребление сырой нефти; N_C– число холодильников; N_f– количество печей; S_E – существующая площадь поверхности теплообмена; t_1 – температура входа сырой нефти в первую колонну; t_2– температура входа отбензиненной нефти во вторую колонну.

Среднеквадратичное отклонение зависимости (7) от данных полученных с помощью программного обеспечения *ANSELM Ecosystem* не превышает 10^{-6}.

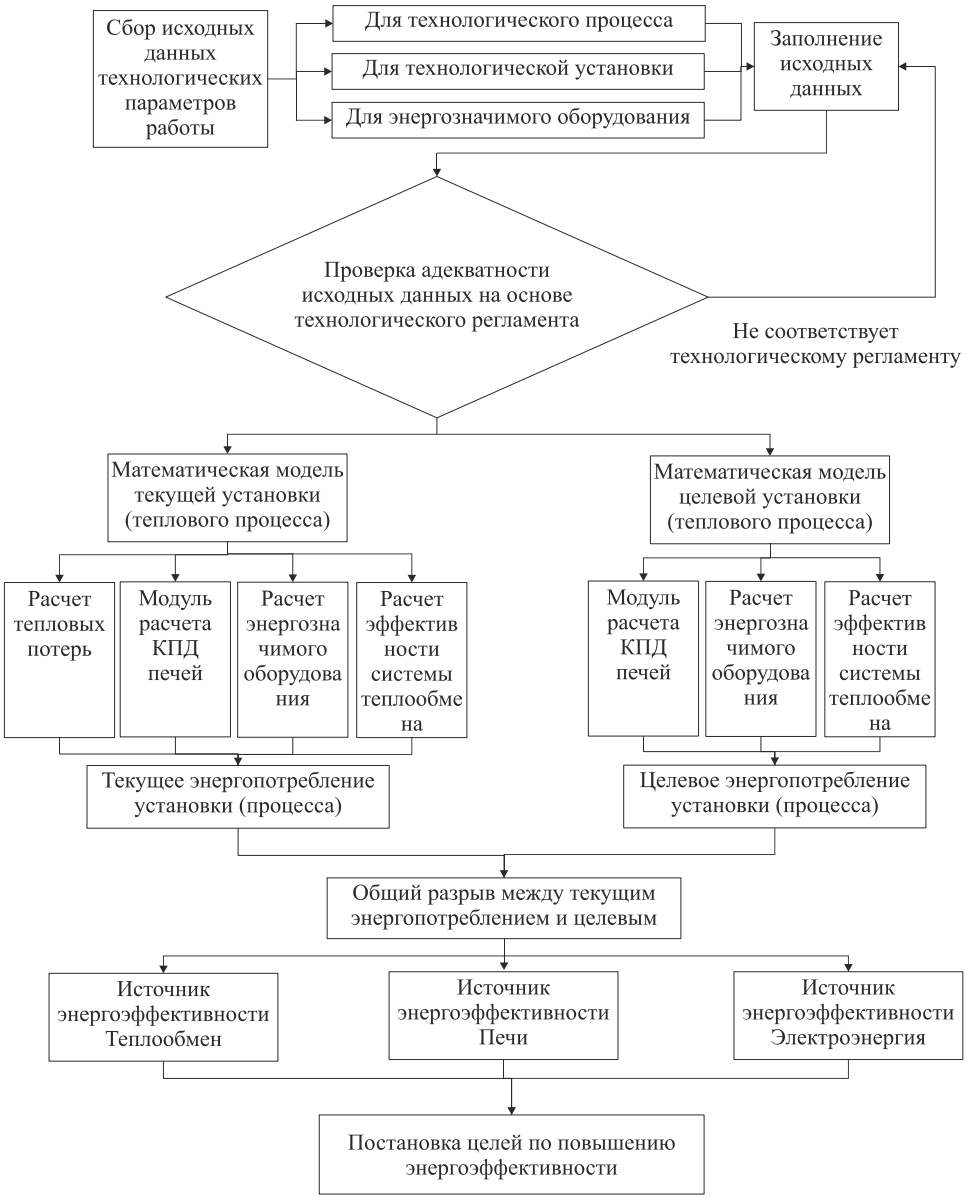


Рис. 3. Блок-схема расчета показателей энергоэффективности и постановки целей по повышению энергоэффективности.

Литература

1. Ke J., Price L., McNeil M., Khanna N.Z., Zhou N., 2013, Analysis and Practices of Energy Benchmarking for Industry from the Perspective of Systems Engineering, Energy, 54, 32–44
2. Meshalkin V.P., 2009, Resource- and Energy-efficient Energy Supply and Waste Minimization Techniques for Refineries: Theoretical Fundamentals and Best Practices, Chemistry, Moscow – Genoa.
3. Kanischev M.V., Ulyev L.M., Chibisov R.E., Vasilyev. M.A. Benchmarking for Refinery Units // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol.70. P.1099-1104. DOI: 10.3303/CET1870184.

Д.И. Киров, асп.; рук. Г.Б. Бронфельд, к.т.н., доцент
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева в г. Н. Новгород)

ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО НАЛОЖЕНИЯ ЗНАНИЙ

Важным моментом в интеллектуальных системах (ИС) является логический вывод, в значительной степени определяющий их эффективность. Имеется множество разновидностей и подходов к его реализации, в том числе для ИС разного назначения, построенных на разных принципах [1]. Рассмотрим некоторые особенности логического вывода (ЛВ) в новых разновидностях ИС – элинге [2], аналитических системах управления знаниями (АСУЗ) [3] и библиотеках аналитического накопления знаний (БАНЗ) [3], основанных на базах знаний (БЗ), построенных по технологии «прямого наложения знаний» (ТПНЗ) [3].

Будем рассматривать научно-техническое направление общей проблематики работы со знаниями. Знания содержатся в неких источниках: книгах, документах, описаниях, стандартах, статьях и т.п. Все эти источники будем называть текстами в соответствии с общепринятым подходом в лингвистике [3,4]. Специалистов, при решении текущих проблем, как творческих, так и совершенно рутинных, интересуют тексты, связанные общим тематическим направлением, близким к их деятельности, и имеющие некоторые внутренние связи между собой. Такое множество текстов называют сверхтекстами [3,4].

Для реализации ТПНЗ в элинге/АСУЗ/БАНЗ используется новый способ моделирования знаний в виде молинг [2, 3], поскольку наиболее известные, такие как продукционные модели, логические модели, семантические сети, фреймы [1] и многие другие, сложны в применении для поставленной задачи. В перечисленных выше существующих моделях два ключевых недостатка – практическая невозможность для большинства известных моделей использовать их в рамках ТПНЗ [1], а также сложность получения после ЛВ ответа в виде достаточно развернутого связного текста. Конечно, во многих практических реализациях ИС это уже научились делать, например, с помощью специальных методов лингвистической обработки, или даже лингвистических процессоров. Тем не менее, это серьезные дополнительные сложности, привносящие свои проблемы при практической реализации.

В состав ИС на основе ТПНЗ входят программные средства, реализующие машину вывода, интеллектуальный интерфейс, БЗ и сервисные и вспомогательные программы. БЗ включает в себя словари терминов, отношений и др. (и их синонимов), собственно знания в виде молинг, расчетные модели, визуальные и графические образы. Обобщенная структура такой ИС представлена на рис.1 [2,3]

Основные режимы работы ИС включают в себя: отдельный режим ввода знаний (формирование БЗ) и рабочие режимы – диалоговый режим работы с пользователем, режим ЛВ, режим вывода исходных текстов и режим когезии.

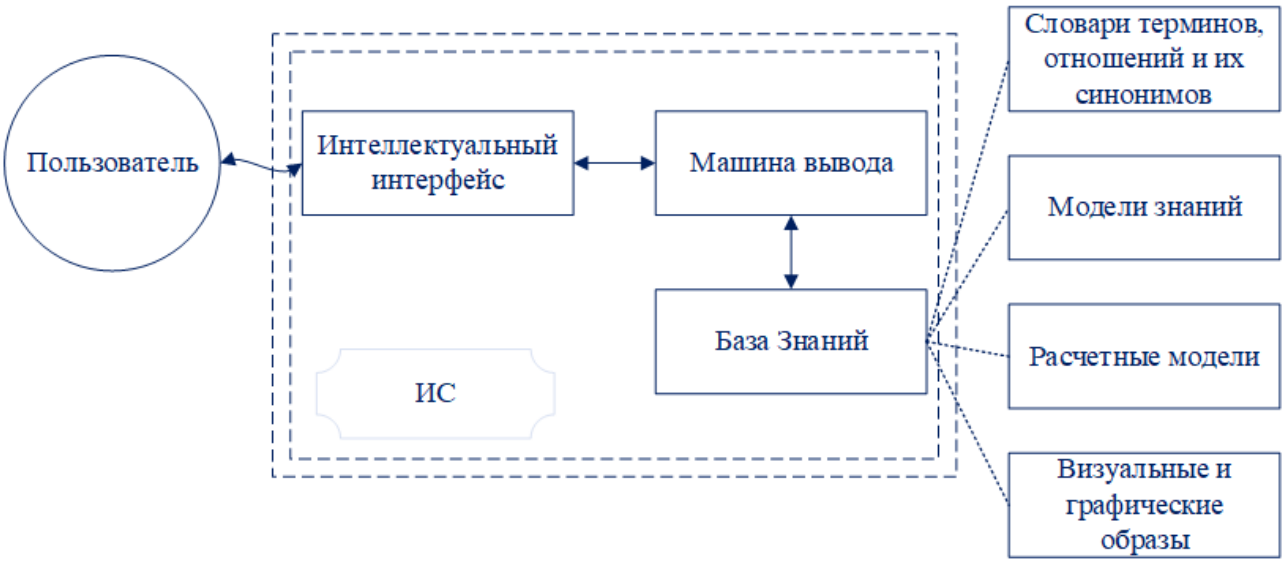


Рис.1. Структура ИС

Рабочие режимы используются или просто для нахождения информации в процессе диалога с мощной БЗ ИС, содержащей достаточно большое количество исходных источников информации и знаний в промоделированном виде, или для нахождения решения в какой-то ситуации, интересующей пользователя.

Для поиска просто информации может использоваться режим вывода текстов, как полностью (режим вывода исходных текстов), в виде, близком к исходному, или, частичном, – в режиме когезии (локальная связность, например, в пределах абзаца, подпараграфа – подход, широко используемый в лингвистике) [4]. Рассмотрим подробнее основной режим ЛВ в ИС, который обеспечивает общий подход нахождения решений с помощью диалого-ассоциативного поиска [3].

Режим ЛВ реализуется отдельной программой - машиной вывода с участием блока БЗ и блока рабочей части диалога. Данная программа основана на достаточно известных принципах [1 - 3], только результаты работы с БЗ с новыми моделями знаний получаются несколько необычными.

Здесь роль ЛВ несколько иная, чем в традиционных ИС. В них большей частью ответы получаются автоматически (кроме большинства экспертных систем). Нас же интересует использование результатов ЛВ во вспомогательной роли для диалого-ассоциативного поиска. При нем во взаимодействии с ИС пользователь сам выбирает какие из ответов, полученных в процессе ЛВ, ему подходят и сам периодически меняет режим работы и направление дальнейшего поиска. В процессе работы пользователь может включать режимы когезии [3,4] или вывода исходных текстов, которые ему выдают разные части используемых исходных текстов, вплоть до полной выдачи, для уточнения смысловых значений.

Подобное возможно потому, что в молинге ядром является моделируемое простое предложение – основная смысловая единица в тексте с точки зрения лингвистики. Связность результатов вывода обеспечивается совпадением терминов, за счет повторения понятий в различных источниках [2 - 4].

На каждом этапе диалого-ассоциативного вывода рассматривается поиск разных вариантов цепочек вывода между двумя заданными пользователем терминами (выражениями). Каждая цепочка ЛВ ограничена по длине в соответствии с «правилом шести шагов» Ю.Н. Караулова – «цепочка, связывающая любые два слова из словаря не только существует, но и для произвольно выбранных слов она никогда в сумме не превышает шести шагов» до второго слова. Для каждого набора пар «исходная точка – цель» этих цепочек может быть много и с разным уровнем достоверности [3].

Связь между некими утверждение_1 и утверждение_2 находится на основе правила из классической математической логики «modus ponens», - «если известно, что истинно утверждение_1 и истинно правило вида «ЕСЛИ утверждение_1, ТО утверждение_2», тогда утверждение_2 также истинно». Так по цепочке последовательно находится связь между заданными пользователем исходной точкой и целью (или в обратном порядке) [2].

Так как молинги наделены фактором уверенности (ФУ), то этот показатель можно вычислить и для каждой цепочки ЛВ, что обеспечивает возможность сортировки полученных результатов по условной «ценности». Фактически реализуется абдуктивный вывод [2].

Машина вывода циклична. В каждом цикле просматриваются молинги, чтобы выявить те, где термины совпадают с терминами из блока рабочей памяти. После выбора молинга срабатывает, и новые термины из нее заносятся в блок рабочей части диалога для дальнейшего вывода, и цикл повторяется. В ходе одного цикла к цепочке ЛВ добавляется только одна молинга. Если несколько молинг соответствуют набору терминов в блоке рабочей памяти, то происходит ветвление, порождая новые варианты текущей цепочки ЛВ. Если ни одна из найденных молинг не является новой для цепи (еще не использовалась в ней), и цель поиска так же еще не достигнута, то данная цепь считается тупиковой и отбрасывается.

Пример реализации принципа ЛВ приведен на рис. 2 при задании запроса «термин1, термин9» . Хотя результат вывода получен совершенно искусственно, с точки зрения лингвистики такой текст все равно является связным и не лишенным смысла [4]. В некотором роде, здесь реализуется алгоритм поиска ближайших соседей – по «косвенным» признакам находятся «близкие» (по смыслу) соседи, а наличие определенных «начальной точки» и «цели» обеспечивают характер направленности поисковому запросу.

Пользователь, читая содержимое в полученной последовательности ядер молинг (фактически – группы последовательностей простых предложений, семантически связанных между собой [2 - 4]), сам решает, удовлетворяет его этот результат или нет, выбирает и фиксирует его в памяти программы, и может продолжить поиск с новых стартовых позиций. Если ответ его полностью не устраивает, пользователь имеет возможность или повторно запустить режим ЛВ с новыми вариантами запроса или по какому-то ядру молинги запустить режим когезии (локальной связанности текста относительного конкретного предложения в исходном тексте, соответствующей абзацу исходного текста) [4] или

когерентности (глобальной связанности текста через одинаковые термины (заголовки), относительного конкретного упомянутого и выбранного исходного текста из нескольких идентификаторов) [4].

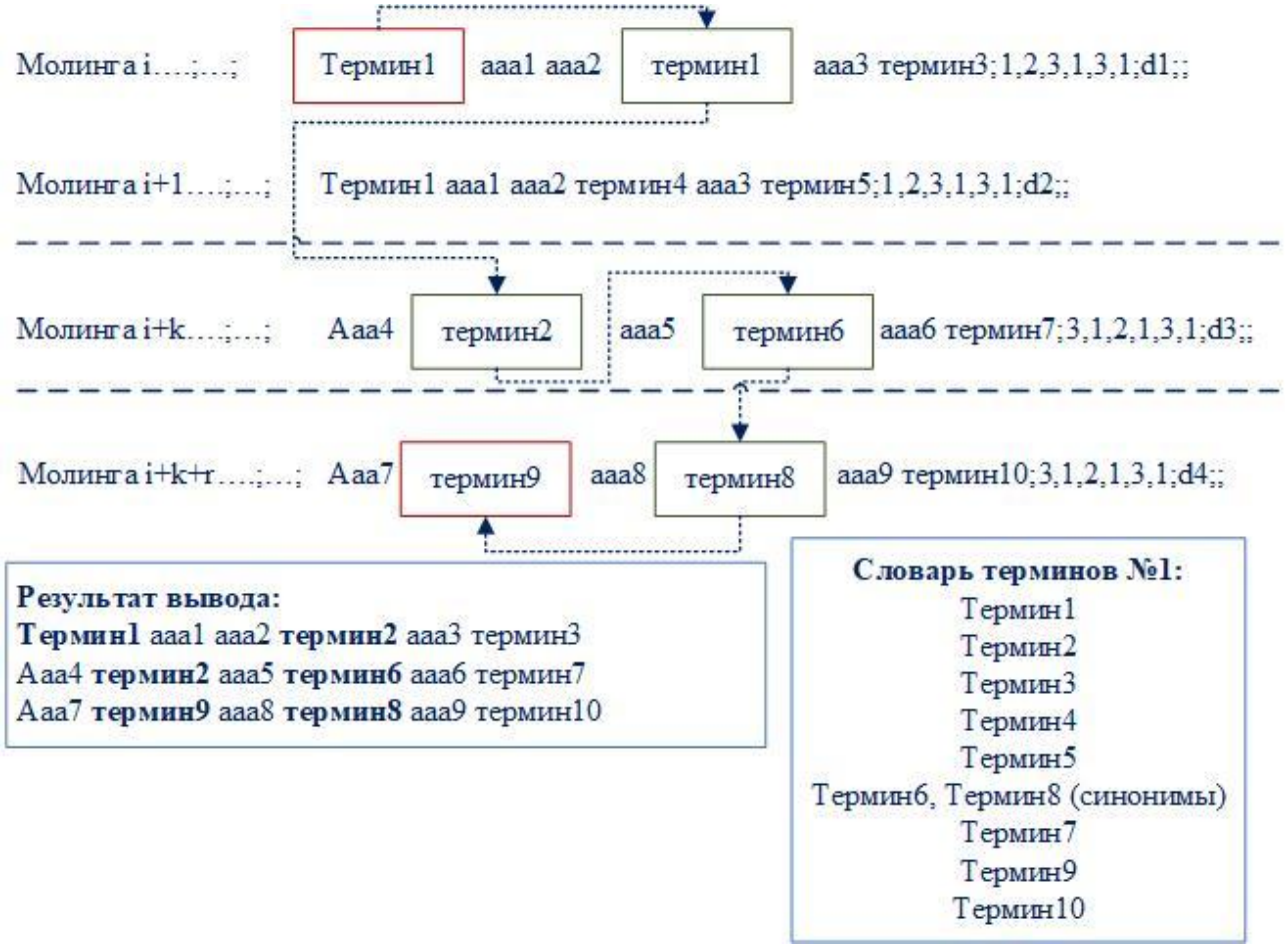


Рис. 2. Пример реализации принципа ЛВ

При реализации ЛВ на этой основе будет возникать быстрое наращивание вариантов связей между ядрами молинг через различные термины и соответственное резкое увеличение вариантов сочетаний молинг при задании даже простых запросов. Для фильтрации используется упомянутая выше оценка ФУ цепочек ЛВ. Первыми будут выдаваться по ФУ ядра молинг, где находятся оба запрашиваемых термина, потом два соседних ядра молинг, потом из трех и т.д. Обычно на трех и более шагах ЛВ будет происходить лавинообразное нарастание объема вывода. Но, с практической точки зрения, при диалого-ассоциативном поиске пользователю нужны только первые варианты, чтобы поскорее выйти на конечный результат. В тоже время при более полном ознакомлении с изучаемой проблемой, в т.ч. через уточнения запросов пользователь все равно выйдет на нужную ему глубину.

Рассмотренный подход к логическому выводу для ИС с БЗ, основанной на ТПНЗ, обеспечивает вполне реализуемый и приемлемый вариант для эффективного функционирования реальных систем. Это, в свою очередь, позволяет резко ускорить принятие решений пользователями и предоставляет возможность

работать в более широкой предметной области, без обращения дополнительно к иным источникам знаний и информации, а также к другим специалистам.

Литература

1 Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб.: Лань, 2016. – 324 с.

2 Бронфельд Г.Б. Логический вывод в интеллектуальной системе на основе базы знаний из молинг// Экономика и менеджмент систем управления. 2016. Т.22, №4. С.64-74.

3 Бронфельд Г.Б. Прямое наложение знаний и его возможности. Анализ, методология, новая модель знаний, алгоритмы, возможности «невозможности». Saarbrucken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Puplishng, 2014. – 236 с.

4 Лукин В.А. Художественный текст: Основы лингвистической теории. Аналитический минимум. М.: Издательство «Ось-89», 2009. – 560 с.

А.Б. Козлов, студент; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

Разработка программного обеспечения на данный момент включает в себя использование разнообразных технических достижений и требует высокого уровня знаний. В связи с этим проект содержит элементы неопределенности, также известные как риски. Тема управления рисками является актуальной, так как риски являются частью любого проекта, их нельзя полностью избежать, однако возможно подготовиться к ним и разработать стратегию для удержания рисков в разумных пределах. Недостаточно просто знать о существовании рисков, для достижения результата руководитель проекта должен определить риски, оценить их, расставить приоритеты и управлять основными рисками.

Упрощенно риск – это потенциальная проблема. Это действие или событие, которое может поставить под угрозу успех проекта разработки ПО. Риск – это вероятность понести потерю, и общая подверженность риску конкретного проекта будет учитывать как вероятность, так и размер потенциальной потери. Выявление и агрегация рисков является единственным прогнозирующим методом для определения вероятности того, что проект разработки программного обеспечения столкнется с незапланированными или недопустимыми событиями. К ним относятся прекращения, разрывы, задержки графика, недооценка затрат и перерасход ресурсов проекта.

Управление рисками заключается в сдерживании и смягчении рисков. Сначала нужно определить риски и спланировать порядок действий, затем быть готовым действовать при возникновении риска.

Управление рисками обычно включает в себя следующие задачи (рисунок 1):

1) Определение рисков и их причин.
2) Классификация и выставление приоритетов всем рискам.
3) Составление плана, который помогает уменьшить тот или иной риск.
4) Мониторинг событий вызывающих риски во время проекта.

5) Смягчение последствий при возникновении риска.
6) Сообщать о статусе риска на протяжении всего проекта.

Большинство проектов по разработке ПО изначально рискованны из-за множества потенциальных проблем. Опыт других проектов может помочь менеджерам определить и классифицировать риски. Здесь важна точная идентификация и описание всех реальных угроз для успеха проекта.

В разработке ПО большое количество категорий риска:

1) Риски, связанные с графиком:
   a) Неправильная оценка времени.
   b) Неправильно рассчитаны ресурсы (персонал, системы, навыки).
   c) Неспособность определить сложные функции и время, необходимое для развития этих функций.
   d) Неожиданные расширения масштабов проекта.

Рисунок 1 – Схема управления рисками

Риски, связанные с графиком сильно влияют на проект и экономику компании и могут привести к провалу проекта.

2) Бюджетные риски:
   a) Неправильная оценка бюджета.
   b) Перерасход средств.
   c) Расширение масштабов проекта.
3) Практические риски:

Риски потери из-за неправильной реализации процесса, сбой системы или некоторые внешние события. Причины операционных рисков:

   a) Неспособность решить приоритетные конфликты.
   b) Неспособность правильно разделить ответственности.
   c) Недостаток ресурсов.
   d) Нет планирования ресурсов.

e) Нет коммуникации в команде.

4) Технические риски:

Технические риски обычно приводят к неудачам в функциональности и производительности. Причины технических рисков:

a) Постоянно меняющиеся требования.
b) Нет передовых технологий или существующие технологии находятся на начальных этапах.
c) Продукт сложен в реализации.
d) Сложная интеграция модулей проекта.

Это основные общие категории, по которым можно классифицировать риски проекта разработки программного обеспечения. Для количественной оценки вероятности наступления риска можно использовать вербально-числовую шкалу Харрингтона (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Вербально-числовая шкала Харрингтона для оценки вероятности наступления риска

Степень вероятности наступления риска в проекте	Коэффициент Харрингтона (Согласно PMBoK)	Коэффициент Харрингтона	Вероятность
Очень высокая	8-10	5	Риск неизбежен Гарантированное наступление риска
Высокая	6.4 – 8	4	Риск вероятен
Средняя	3.7 – 6.4	3	Нет гарантий, что риск наступит, но все же существует такая возможность
Низкая	2 – 3.7	2	Есть возможность наступления риска
Очень низкая	0 – 2	1	Есть потенциальная возможность наступления риска
Нет вероятности	0	0	Риск невозможен

После определения и классификации рисков, нужно составить план управления рисками. Этот план действий является основной единицей плана управления рисками проекта, он должен документировать все возможные решения для всех различных рисков, выявленных в рамках проекта. Этот план обычно является стратегией снижения риска, чтобы держать риск в допустимых пределах. Эти стратегии либо уменьшат шансы на возникновение риска, либо уменьшат влияние данного риска. Менеджер по рискам должен учитывать риски, которые имеют наивысший приоритет, и их планы по смягчению воздействия должны быть реализованы в первую очередь. О рисках с меньшим приоритетом можно позаботиться позже, однако игнорировать их нельзя.

Далее следует этап мониторинга рисков. Чтобы быть эффективным, мониторинг рисков ПО должен быть неотъемлемой частью большинства мероприя-

тий проекта. По сути, это означает частую проверку во время проектных встреч и критических событий.

Мониторинг включает в себя:

1) Публикацию отчетов о состоянии проекта и вопросах управления рисками.
2) Пересмотр вероятных рисков при любых существенных изменениях в проекте.
3) Пересмотр и перераспределение приоритетов рисков.

При возникновении риска, должны быть приняты меры по смягчению его последствий, которые берутся из плана управления рисками.

Опции смягчения последствий при возникновении риска:

1) Признать, что риск влияет на проект.
2) Корректировать масштаб проекта, график или ограничения, для минимизации влияния риска.
3) Принять меры, чтобы свести к минимуму воздействие или уменьшить усиление риска.
4) Осуществить организационный сдвиг в подотчетности, ответственности или полномочиях другим заинтересованным сторонам, которые примут на себя риск.
5) Продолжать мониторинг на предмет потенциального усиления воздействия риска.

На протяжении всего проекта очень важно обеспечить эффективную связь между всеми заинтересованными сторонами, менеджерами, разработчиками, особенно представителями маркетинга и клиентов. Обмен информацией и получения отзывов о рисках значительно увеличит вероятность успеха проекта, так как один человек не может управлять рисками в области, в которой у него нет достаточных знаний. При нахождении очередного риска менеджеру по рискам следует выбрать ответственного за этот риск, человека, который располагает достаточными знаниями и навыками для анализа и мониторинга данного риска.

Как можно понять из схемы ниже (рисунок 2), коммуникация должна быть в обе стороны. Разработчики, обнаружив вероятные риски, должны сообщить менеджеру по рискам, тот в свою очередь сообщит руководству и, возможно, инвесторам, так как важным вопросом является то, сколько инвесторы готовы платить фирме, зная и принимая существующие риски. Например, разработчики сообщили о том, что существует риск не закончить проект к назначенному сроку, также они предлагают возможность избежать риска, купив готовое решение у сторонней фирмы. Менеджер по рискам сообщает руководству, и оно уже решает, что делать с этим вопросом. Таким образом, важная роль менеджера по рискам на данном этапе, заключается в эффективном информировании руководства о риске. Эффективное сообщение заключается в том, что руководство должно четко понимать результаты и последствия обнаруженных рисков.

Рисунок 2 – Простая схема коммуникации

Управление рисками является обширной областью исследования, в этой статье мы сделали краткое описание и комментарии для всех основных этапов управления рисками при разработке ПО, подчеркнули важность коммуникации внутри команды при работе над проектом.

Литература

1. Николаенко В.С Внедрение риск-менеджмента в ИТ-проекты/ В.С. Николаенко // Гос. управление. – 2016. – № 54.– С.63-88.
2. Boehm B.W. Software risk management: principles and practices. –1991.– Т.8, №1.– С. 32-41
3. Листер Т. ДеМарко Т. Вальсируя с Медведями: управление рисками в проектах по разработке ПО [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://coollib.com/b/135633

А.Р. Козлова, студ.; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" в г. Смоленске, г. Смоленск)

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Под большими данными понимаются разнообразные массивы данных, которые из-за большого объёма или сложного состава должны обрабатываться специальными методами. Причём данные могут быть неоднородными, несортированными, неструктурированными, а также иметь различный формат. [1] Обработка данных происходит в реальном времени, в условиях постоянного прироста.

Необходимость анализа больших данных есть во многих областях. Во-первых, это большие IT-компании. Затем любая крупная компания. Анализ

больших данных даёт более полное знание о бизнесе, информацию о клиентах (абонентах, потребителях) и конкурентах, упрощает планирование, позволяет снизить затраты. В медицине может быть необходим анализ, чтобы ставить более точные диагнозы или предотвращать эпидемии. Собрав данные о многих пациентах можно выявить склонность определённой группы людей к тому или иному заболеванию. В сфере рекламы необходим такой анализ для выявления потребностей потребителей. Для борьбы с преступностью применяется Big Data, например, чтобы выявить районы, где в последнее время наиболее часто совершались правонарушения. Даже чтобы сделать жизнь в городе более комфортной может быть применён такой анализ. Это лишь небольшое количество применений из тысячи.

Большие данные всегда описываются тремя характеристиками, то есть правилом VVV :

Volume — физический объем данных. Их размер может достигать сотни и тысячи терабайт.

Velocity — скорость накопления и обработки данных. Данные регулярно обновляются, что требует их постоянной обработки.

Variety — многообразие. Разнообразные данные могут иметь неоднородные форматы, быть неструктурированными или структурированными частично.

При работе с большими данными должны соблюдаться три правила. Если данные увеличиваются в размере, то система хранения тоже должна увеличиться. Так как машин для этого может быть задействовано много, выход из строя их части неизбежен. Поэтому система хранения и обработки больших данных должна быть к этому приспособлена. Ещё одно условие – данные обрабатываются там же, где хранятся. Это необходимо для того чтобы избежать огромной траты ресурсов при передаче данных.

Под анализом данных может пониматься обработка массива данных одним персональным компьютером или системой управления реляционными базами данных. При этом необходимо чтобы программы на многих серверах работали скоординировано. Задачу анализа больших данных не всегда рационально решать путём использования более мощного оборудования.

Рассмотрим коротко историю развития обработки данных и появление указанных методов.

С давних времён существовали статистика и прогнозирование. Как научная дисциплина статистика сформировалась в начале XX века. Также появился ряд методов многомерного статистического анализа. Но обработка больших объёмов данных была весьма затруднительной из-за ограниченности аппаратных средств.

Развиваются идеи машинного обучения и распознавания образов. В 50-х была разработана программа, помогающая компьютеру играть в шашки лучше и лучше с каждой партией. Также появляется первая система распознавания речи, разработанная Bell Laboratories. Она могла распознавать только цифры. В 1960-е годы возникли первые компьютеризированные системы распознавания лиц. Но

широкое распространение системы распознавания и машинного обучения получают несколько позже. С начала 60-х годов начинается автоматизация рутинных операций. Вычислительные ресурсы используются коллективно.

В 80-е годы расширяются области применения компьютера. Появляется возможность создания удобного интерфейса пользователя для работы в компьютерной среде. С начала 90-х годов создаются современные информационные системы. Информационные технологии направлены на получение конкурентных преимуществ.

С развитием информационных технологий увеличивался объём хранимой информации и появляется проблема её обработки. В 2008 году появился термин Big Data (Большие данные). В конце 2000-х появились инструменты, позволяющие анализировать такие данные, активно применяются системы, связанные с машинным обучением, распознаванием, нейронными сетями.

Далее будут рассмотрены некоторые методы, применимые к большим данным.

Таблица 1 – Методы анализа данных и их задачи

Метод	Задача	Сфера применения
Статистический анализ	Изучение количественной стороны массовых общественных явлений	Экономика, социология, государственный сектор
Многомерный статистический анализ	Изучение количественной стороны массовых общественных явлений	Экономика, социология, государственный сектор
Машинное обучение	Классификация, кластеризация, понижение размерности, визуализация данных, обнаружение аномалий	Компьютерная лингвистика и обработка естественных языков, медицинская и техническая диагностика, интеллектуальные игры
Распознавание образов	Распознавание объекта по его изображению	Биометрия, распознавание лиц, жестов, речи, рукописного текста
Прогнозная аналитика	Предсказание будущего поведения объектов и субъектов для принятия нужного решения	Экономика, социология, государственный сектор

Вначале рассмотрим статистический анализ. Не все статистические методы рационально применять к большим выборкам. Если метод формально применим к выборке, объём которой стремится к бесконечности, на практике он может выдать приемлемый результат. При наличии группированной выборки, когда данные представляют собой непересекающиеся интервалы, предпочтительнее вычислять оценки максимальной правдоподобности. При анализе большого объёма данных целесообразно использовать оценки по группированным данным, так как в этом случае вычислительные затраты зависят не от объёма выборок, а от количества интервалов. Можно использовать критерий $\chi 2$ Пирсона так же, как и для относительно небольших выборок. Непараметрические кри-

терии согласия применяется к выборкам, объём которых ограничивается количеством возможных уникальных значений в выборке [2].

Многомерный статистический анализ – это целый раздел статистики, направленный на разработку методов сбора, систематизации и обработки информации с целью выявления зависимостей между многими признаками изучаемого объекта. Одной из задач многомерного статистического анализа является снижение размерности многомерного пространства. Его суть в выражении множества признаков объекта через меньшее число скрытых признаков. В итоге остаются наиболее важные и информативные признаки, более полезные, чем исходные. Для решения этой задачи используются методы компонентного и факторного анализа.

Другая задача – классификация многомерных данных, которая заключается в разбиении большого числа объектов на классы, в которых объекты близки по некоторым признакам. Задача решается методами дискриминантного и кластерного анализа.

К большим данным применима прогнозная аналитика. Эта технология работает с большим массивом данных за длительный период времени для выявления закономерностей и прогнозирования поведения изучаемых объектов с целью принятия оптимальных решений.

Другой подход к анализу данных – машинное обучение. Это целый набор методик для самообучения машины. При этом разработчик не пишет программу для решения поставленной задачи анализа данных [3]. Он задаёт только общий алгоритм. А машина учится находить взаимосвязи данных. Она просматривает множество данных и для каждого значения пытается предсказать ответ на поставленную задачу. Применение машинного обучения слишком обширно, чтобы описать несколькими примерами.

С этим методом связан метод распознавания образов. Его задача заключается в идентификации некоторого объекта по его изображению или аудиозаписи. Это может быть распознавание букв, цифр, штрих-кодов, лиц, слов или других звуков. Есть разные подходы к решению этих задач. Есть простой метод перебора, когда в базе данных хранится множество всевозможных вариантов распознаваемого объекта, а система сравнивает исходное изображение с каждым. Или же задаются характеристики объекта либо функция. Также могут применяться искусственные нейронные сети [4].

Основными направлениями в машинном обучении являются интерпретация модели нейронной сети, построение универсальной нейронной сети, которую можно было бы использовать для решения многих задач, и построение методов и инструментов сокращения участия человека в разработке систем машинного обучения. Проблема интерпретируемости связана с тем, что нейросети не дают информации о выявленных зависимостях данных.

Технологий и методов для обработки и анализа больших данных множество. Так как все перечисленные методы очень сложны, работать с ними должны IT-специалисты. Потребность в обработке большого количества данных есть

всегда, и количество данных растёт. Также всегда будет потребность в усовершенствовании старых методов и разработке новых.

Литература

1. Качалов Д. Л. Современные методы обработки больших данных в крупномасштабных системах / Д. Л. Качалов, А. В. Мишустин, М. П. Фархадов // Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов. Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: сб. ст. XI Всерос. науч.-практ. конф. Вып. 11 / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова Рос. акад. наук.; Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева, под ред. Д.А. Новикова – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2017. - С. 65-71.

2. Лемешко, Б. Ю. К вопросу статистического анализа больших данных [Текст] / Б. Ю. Лемешко, С. Б. Лемешко, М. А. Семёнова // Вестник Томского Государственного Университета. – 2018. – №44. – с. 40-49.

3. Обучение машин: что такое machine learning и как им овладеть [Электронный ресурс]: Ж. Пояркова/ – Режим доступа: https://theoryandpractice.ru/posts/16970-obuchenie-mashin-chto-takoe-machine-learning-i-kak-im-ovladet

4. Чичварин Н. В. Распознавание образов [Электронный ресурс]: Национальная библиотека им. Н. Э. Баумана / – Режим доступа: https://ru.bmstu.wiki/MapReduce

Д.С. Лимонцев, студ.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доцент
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТУРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Современное информационное общество все шире применяет технологии искусственного интеллекта (англ. *Artificial Intelligence*, *AI*). Во многом своим успехом современные системы *AI* обязаны машинному обучению. Не применяя мощное математическое обоснование, данная дисциплина опирается преимущественно на инженерные решения, а не теоретически.

Стратегия машинного обучения реализуется на основе различных подходов, в том числе на популярных в последнее время сверточных нейронных сетях. Сверточные нейронные сети (англ. *Convolutional Neural Network*, *CNN*) – одна из разновидностей моделей глубокого обучения, наиболее часто используемая в приложениях компьютерного зрения. В разрезе сегодняшнего дня это наиболее успешная модель и самая успешная инновация в области глубокого и глубинного обучения. Сверточная нейросеть – отличный от других вид нейросетей прямого распространения (переменные нейроны в такой сети разгруппированы по слоям). Активация слоев в таких нейросетях происходит последовательно – от первого слоя к последнему, который, в свою очередь, служит выходами нейросети. Важно отметить, что активации внутри слоев могут просчитываться параллельно и независимо друг от друга, что означает удобство и эффективность их использования на современных процессорах, в частности на графических сопроцессорах. Ключевую особенность сверточной нейросети составляют такие свойства, как локальное восприятие, разделение весов и уменьшение размерности данных [1]. Приведенные качества делают сверточную нейросеть пригодной для идентификации различных классов объектов на изображении.

Несмотря на успехи *CNN* в решении задач машинного зрения, существует ряд проблем распознавания, требующих учета специфики изображений, в

частности текстуры. Например, при определении момента завершения фазового перехода из твердого в жидкое агрегатное состояние для прутов алюминиевого сплава при их расплавлении в печи [2]. Распознаватель анализирует изображение торцов прутов и фиксирует момент изменения агрегатного состояния переплавляемого материала по изображению и своевременно переключает режимы плавки с дугового нагрева на нагрев сопротивлением.

Под текстурой обычно понимают «пространственную организацию элементов в пределах некоторого участка поверхности» [3]. К такого рода изображениям применим коэффициент однородности. Ввиду этого выявление однородностей на изображении совершенно оправданно может рассматриваться как задача фрагментации, которая заключается в разбиении изображения на области, соответствующие различным объектам [4].

Автором предложен алгоритм распознавания текстуры изображений с помощью *CNN*, базирующийся на фрагментации исходного изображения на отдельные области, в рамках которых задача распознавания текстуры сводится к задаче распознавания формы (контуров объекта).

Текстура T_p, $p=1, \ldots, P$, P – количество текстур, задавалась в виде окружностей разного диаметра d. Было выбрано три текстуры – крупная (T_1, $d=0.2D$, где D – размер стороны квадратного текстурированного изображения), средняя (T_2, $d=0.1D$) и мелкая (T_3, $d=0.05D$). Исходное изображение разбивалось на F одинаковых квадратных фрагментов (исследование прводилось для F=4, F=9 и F=16). Каждый фрагмент изображения распознавался отдельной *CNN*. Для всех фрагментов использовалась *CNN* с одинаковой архитектурой. После обработки информация поступала в анализатор выходов *CNN*, где формировался выходной сигнал U, классифицирующий текстуру. Схема разработанного алгоритма при $F=9$ представлена на рисунке 1.

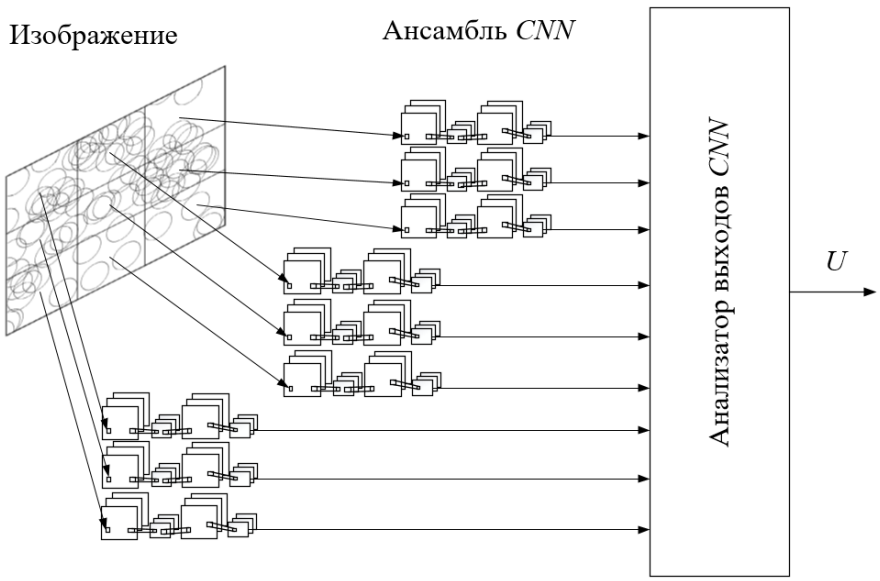


Рисунок 1 – Структура алгоритма распознавания текстуры при F=9

Анализатор выдает номер того класса, для которого суммарное значение выходов *CNN* с одинаковым номером максимально (реализует мажоритарный принцип выбор текстуры):

$$U = Number\left[max_j\left(\sum_{i=1}^{K} Y_{i,j}\right)\right],$$

где K – количество разных текстур, $Y_{i,j}$– значение на j-м выходе i-ой *CNN*.

Программная реализация проводилась на языке высокого уровня *Python* с использованием фреймворка *Keras*, содержащего все необходимое для разработки *CNN* для поставленной задачи. Разработанная программа была реализована на ноутбуке *Asus FX502VM* с *CPU IntelCore i7-7700HQ* и графическим процессором *GeForce GTX 1060*, содержащим 1280 процессорных ядер *Maxwell/GP106*, выпущенный в 2016 году. Перенос вычислений на графический процессор позволило распараллелить процедуру обучения сети за счет применения технологии *CUDA*, используемой в видеокартах фирмы *NVIDIA* и ускорить обучение примерно в 10 раз по сравнению со временем обучения на центральном процессоре.

На вход системе распознавания, как уже отмечалось, подавались модели текстур в виде изображения кругов различных диаметров. Для каждой из вышеперечисленных трех фрагментаций F количество примеров составляло 1000 экземпляров каждой текстуры (из них 800 изображений отдавалось на обучающую, а 200 на тестирующую выборки). Для генерации текстур использовалась специально созданная программа на языке *MatLAB*, моделирующая текстуры. Применение *MatLAB* для реализации вспомогательной программы вызвано тем, что в нем удобно разрабатывать приложения с графическим интерфейсом, в то время как библиотек для создания *CNN* в нем нет.

Ввиду значимости показателя *accuracy* (точности) обучения нейронной сети, в проведенном исследовании было важно определить зависимость *accuracy* обучаемой сети от количества фрагментов F и характеристики текстуры T_p. В таблице 1 представлены результаты распознавания текстуры на тестирующей выборке.

Таблица 1 – Точность *CNN* (на тестирующей выборке)

T_P	F		
	4	9	16
0,2D	0,81	0,78	0,75
0,1D	0,77	0,79	0,76
0,05D	0,68	0,73	0,79

Анализ данных таблицы показывает, что при уменьшении размеров элементов текстуры целесообразно увеличивать количество фрагментов F, на которые разбивается исходное изображение. Отметим, что без фрагментации ($F=1$) точность сети составляла 0.59 при ста эпохах обучения.

Предложенный автором алгоритм распознавания текстуры может быть востребован в системах поддержки принятия решений и контроля в различных областях промышленности, системах видеонаблюдения и видео-фиксации, в которых требуется классификация объектов не по крупным контурным границам, а на основе анализа деталировки фона изображений.

Литература

1 Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.

2 Шкундин С.З., Колистратов М.В., Белобокова Ю.А. Проверка работоспособности алгоритмов определения изменения агрегатного состояния металла / С.З. Шкундин, М.В. Колистратов, Ю.А. Белобокова // Системный администратор. – 2018. – №10(191) – С. 90-93.

3 Андреев Г.А. Анализ и синтез случайных пространственных текстур / Г.А. Андреев, О.В. Базарский, А.С. Глауберман, А.И. Колесников, Ю.В. Коржик, Я.Л. Хлявич // Зарубежная радиоэлектроника. – 1984. – №2. – С. 3–33.

4 Пучков А.Ю., Тюкаев Д.А., Киреенкова М.С. Алгоритм классификации сигнатур в экономико-математической модели прогнозирования пригородного пассажиропотока на основе нейронных сетей/ Транспортное дело России. № 4, 2018. С. 108 – 112.

Е.И. Лобанева, асс.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-01-00425

Распознавание действий человека является очень важным компонентом систем визуального наблюдения. Анализ в сценариях наблюдения часто требует обнаружения определенных действий человека.

Автором предложена схема применения сверточной нейронной сети (*CNN – Convolutional Neural Network*) для распознавания действий человека в какой либо реальной среде с целью выявления действий, несоответствующих нормам и правилам поведения в ней. В модели предусмотрена возможность адаптации правил определения допустимости действий в зависимости от требований среды и пользователя аналитической информации.

Предполагается, что входная информация представлена в форме видеопотока данных с видеокамер. Локальные особенности из последовательности входных кадров видео в реальном времени извлекаются как из пространственных, так и временных измерений с помощью трехмерных сверток, благодаря которым фиксируется информация о движении, закодированная в нескольких смежных кадрах. Трехмерная модель (3D-модель) *CNN* анализирует многократную информацию из входных кадров, информация из всех каналов объединяется и формируется окончательный признак. Это должно позволять автоматически распознавать конкретные действия человека, которые требуют внимания в реальной окружающей среде, например, в коридорах организации, помещениях аэропортов, вокзалов. Применение систем распознавания действий

позволит автоматизировать процессы наблюдения в местах массового скопления людей, обеспечив, тем самым, снижение влияния человеческого фактора на объективность и качество распознавания ситуаций.

Распознавание действий человека по реальным видео наблюдениям приобрело большое значение в широком круге областей. Например, распознавание подозрительных действий, с помощью которых можно предотвратить действия, несоответствующие нормам и правилам поведения, предпринимаемые людьми в общественных местах с целью повышения эффективности контроля [1].

Методы распознавания действий могут быть разделены либо на основе визуальной информации, используемой для описания действия, либо на основании количества камер, используемых для получения доступной визуальной информации.

Распознавание действий человека осуществляет комплексная система, объединяющая в себе препроцессор входной информации и постоянно обучающуюся систему на основе CNN, цель которой – автоматически распознавать определенные действия, совершаемые людьми, которые не соблюдают правила в общественных местах (аэропорты, перроны железнодорожных вокзалов, большие скопления людей на площадях и так далее).

Препроцессинг входных данных производит сегментацию входного видео в отдельные кадры. Далее, CNN извлекает из них скрытые статистические структуры, недоступные для человеческого обозначения, так как не ясно, какие признаки изображений их несут – сеть же сама их находит и запоминает. При этом считается, что действие имеет место, если они были одинаковыми в смежных кадрах. Для улучшения выявления границ объектов, а следовательно, дифференцации границ объектов движения можно рекомендовать использование фильтра Габора. Поскольку нейронная сеть является базой, основанной на шаблонных действиях, эти действия можно различить как обычные или подозрительные действия.

При распознавании визуального образа *CNN* сначала извлекает и объединяет локальные особенности из последовательности входных кадров видео в реальном времени. Затем эти элементы объединяются последующими слоями для получения элементов более высокого порядка. Как только входное видео вводится в систему, сразу же выполняется сегментация видео в кадрах. Стоит отметить, что извлечение признаков является нетривиальной проблемой. Это может привести к различиям в распознании отличительных признаков во входных объектах. Чтобы преодолеть эти различия, CNN объединяют архитектурные идеи, чтобы гарантировать некоторую степень сдвига, масштабирования и искажения - локальные восприимчивые поля, общие веса и пониженную выборку. Как только объект обнаружен, его приблизительное положение относительно другого объекта является значимым, а не его точным местоположением. Модель CNN состоит из чередующихся слоев детекторов сверточных элементов (слои C) и слоев понижающей дискретизации (слои S). В частности, на слое S неподвижное входное изображение сначала анализируется массивом фильтров Габора. Основная цель введения слоев понижающей дискретизации состоит в

том, чтобы уменьшить разрешение карты объектов, а также чувствительность выходных данных к сдвигам и искажениям. Особенно для задач распознавания или обнаружения, объекты примитивных функций, которые полезны на одной части изображения могут быть полезны по всему изображению. Единицы в слое организованы в плоскостях, в которых все единицы имеют одинаковый набор весов. Совместно используя один и тот же набор весов, CNN обладают свойством инвариантного сдвига, так что он может достигать превосходной производительности в различных задачах распознавания или обнаружения.

Основа данного метода: свертка 2D и 3D с использованием сигмоидальной функции для оценки значений, полученных из разных кадров в целевом кадре. Вычитание фона выполняется как предварительная обработка, фильтр Габора для извлечения признаков, обратное распространение для обучения системы с помощью методов обучения, приближение метода Гаусса-Ньютона к матрице Гессе и стохастическая диагональ, метод Левенберга-Марквардта. Перед извлечением признаков предварительная обработка выполняется с помощью вычитания фона. Это достигается установкой порогового значения и определяется уравнением:

$$g(x,y) = \begin{cases} f(x,y), \text{если } |(\mathrm{x},\mathrm{y}) - \mathrm{b}(\mathrm{x},\mathrm{y})| > \mathrm{U} \\ 0, \text{иначе} \end{cases}, \quad (1)$$

где *g(x,y)* – результат значения пикселя, *f(x,y)* – значение пикселя переднего плана, b(x,y) – значение пикселя фона, U – пороговое значение.

После завершения предварительной обработки начинается извлечение объектов. В кадре двумерного изображения двумерная свертка выполняется на сверточных слоях для извлечения элементов из локальной окрестности на картах объектов в предыдущем слое. Затем применяется аддитивное смещение, и результат передается через сигмовидную функцию. Значение единицы в позиции *(x,y)* на j-й карте объектов в i-м слое, обозначенной как Val_{ij}^{xy}, определяется уравнением:

$$Val_{ij}^{xy} = \tanh\left(\mathrm{B}_{ij} + \sum_{n} \sum_{a=0}^{A-1} \sum_{b=0}^{B_1-1} W_{ijn}^{ab} V_{(i-1)n}^{(x+a)(y+b)}\right), \quad (2)$$

где tanh (.) – это гиперболический тангенс функции, B_{ij} – смещение для этой карты объектов, n – это индексы для набора карт объектов в (i-1) -м слое, связанном с текущей картой объектов, W_{ijn}^{ab} – это значение в позиции *(a,b)* ядра, подключенного к карте характеристик, A_i – высота ядра свертки, B_i – ширина ядра.

Расширяя эту двумерную свертку, трехмерная свертка применяется к трехмерным изображениям. Это достигается с учетом оси глубины в уравнении (2), заданном уравнением:

$$Val_{ij}^{xy} = \tanh\left(\mathrm{B}_{ij} + \sum_{n} \sum_{a=0}^{A-1} \sum_{b=0}^{B_1-1} \sum_{c=0}^{C-1} W_{ijn}^{abc} V_{(i-1)n}^{(x+a)(y+b)(z+c)}\right), \quad (3)$$

где C_i – размер трехмерного ядра по временному измерению, W_{ijn}^{abc} – (a,b,c)-значение ядра, связанного с m-й картой объектов в предыдущем слое.

После извлечения признаков первоначально в нейронной сети, известной как обратное распространение, применяется метод. При обучении нейронной сети свертка и подвыборка применяются на каждом альтернативном уровне сети. На конечном выходном слое необходимо минимизировать и упорядочить обучаемые параметры [2]. Параметры инициализируются случайным образом и обучаются с использованием стохастического диагонального метода Леверн-берга-Марквардта.

На рисунке 1 представлена предлагаемая модель для анализа действий человека на основании видеопотока. поступающего с видеокамер, расставленных в критически важных зонах объекта контроля. После этого входное видео разделяется на кадры и выполняется предварительная обработка. Во время предварительной обработки кадры свободны от шума, а также здесь необходимо выполнить вычитание фона. В систему допускаются только предварительно обработанные кадры. Функции-признаки, идентифицирующие действия человека, извлекаются с помощью 3D свертки.

Чтобы эффективно включить информацию о движении в видеоанализ, требуется выполнить трехмерную свертку в слоях *CNN*, чтобы захватить различительные признаки, наряду с пространственными и временными измерениями.

Рисунок 1 – Модель для анализа действий человека

Разработанная модель генерирует несколько каналов информации из соседних видеокадров и выполняет свертку и подвыборку отдельно в каждом канале. Затем он создает элементы из пространственных и временных измерений,

выполняя трехмерные свертки. Разработаны модели регуляризации и комбинации схем для дальнейшего повышения производительности модели. Преимущества применения этой модели для огромного объема данных и видео большого размера. Применяя несколько различных сверточных операций в одном и том же месте на входе, можно извлечь несколько типов объектов.

Извлечение объектов с использованием 3D свертки: достигается путем свертки трехмерного ядра с кубом, образованным путем объединения нескольких смежных кадров вместе. Посредством этой конструкции карты признаков в слое свертки соединяются с несколькими смежными кадрами в предыдущем слое, тем самым захватывая информацию о движении. Трехмерное сверточное ядро может извлекать только один тип объектов из куба фрейма, поскольку веса ядра реплицируются по всему кубу. Общий принцип проектирования CNN заключается в том, что количество карт объектов должно быть увеличено в поздних слоях путем создания нескольких типов объектов из одного и того же набора карт объектов более низкого уровня.

Регуляризация действия или движения: вычисление элементов движения из большого количества кадров и регуляризация трехмерных моделей CNN с использованием этих функций движения в качестве вспомогательных выходов. В частности, для каждого обучающего действия генерируют вектор признаков, кодирующий информацию о долгосрочном действии, помимо информации, содержащейся во входном кадре куба для CNN. Это достигается путем подключения ряда вспомогательных выходных блоков к последним скрытым слоям CNN и фиксации векторов вычисленных признаков на вспомогательных блоках во время обучения. Благодаря регуляризации достигается стабильная производительность. Комбинация выходных данных: необходимо разработать несколько трехмерных моделей CNN с различными архитектурами, что позволит получать потенциально дополнительную информацию из входных данных. На этапе прогнозирования вводятся данные для каждой модели, а затем результаты этих моделей объединяются. Благодаря этому методу производительность модели CNN улучшилась.

Рассматривая трехмерная модель сверточной нейронной сети для распознавания действий, которая хорошо подходит для наблюдения за действиями человека в общественных местах. Таким образом, разработанная 3D-модель CNN обучена с использованием обратного распространения и алгоритма под наблюдением, который способен повысить производительность примерно на 88-90% при прогнозировании и распознавании подозрительных действий человека в течение короткого периода времени. Предварительные исследования должны проводиться при обучении системы. Результаты работы могут найти применение в системах видеонаблюдения и анализа поведения человека в различных организаций, специфика работы которых связана с обслуживанием и контролем больших потоков людей.

Предложенная модель распознавания действий человека на основе применения *CNN* предоставит возможность автоматизации функций контроля, прогнозирования и распознавания подозрительных действий человека на раз-

личных объектах промышленности, транспортной и социальной инфраструктуры страны. Ее применение модели в местах массового скопления людей, позволит снизить влияния человеческого фактора на объективность и качество распознавания ситуаций. Дальнейшие работы будут направлены на разработку алгоритмического и программного обеспечения предложенной модели распознавания действий человека.

Литература

1. Paul M., Haque S., and Chakraborty S., "Human Detection in Surveillance Videos and its Applications-A Review," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, pp. 1-16, 2013.
2. Лобанева Е.И., Киреенкова М.С., Пучков А.Ю. Экономико-математическая нейросетевая модель для прогнозирования пассажиропотока железнодорожного пригородного сообщения // Транспортное дело России. 2018. № 4. С. 96-101.

А.С. Лобанов, студ.; рук. О.В. Булыгина, к.э.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВНЕДРЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ ТЭК

Сегодня российские организации активно внедряют модели временного привлечения различных ресурсов для реализации проектов, стараясь следовать последним мировым тенденциям в этой области. Так, за рубежом нередко персонал, решающий стратегически важные задачи, не входит в штат организаций и производственное оборудование не покупается, а арендуется.

В ИТ-сфере такой подход активно используется в центрах обработки данных, а также в организациях, которые производят вычисления удаленно. В этом случае на помощь приходят облачные технологии, которые позволяют использовать дополнительные вычислительные мощности на платной основе [1]. Основное отличие облачных технологий заключается в том, что они не только обеспечивают доступ к IT-инфраструктуре и соответствующим решениям, но и позволяют оптимизировать их потребление в зависимости от текущих потребностей. Кроме того, они предоставляют доступ к расчетным системам, основанным на современных информационных технологиях.

Однако при всех указанных достоинствах облачные технологии недостаточно активно используются в реальном секторе экономики России, в том числе и в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК).

В то же время объективная потребность в облачных решениях для организаций ТЭК продиктована тем, что в России происходит развитие направления цифровой энергетики, в рамках которой выделяется ряд инициатив (рисунок 1) [2].

В настоящее время перед организациями ТЭК стоит задача создания цифровых моделей добычи и использования ресурсов (нефти, газа, угля), а также систем поддержки принятия обоснованных управленческих решений с использованием методов интеллектуального анализа данных.

Для сферы добычи ресурсов наибольшую актуальность приобретают ИТ-решения, связанные с геологической разведкой месторождений. В этом

направлении предполагается создание «умных» систем, которые будут собирать большие данные, и прогностических моделей, которые будут строить качественные прогнозы, являющиеся основой для выработки эффективных управленческих решений.

Рисунок 1 – Основные стратегические инициативы развития цифровой энергетики в России

В настоящее время лидером в данной сфере является научно-технический центр «Газпром нефть», которым специально для Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения разработана интегрированная (комплексная) цифровая модель, состоящая из блоков геологоразведки, добычи и наземной инфраструктуры [3].

В электроэнергетике ожидается дальнейшая оптимизация затрат: неуклонно будет расти эффективность систем производства, передачи и распределения электрической энергии. В сфере оплаты услуг на поставку электроэнергии планируется внедрение смарт-контрактов. Развитие систем прогнозирования аварийности в электроэнергетических системах будет способствовать минимизации перерывов электроснабжения потребителей и оптимизации проведения ремонтных компаний.

Для каждого из перечисленных секторов приоритетной задачей является обеспечение информационной безопасности в соответствии с Федеральным законом «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 №187-ФЗ.

Ключевой задачей цифровизации организаций ТЭК является получение дополнительного финансового эффекта за счет внедрения новейших информационных технологий, однако это потребует колоссальных инвестиций в ИТ-инфраструктуру, коммуникации и разработку приложений.

Вследствие того, что сегодня в России активно использует достижения мировых телекоммуникационных компаний, решение поставленных задач цифровизации будет основываться на внедрении западных устройств и решений. Например, организациями ТЭК подходят следующие облачные решения: Office 365 от Microsoft, сервисы Яндекс и Google, а также корпоративные системы 1С, amoCRM, «Битрикс 24».

В то же время следует отметить, что облачные решения подвержены множеству информационных угроз различных типов.

1. Облачные технологии предполагают обращение к данным по каналам сети Интернет, поэтому существуют дополнительные угрозы перехвата информации.

2. Ввиду того, что облачные технологии используют мощности большого числа машин, между которыми происходит перераспределение данных, часто происходит нарушение целостности систем безопасности, особенно в моменты восстановления резервных копий.

3. Данные, хранящиеся в облачных хранилищах, уязвимы как для вирусных программ, так и для удаленного взлома.

4. Бездействующие виртуальные машины не способны запускать защитное программное обеспечений, что приводит к угрозам, возникающим при переносе данных на ее носители.

5. Наличие инсайдерской угрозы со стороны заинтересованных сторон, связанной с возможностью получения доступа к данным бывшими и нынешними сотрудниками, а также их предоставления конкурентам.

6. Направленная кибератака с целью потери части или полностью данных, размещенных на облачном решение для нанесения вреда организации.

7. Облачные операторы часто не раскрывают свои истинные мощности, и организация, осуществляющая сложные высокозатратные вычисления, не может столкнуться с нехваткой вычислительных мощностей в самый ответственный момент.

8. В случае нехватки мощностей облачных вычислений организация может столкнуться с большими проблемами при миграции к другому оператору облачных вычислений.

К основным способам защиты облачной информации относят:

1. Шифрование данных: информация, размещенная на облачном сервисе, должна надежно шифроваться, а данные, которые теряют актуальность, – безвозвратно удаляться.

2. Защита данных при передаче: провайдеры облачных сервисов, как правило, защищают данные с использованием таких известных протоколов, как AES, TLS, IPsec.

3. Аутентификация, которая обеспечивает доступ к пользовательской информации через ввод пароля, токены, сертификаты, LDAP и SAML.

4. Изоляция пользовательских данных, которая предполагает хранение информации на индивидуальных виртуальных машинах и в виртуальных сетях, в том числе с применением технологий VPN, VLAN и VPLS, для того, чтобы злоумышленники не могли получить доступ к данным клиентов, используя пробелы в коде.

В заключение следует отметить, что главным достоинством защищенных облачных решений для организаций ТЭК, которые имеют территориально распределенные подразделения, является возможность быстро получить доступ к значительным вычислительным ресурсам на определенный срок для реализации

различных проектов, что позволяет значительно экономить финансовые ресурсы. При этом потребности в таких ресурсах возникают не постоянно, поэтому иметь в собственности подобные технологии экономически нецелесообразно.

Литература

1. Хажиева А.С. Облачные технологии: достоинства и недостатки / А.С. Хажиева // Технические науки. 2017. №3. С. 12-17.
2. Ляпин А.М. Технологии больших данных и облачных вычислений в сфере энергетики / А.М. Ляпин, А.Г. Финогеев // Известия ВолгГТУ. 2017. С. 53-58.
3. Прогноз научно-технологического развития отраслей топливно-энергетического комплекса России на период до 2035 года. М.: Министерство энергетики РФ. 2016. 106 с.

Р.С. Львов, маг.; рук. Е.А. Панкратова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

СЦЕНАРИЙ АТАКИ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПРОТОКОЛА RDP

Быстрое развитие IT индустрии и технологий дает плодотворную почву для компьютерной преступности. Вопрос информационной безопасности в современном мире стоит особенно остро. Одной из проблематик в развитии теоретических основ информационной безопасности является отсутствие общепринятого термина, описывающего мероприятия проводимые в данной предметной области. безопасности. Наиболее уязвимым местом в информационной безопасности являются критические инфраструктуры, утечка информации или уничтожение через один компьютер, будет пагубно влиять на всю информационную структуру в целом.

Актуальность представленной темы определила цель данной работы - прогнозирование способов атак удаленного рабочего стола и изучение методов защиты.

Клиент протокола удаленного рабочего стола (Remote Desktop Protocol, RDP) является бесценным инструментом используемый тысячами IT-специалистов и исследователей в области безопасности по всему миру. Продукт компании Microsoft обычно считается безопасным и заслуживающим доверия приложением для удаленного доступа, работ по администрированию удаленных серверов и повседневных задач. Разнообразие функционала и решений для администрирования, может сделать протокол RDP серьезной угрозой для системы безопасности IT- инфраструктуры. Неуклонно растет количество атак через RDP. Начиная с 2017 года протокол RDP обошел электронную почту по количеству производимых атак — 66% против 33%, следовательно, построение модели угроз информационной безопасности протокола RDP является актуальной задачей [1].

Для построения модели угроз рассмотрим классификацию из материалов федеральной службы по техническому и экспертному контролю «Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных» [2].

По цели воздействия на информацию уязвимости протокола Remote Desktop можно соотнести с тремя видами угроз:

1. угрозы нарушения конфиденциальности, обрабатываемой клиентами информации;
2. угрозы нарушения целостности обрабатываемой информации;
3. угрозы нарушения доступности.

Существует несколько сценариев развертывания атаки на протокол удаленного рабочего стола. При проведении исследований безопасности компьютерных систем, была выделена самая распространенная последовательность действий.

Поиск уязвимого RDP порта осуществляется с помощью свободно распространяемых дистрибутивов программ, использующих доступ в Интернет и сканирующих внешние IP-адреса компьютеров. Выбирая стандартный порт RDP 3389, злоумышленник сканирует определенный диапазон IP-адресов. Задача программы найти и сохранить список найденных IP-адресов с открытым RDP портом, а затем подключиться к каждому компьютеру из списка, и методом перебора логина и пароля “Bruteforce”, пытаться пройти аутентификацию. Подобрав нужные идентификационные данные, правонарушитель становится полноправным оператором вашего устройства. Проприетарный протокол Microsoft предоставляет графический интерфейс, управляемый через клавиатуру и мышь, появляется возможность создать аккаунт с административными правами и закрепиться в инфраструктуре, перестраивая так, чтобы система безопасности не мешала исполнению вредоносного кода [3].

В результате анализа рассмотренного сценария атаки и вероятных последствий составлена модель угроз, представленная в рисунке 1.

Рисунок 1 – Модель угроз протокола RDP

Для предотвращения атак на RDP-соединение существует ряд методов предупреждения угроз. В данной статье рассмотрим общепринятые меры для обеспечения защиты удаленного подключения [4].

1. Не включать протокол без необходимости

Следует внимательно подходить к настройке RDP, не включать протокол без лишней необходимости.

2. Использовать VPN для удаленных подключений

Необходимо защитить RDP-подключения, поступающие через Интернет, путем создания виртуальной частной сети (VPN). В VPN-туннеле безопасность подключений обеспечивается шифрованием трафика.

3. Переименовать стандартного Администратора

Все версии Windows имеют встроенную учетную запись Администратор, которая названа так по умолчанию. Переименовать пользователя локального администратора, означает усложнить задачу подбора логина и пароля для аутентификации.

4. Блокировка RDP-подключений для учетных записей с пустым паролем

Усилить RDP безопасность можно, запретив windows server подключаться учетным записям с пустым паролем.

5. Блокировать множественные попытки подключения с неверными данными (защита от “Bruteforce”)

Чтобы пресечь множественные попытки авторизации с ложными данными, можно отслеживать журнал событий и вручную блокировать атакующие IP-адреса посредством брандмауэра Windows.

6. Изменить стандартный номер RDP-порта

Порт 3389 используется по умолчанию для RDP-соединений, именно этот порт обнаруживают программы поиска уязвимостей. По возможности его необходимо изменить на другой.

7. Использовать двухфакторную аутентификацию

Частным случаем практики защиты протоколов межсетевого взаимодействия является использование двух разных факторов аутентификации - например: стандартный пароль и одноразовые коды 2FA, что устраняет возможность компрометации аккаунта в случае перехвата или подбора пользовательского пароля.

8. Устанавливать новые обновления

Существуют общедоступные ресурсы, на которых можно ознакомится с обнаруженными уязвимостями, и изучить вышедшие новые обновления, перекрывающие возможность использования этой уязвимости злоумышленниками. Вследствие чего, необходимо регулярно делать проверку и устанавливать свежие обновления системы.

9. Применение в организации политики сложных паролей

Генерацией паролей должны заниматься IT-специалисты администрирующие серверы организации. Сложные пароли, состоящие из комбинаций цифр, букв и специальных символов, невозможно легко подобрать. Пароли должны

подлежать регулярной замене, следует отказаться от “общих” паролей и имен учетных записей, таких как admin, test, guest, password.

10.Использовать системы информационной безопасности

Необходимо подчеркнуть, что для безопасности IT-инфраструктуры очень важна автоматизация процесса защиты информации. В настоящее время контроль аппаратных и программных средств следует доверять проверенным и зарекомендовавшим себя на рынке программного обеспечения системам информационной безопасности. Можно выделить ряд компонентов, которые обязан включать в себя сторонний “Firewall”:

В результате анализа сценария атаки и уязвимостей в работе RDP-протокола, была составлена модель угроз для универсальных систем обработки информации, в которых присутствует удаленное подключение как из локальной сети, так и через Интернет. В рамках исследования были выделены вероятные векторы атаки на протокол удаленного доступа, угрозы были классифицированы по цели воздействия и разработаны методы по организации защиты и устранению уязвимостей RDP-подключения.

Литература:

1. ФСТЭК: Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах (проект) [Электронный ресурс] // ФСТЭК России.2015. URL: http://fstec.ru/component/attachments/download/812 (дата обращения: 1.03.2019).
2. Шифровальщики атакуют через удаленный доступ [Электронный ресурс] // Threatpost: информ.-справочный портал. URL: https://threatpost.ru/ransomware-targets-rdp/23320/ (дата обращения: 1.03.2019).
3. Спецификация Microsoft на основные функции RDP [Электронный ресурс] // Open Specifications. URL: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/cc240445(PROT.10).aspx (дата обращения: 26.02.2019).
4. Национальная база уязвимостей [Электронный ресурс] //CVE. URL: https://cve.mitre.org/cgi-bin/cvename.cgi?name=CVE-2018-8791 (дата обращения: 9.03.2019).

А.С. Мохов, к.т.н.; рук. В.О. Толчеев, д.т.н., проф.; П.А. Туркин, студент
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» г.Москва)

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НАУЧНОГО ПРОФИЛЯ КАФЕДРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ БИБЛИОТЕКИ ELIBRARY.RU

Научный профиль кафедры определяется направлениями исследований (прежде всего тематиками НИР), которые проводятся сотрудниками. Результаты этих работ публикуются в журнальных статьях (докладах на конференциях) и размещаются в цифровой библиотеке *eLibrary.ru*. В настоящее время на основе информации из *eLibrary.ru* рассчитываются различные наукометрические показатели, анализируется публикационная активность специалистов, оцениваются темпы развития предметных областей. В данной работе возможности цифровой библиотеки *eLibrary.ru* совместно со средствами интеллектуального анализа данных *Text Mining* используются для построения научного профиля кафедры.

Формирование научного профиля дает важную объективную информацию о деятельности кафедры и позволяет (полностью или частично) ответить на ряд значимых вопросов:

- насколько научный профиль согласуется с реализуемой образовательной программой (бакалаврскими и магистерскими курсами), т.е. совпадают ли тематики публикаций с разделами лекционных курсов?

- как изменяются во времени научные интересы специалистов, оказывают ли влияние на направления исследований «глобальные тренды» (или предпочтение отдается тематикам, «традиционным» для кафедры)?

- в чем заключается специфика научной специализации кафедры, имеется ли существенное перекрытие тематик с другими кафедрами, является ли это следствием дублирования исследований или результатом межкафедрального сотрудничества?

- соответствует ли информация, приводимая на кафедральном сайте для абитуриентов, студентов, аспирантов, реальной ситуации, совпадает ли экспертно составленное описание с профилем, полученным с помощью средств *Text Mining*?

В данной работе основное внимание уделяется разработке методики построения научного профиля кафедры. Методика основывается на расчете частоты встречаемости русскоязычных ключевых слов в публикациях сотрудников. Выборка документов формируется из цифровой библиотеки *eLibrary.ru*

Прокомментируем некоторые ограничения предлагаемого подхода: из анализа выпадают научные труды, которые изданы в зарубежных журналах, индексируемых в базах данных *Scopus* и *Web of Science*, а также патенты, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, акты о внедрении, отчеты по НИР, диссертационные работы, защищенные на кафедре. Мы также столкнулись с проблемой неполноты данных в *eLibrary.ru* (не все статьи и не все авторы нашлись в цифровой библиотеке).

В большинстве случаев возможные искажения не будут существенными. Как отмечалось ранее, основные результаты НИР (кроме имеющих ограничения по секретности) и диссертационных работ публикуются и содержатся в *eLibrary.ru*. Это справедливо и для русскоязычных журналов, индексируемых в базах данных *Scopus* и *Web of Science*. Кроме того, по нашим оценкам, даже для англоязычных статей и докладов, изданных авторами за рубежом, чаще всего имеются аналогичные русскоязычные работы (т.е. доступны ключевые слова). Основная проблема, остающаяся не решенной в рамках данного подхода, заключается в игнорировании показателя цитируемости научных трудов, отражающего степень признания автора (авторов) научным сообществом. Кроме того, не принимаются во внимание и другие менее значимые показатели: должности, звания и ученые степени авторов, вид и место издания документа.

Проведем построение терминологического профиля научного коллектива на примере кафедры управления и информатики (*УиИ*) НИУ «Московский энергетический институт».

Исходными данными является список сотрудников кафедры *УиИ*, размещенный на сайте кафедры (*uii.mpei.ru*). Разработанная методика содержит последовательное выполнение следующих шагов.

1. С использованием возможностей цифровой библиотеки *eLibrary.ru* выявляются русскоязычные ключевые слова, содержащиеся во всех публикациях сотрудников.

Для этого в *eLibrary.ru* реализуются следующие действия: «Навигатор» → «Авторский указатель» → Поиск автора (по фамилии, имени, отчеству, месту работы) → Получение списка публикаций автора → Переход в раздел «Инструменты» (правое меню) → «Анализ публикационной активности автора» → «Статистические отчеты» → «Распределение публикаций по ключевым словам».

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПУБЛИКАЦИЙ ПО КЛЮЧЕВЫМ СЛОВАМ

№	Ключевое слово	Публикаций
1.	TEXT MINING	5
2.	PROFILE METHODS	3
3.	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕКСТОВЫХ ДАННЫХ	3
4.	КОЛЛЕКТИВЫ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ	3
5.	НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	3
6.	ПРОФИЛЬНЫЕ МЕТОДЫ	3
7.	УЧЕБНИК ДЛЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ	3
8.	ENSEMBLE OF CLASSIFIERS	2
9.	METHODS OF BILINGUAL TEXT CLASSIFICATION	2
10.	NONPARAMETRIC METHODS OF CLASSIFICATION	2
11.	АНАЛИТИКО-СИНТЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ	2
12.	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ	2
13.	ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ	2

Рисунок 1. Пример списка ключевых слов

На рисунке 1 (для одного из сотрудников кафедры) приведен результат выполнения вышеуказанной последовательности шагов и выведен список наиболее частотных ключевых слов.

Обратим внимание, что в создаваемый профиль включаются только русскоязычные термины. Отметим также наличие некоторых недоработок в алгоритме *eLibrary.ru* по выявлению ключевых слов – в приведенном списке имеется ошибочный дескриптор («учебник для высшей школы»), который будет включен в результирующий кафедральный профиль (или должен быть удален «вручную» на стадии предварительной обработки документов).

2. Проводится предварительная обработка документов из выборки {X}.

Элементами выборки являются текстовые строки X_j, состоящие из ключевых слов каждого автора. Далее реализуются следующие операции:

- Удаляются стоп-слова (например, предлоги) и знаки разметки.

- Применяется модель «мешок слов» [1]. При этом все словосочетания рассматриваются как отдельные термины (т.е. ключевое слово «интеллектуальный анализ данных» разбивается на три самостоятельных дескриптора: «интеллектуальный», «анализ», «данных»). Выборка представляется в виде матрицы «авторы-термины»:

$$X=\begin{bmatrix} x_1^{(1)} \ldots x_1^{(i)} \ldots x_1^{(M)} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_j^{(1)} \ldots x_j^{(i)} \ldots x_j^{(M)} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_N^{(1)} \ldots x_N^{(i)} \ldots x_N^{(M)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Здесь N – количество строк, каждая из которых содержит дескрипторы одного из авторов (N – число сотрудников кафедры, $j = 1,\ldots,N$); M – размер словаря, который равен числу всех несовпадающих дескрипторов в кафедральных публикациях ($i = 1,\ldots,M$). В случае отсутствия i-го термина в j-ом документе в соответствующей позиции ставится «0». При проведении кафедрой исследований по широкому кругу тематик матрица (1) получается сильно разряженной.

- Так как матрица (см. формулу 1) будет содержать ряд родственных терминов в различных словоформах, то проводится нормализация [1].

- Рассчитывается вес каждого термина:

$$x_j^{(i)} = f_{ij}, \quad (2)$$

где f_{ij} – частота встречаемости i-го термина (после проведения нормализации) в выборке {X}.

3. На основе рассчитанных весов терминов составляется терминологический профиль кафедры, включающий упорядоченные по частоте встречаемости дескрипторы.

4. Анализируется полученный профиль, при необходимости проводится его уточнение (укрупнение-детализация) и визуализация с помощью программы «Облако слов» (мы использовали онлайн-генератор «Облакослов.рф»).

Рисунок 2. Облако ключевых слов для сотрудников кафедры УиИ НИУ «МЭИ»

На рисунках 2 и 3 приводятся «Облака слов», полученные при реализации вышеуказанной методики для кафедры *УиИ*.

На рисунке 2 представлена визуализация результатов после проведения нормализации дескрипторов и удаления редких слов с частотой встречаемости менее трех раз.

На рисунке 3 также отсекались наиболее частотные (общенаучные) термины (модель, метод, система и т.п.). Это позволило детализировать терминологический состав профиля за счет отображения менее частотных, но более информативных слов.

Полученный профиль кафедры был использован для ответа на один из ранее сформулированных вопросов – соответствия направлений научных исследований и читаемых лекционных курсов. Для этого мы проанализировали учебные программы дисциплин бакалаврского и магистерского циклов. Были построены профили курсов, которые состоят из упорядоченных по частоте встречаемости терминов, содержащихся в п.4.1 «Структура дисциплины» и п.4.2. «Краткое содержание разделов» каждой из учебных программ. В качестве меры близости между двумя профилями использовался коэффициент Джаккарда [1].

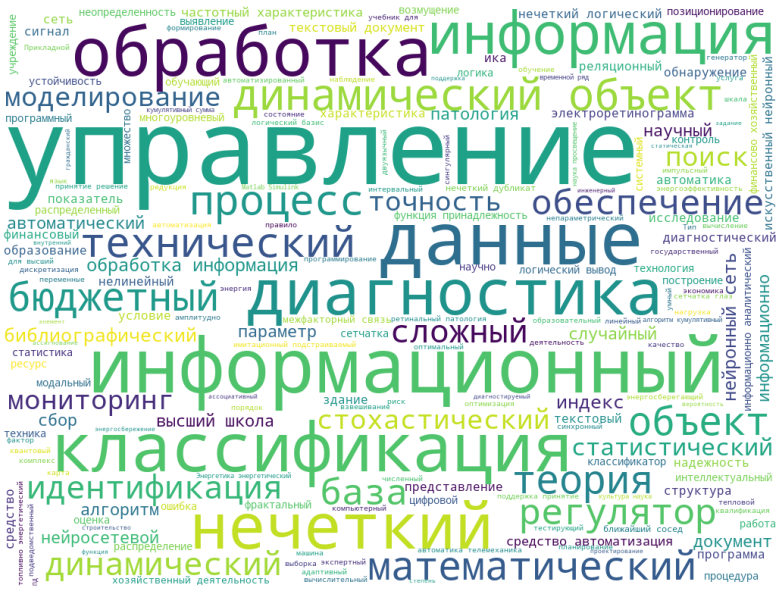


Рисунок 3. Облако ключевых слов для сотрудников кафедры УиИ НИУ «МЭИ» после удаления общенаучных терминов

Из рассмотренных бакалаврских предметов («Теория управления», «Статистические методы в инженерных исследованиях», «Методы оптимизации», «Системы управления базами данных», «Идентификация объектов управления») к научному профилю кафедры ближе всего оказалась «Идентификации объектов управления». Для магистерских программ таких курсов с приблизительно одинаковыми показателями было выявлено два: «Нечеткие алгоритмы управления» и «Интеллектуальные информационные системы». Можно сделать вывод, что в этих предметных областях на кафедре *УиИ* имеются преподаватели, которые ведут учебные занятия в области своей научной специализации. К сожалению,

проведенное сопоставление терминологических профилей не позволяет оценить степень соответствия лекционных курсов современному уровню развития данных научных направлений. Для получения таких оценок требуется сравнить полученный профиль курса с аналогичными профилями курсов, которые читаются авторитетными специалистами в других вузах (или сопоставить с профилем ведущих научных групп, специализирующихся в рассматриваемой тематике).

Таким образом, нами разработана методика построения научного профиля кафедры на основе данных, содержащихся в цифровой библиотеке *eLibrary.ru*. Предложенная методика использована для формирования профиля кафедры управления и информатики НИУ «МЭИ» и выявления бакалаврских и магистерских курсов, по тематикам которых на кафедре ведутся наиболее интенсивные научные исследования. Результаты показали, что основные кафедральные работы сосредоточены на трех направлениях: идентификация объектов управления, нечеткие алгоритмы управления и интеллектуальные информационные системы. Как представляется, разработанная методика достаточно универсальна и может быть применена для построения профилей различных подразделений, в частности научных отделов, лабораторий, исследовательских групп.

Литература

1. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. – М.: Вильямс, 2014 –528 с.

А.В. Петраков, студент; рук. Е.А. Панкратова, к.т.н., доцент.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В настоящее время довольно остро стоит вопрос поиска «хороших» генераторов псевдослучайных последовательностей. Случайные числа используются для различных целей: программирования, компьютерных игр, моделирования, численного анализа и т.д.. В современной информатике псевдослучайные числа получили широкое применение, начиная от метода Монте-Карло до криптографии. При этом очень важную роль играет качество этих псевдослучайных последовательностей, так как от него напрямую зависит точность и корректность получаемых результатов.

К средствам генерации псевдослучайных последовательностей (ПСП) предъявляются жесткие требования, в первую очередь по таким параметрам, как непредсказуемость, статистические и периодические свойства. В настоящее время существует трудно разрешимое противоречие между непредсказуемостью генераторов ПСП и их производительностью. Поэтому проблема получения

псевдослучайных чисел актуальна и находится в центре внимания многих исследователей.

Вихрь Мерсенна представляет собой витковый регистр сдвига с обобщённой отдачей. «Вихрем» называют преобразование, которое дает равномерное распределения псевдослучайных чисел в 623 измерениях. Для линейных конгруэнтных генераторов, которые широко используются во многих языках программирования, оно ограничивается 5-ю измерениями. В настоящий момент, хорошие генераторы (с точки зрения строгих тестов и практического применения) удовлетворяют двум критериям:

- высокое k-распределение;

- характеристический многочлен с большим числом членов.

MT19937 удовлетворяет вышеуказанным критериям в большей мере, нежели другие существующие генераторы. Генератор имеет чрезвычайно высокий период 2^19937 − 1, при этом занимая всего 624 слова. Генерируемая последовательность имеет высокое k-распределение с v-точностью для каждого v, v=1,2,…,32.Характеристический многочлен содержит более 100 членов.

MT19937 [1] генерирует последовательность векторов-слов, которые являются псевдослучайными целыми из диапазона от 0 до - 1. Путем деления на - 1, мы получим псевдослучайное вещественное из диапазона [0,1].

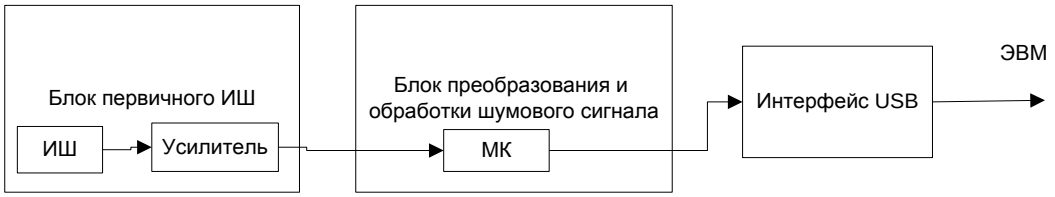
Успешная инициализация – одно из условий получения статистически сильной последовательности на выходе программного генератора псевдослучайных чисел.

Инициализацию генераторов псевдослучайных чисел необходимо производить как можно реже, так как для этого требуется полная установка внутреннего состояния ГПСЧ. К тому же, на практике достаточно трудно получить подходящие начальные значения. Наиболее распространенным методом для задания начального значения является определение текущего времени с максимальным разрешением. Когда для повторной инициализации ГПСЧ используется текущее время, есть вероятность возникновения ситуации, когда промежуток времени между ними становится практически постоянным. Возможно, промежуток окажется нулевым, если системные часы имеют недостаточное разрешение. Таким образом генератор будет инициализирован тем же значением, что и ранее. Для большинства приложений это является неприемлемым.

Генератор MT19937 имеет важную особенность инициализации [1]. Генератор данного типа имеет большой регистр – 624 слова размером бит, и к его инициализации необходимо подходить ответственно, т.к. в противном случае есть вероятность получить на выходе генератора статистически слабую последовательность. В своей работе разработчики генератора не предлагают никакого алгоритма инициализации регистра. Теоретически возможно использовать для этого различные доступные источники случайных чисел, как истинно случайные, так и детерминированные. На практике для инициализации программного генератора входящего в состав программного обеспечения общего назначения

используется, в основном, системный таймер. Полученное от таймера значение (количество миллисекунд прошедшее с определенной даты), размером 64 бит достаточно для инициализации некоторых типов генераторов. Для инициализации MT19937 можно выбрать псевдослучайную последовательность алгоритмически, используя полученное от таймера значение как начальное заполнение по алгоритму, например, предложенному Дональдом Кнутом. Но для улучшения качества генерируемых последовательностей предлагается использовать аппаратный генератор.

Используемый в составе ПА ГСЧ аппаратный генератор истинно случайных чисел представляет собой периферийное устройство, сопрягаемое с ЭВМ при помощи интерфейса USB [3]. На рисунке 1 приведена структурная схема аппаратного генератора случайных чисел.



Р

исунок 1 – Структурная схема аппаратного генератора случайных чисел

Блок первичного источника шума предназначен для генерации аналогового шумового сигнала заданной амплитуды, перед подачей его на микроконтроллер (рисунок 1). При этом необходимо максимально уменьшить влияние на шумовой сигнал внешних наводок, колебаний температуры, изменения параметров элементов схемы и т.д. Схема электрическая принципиальная блока первичного источника шума приведена на рисунке 2.

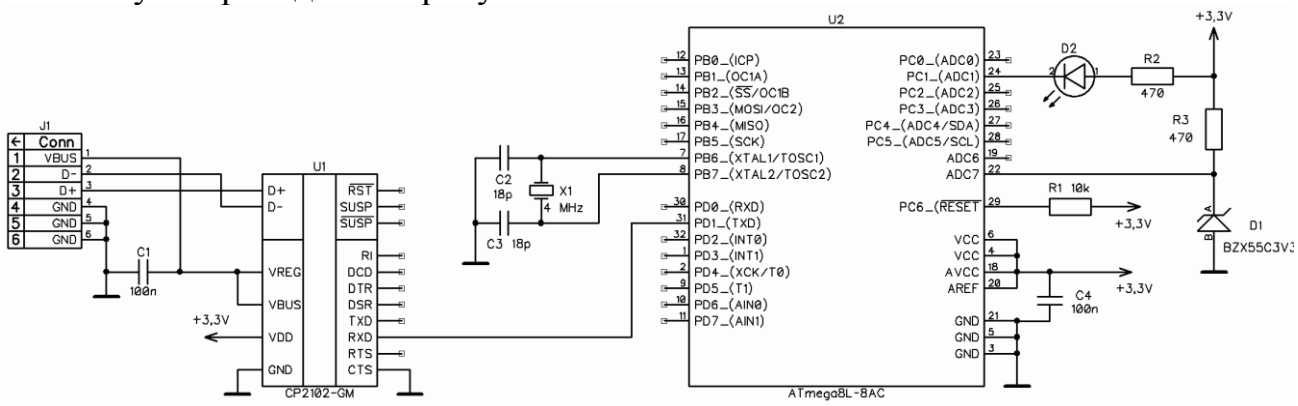


Рисунок 2 - Схема электрическая принципиальная

Блок преобразования и обработки шумового сигнала предназначен для приема аналогового сигнала из блока первичного источника шума и преобразования данного сигнала в последовательность битов. Сигнал с выхода блока первичного источника шума поступает на входы встроенного в микроконтроллер компаратора, на которых происходит сравнение сигнала с «верхним» и «нижним» уровнями напряжения.

Использованный в блоке преобразования и обработки шумового сигнала микроконтроллер осуществляет выборки битов, а также осуществляет про-

граммную фильтрацию битовой последовательности, что позволяет сделать битовую последовательность более сбалансированной. Полученные на выходе биты передаются в ЭВМ через интерфейс USB.

Блок сопряжения с ЭВМ через интерфейс USB предназначен для передачи сформированных в блоке преобразования и обработки сигнала случайных байтов в ЭВМ, где расположена программная часть ПА ГСЧ.

В данной работе предложена модель аппаратного генератора случайных чисел, которая основана на использовании простого и надежного внешнего источника энтропии. В отличие от существующих моделей, предложенная модель позволяет выполнить устройство легким и компактным – размером с «брелок» накопителя Flash памяти или аппаратного ключа HASP [3]. К тому же, гораздо экономичнее существующих аналогов.

Также был предложен способ инициализации детерминированных алгоритмов, в частности, алгоритма «Вихрь Мерсенна», с целью повысить качество генерируемых псевдослучайных последовательностей.

Предложена модель аппаратного генератора случайных чисел, основанная на использовании простого и надежного внешнего источника энтропии и позволяющая генерировать истинно случайные числа. В отличие от существующих моделей, предложенная модель экономичнее и позволяет выполнить устройство легким и компактным. Использование предложенной схемы генерации псевдослучайных последовательностей, позволяет увеличить быстродействие генерации, а так же улучшить статистически показатели ПСП. К тому же используется эффективный канал для связи рассматриваемого генератора случайных чисел с ПК - шина USB, которая обладает рядом достоинств.

Литература

1. Слеповичев И.И. Введение в теориюгенераторов псевдослучайных чисел / Слеповичев И.И. - Самара: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016 – 128 с.
2. Слеповичев И.И. Генераторы псевдослучайных чисел / Слеповичев И.И. - Самара: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017 – 113 с.
3. Асосков А.В., Иванов М.А., Мирский А.А., Рузин А.В., Сланин А.В., Тютвин А.Н. Поточные шифры. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2013. С.8-30.

А.В. Погоняева, студ.; рук. Л.В. Фомченкова, д.э.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ПРОГРАММНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ОРГАНИЗАЦИИ

На сегодняшний день английский язык прочно укрепился на месте «мирового языка», так называемый «лингва франка» – он является связующим коммуникативным звеном не англоговорящих наций. Поэтому, когда большая компания или маленькая фирма выходят на мировой рынок, им, так или иначе, приходится иметь дело с английским языком. По данным всемирной организации EF (Education First) [1], в 2018 г. Россия заняла 42-е место из 88 по уровню

владения английским языком и только в этом году уровень вырос до «среднего» (во все предыдущие годы он находился на отметке «низкий»). Однако, этот индекс – результат исследования среди учащихся средних учебных заведений и студентов высших учебных заведений. Соответственно, среди всех жителей России, результат будет еще ниже.

Для развивающихся компаний сотрудничество с зарубежными фирмами – это новый уровень, новые возможности, поэтому им необходимо, чтобы сотрудники знали английский язык на должном уровне – коммуникативном или на уровне специальности (технический английский). Чтобы вести, например, переговоры с иностранными компаниями, работник должен обладать базовыми знаниями английского языка (уровень Beginner или Elementary) и знать необходимую лексическу по сфере своей деятельности. От него при этом не требуется беглая речь или наличие углубленных знаний грамматики, определенной лингвистики или каких-либо особенностей языка.

Разговорный английский язык человек может выучить разными способами – в школе, институте, на курсах, самостоятельно и т.д. Существует множество курсов иностранных языков, которые предлагают корпоративное обучение – без отрыва от производства, где сотрудников будут обучать непосредственно на рабочем месте необходимым им рабочим или коммуникативным основам английского языка. Но это имеет несколько ограничивающих факторов – расходы для компании (денежных средств и времени); способности сотрудников к изучению языков, групповому обучению и непосредственное их желание, и отсюда как результат – отстутствие определенных гарантий, что обучение для всех будет эффективно, соответственно для компании – это инвестиционные риски; а также в большинстве обучающих программ преподаваемый английский – это язык непосредственно для общения.

Что касается технического английского языка (уровень Technical English) – он охватывает множество профессиональных сфер, и требуется различным специалистам: инженерам, программистам, IT-специалистам, работникам добывающей и производящей промышленности и т.д. Технический язык – узконаправлен, требует определенных навыков от учителя (источника) и большого запаса лексики. Особенность такого английского состоит в его насыщенности терминами и терминологическими словосочетаниями, сложными описательными конструкциями и аббревиатурами. Всё это требует знания языка не только в профессиональной сфере, но и на уровне базовой грамматики.

Технический английский язык также можно выучить на специальных курсах, однако, этого может быть мало, или в небольшом городе такую программу можно просто не найти, а самообразование, особенно в такой сфере, дается не каждому. Здесь также встает вопрос времени и желания, которые необходимы будут сотруднику для углубленного изучения английского. Но что, если взять простого рабочего-инженера, который получил заказ на изготовление деталей для иностранной фирмы? И, соответственно, все подписи, инструкции к заказу написаны на английском. Времени идти на курсы и изучать там каждый отдельно взятый заказ у него нет, к тому же, это означает и определенные расходы

(личные или работодателя). Следовательно, с каждым новым заказом, ему придется штудировать словарь и изучать новую литературу.

Решением такой проблемы может стать внедрение обучающей программы с накапливаемой базой данных в рабочий процесс организации, которая будет и словарем с подсказками, и новым методом изучения английского языка. Например, с пришедшим на производство заказом база будет пополняться новыми словами, доступными для изучения. Каждое слово будет иметь свою «страницу» с различными русскими эквивалентами и схематическими изображениями к каждому из них, чтобы, например, новому сотруднику было легче вникнуть в процесс производства, а также для формирования зрительных образов для лучшего усвоения материала. Дополнительное обучение предлагается в виде небольших упражнений с составлением предложений с новыми словами и упражнений с изображениями, сопровождающими переводимые слова. Для закрепления материала, а также для запоминания правильного произношения слов, программа будет дополнена аудиоматериалами – воспроизводимым произношением каждого слова или целых предложений. Это, вместе с тем, поможет сотруднику и в некоторых рабочих коммуникациях.

С учетом возможной нехватки в рабочем процессе свободного времени, вместе с внедрением программы должен быть разработан план по ее обязательному использованию (для обучения) и контролю за временем использования. Ученые советуют отводить на изучение нового материала по 30-50 минут. Например, предлагается выделять на работу с программой минимум 30 минут в день: 20 – на изучение словаря и текущей темы (заказа) и 10 – на повторение ранее изученных слов. При этом объем изучаемых по новой теме слов должен быть около 10 (или менее) за один сеанс работы.

Рассмотрим схему обучения на примере работы фрезеровщика станка ЧПУ (фрезерные станки с числовым программным управлением) (рисунок 1). Он получает задание (заказ) на создание деталей для последующего их импорта. Помимо этого, он использует новое импортное оборудование, программа для которого написана на английском языке. Таким образом, и для чтения заказа, и для его точного выполнения ему необходим технический английский язык. При получении заказа, он должен быть загружен и в предлагаемую программу, которая выделит имеющиеся технические термины и словосочетания, и, если они новые и еще не содержатся в базе, добавит их в словарь для этого завода. Фрезеровщик должен авторизоваться в системе программы (для сохранения прогресса обучения и его индивидуализации), далее он может зайти на «страницу» нового заказа и посмотреть переводы, описания и иллюстрации необходимых ему слов, которые также отмечаются для его профиля как доступные для изучения. Затем, он может зайти в раздел обучения, где получит задания на составления предложений с новыми терминами («разбитые» предложения, которые необходимо «собрать» в правильном порядке); задания с выводом изображений, схем детали, где необходимо из нескольких вариантов выбрать подходящий термин (на английском языке). Задания и конкретные слова, в которых будут совершаться ошибки, будут отмечаться программой как «необходимые к

повторению» и начнут появляться чаще, как при изучении этого заказа, так и в дальнейшем при повторении пройденного материала.

При открытии программы первый раз за день запустится таймер, который будет отсчитывать минимальные 30 минут обучения. Количество времени, проведенное в режиме обучения будет сохраняться ежедневно для контроля руководителя за выполнением плана по обучению персонала. Изучив словарь за 15 минут, фрезеровщик пойдет, например, составлять его в программе станка, затем позже вернется и откроет обучение по новому заданию, которое займет еще 20 минут. При закрытии смены и выключении компьютера, программа сохранит действующее значение времени нахождения работника в программе (35 минут).

Информационная система для создания такого программного продукта должна быть: сетевой (работающей по технологии «клиент-сервер») и информационно-аналитической. Так как предлагаемая программа – не просто словарь терминов, форматов «база данных» или «база знаний» для нее будет недостаточно ввиду наличия процесса обучения и анализа результатов этого процесса, а также ведения статистики для руководителей.

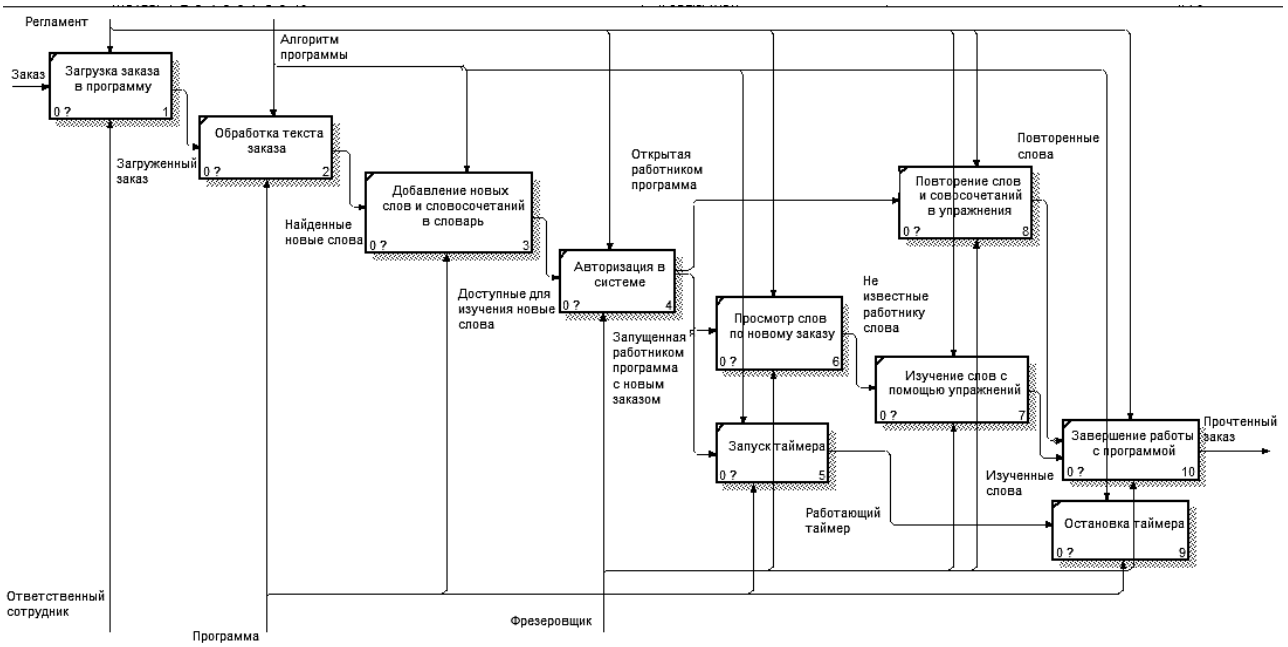


Рисунок 1 – Схема процесса обучения

На сегодняшний день можно найти множество программ и сервисов, как платных, так и в открытом доступе, которые позволят изучать и практиковать английский язык, самые распространенные из них это: LinguaLeo – платформа, использующая игровую форму с множеством медиа-материалов, Duolingo, работающая по аналогичному принципу, Easy Ten, Words, Memrise – сервисы для изучения и заучивания английских слов, а также более узконаправленные программы: Business Letters, которая позволяет тренировать деловой английский, English Grammr in Use – торетические и практические упражнения для изучения грамматики, BX Language Acquisition – словари. Однако, все они направлены на

изучение английского не профессионального языка (исключая деловой английский), необходимого скорее для жизни. Большинство из перечисленных сервисов работают в нескольких версиях: онлайн (через сайт), на Android и на IOS. Последние три программы доступны для скачивания и не требуют постоянного Интернет-соединения (обновления и дополнительные материалы устанавливаются пользователем вручную). Для того, чтобы работать с программой, например, BX Language Acquisition, на работе и дома, предлагается выгружать файлы статистики обучения из одной программы (последней, в которой работал пользователь) и загружать во вторую и обратно.

Предлагаемый сервис предназначен, прежде всего, для изучения английского непосредственно на рабочем месте, поэтому он должен быть разработан как программа для компьютера, требующая наличия Интернет-соединения или хотя бы локального соединения для ведения и сбора статистики обучения работников. При наличии доступа к сети Интернет словари и задания смогут обновляться и пополняться с сервера напрямую, без вмешения пользователя.

Представляется, что такой метод повысит эффективность работы сотрудников любых организаций, где требуется знание технического английского языка, упростит изучение и запоминание английской терминологии, улучшит коммуникативный уровень английского языка сотрудников, повысит качество их работы и статус специалистов в профессиональной сфере. Всё это, соответственно, поспособствует продвижению компании на мировом рынке увеличению ее прибыли.

Литература

1 EF EPI Уровень владения английским языком в России https://www.ef.ru/epi/regions/europe/russia/

А.С. Пономаренко, студент; рук. В.В. Борисов, д.т.н., профессор
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ

В статье показана зависимость величины риска от состояния факторов внешней и внутренней среды. Предложен метод оценки производственных рисков, основанных на использовании аппарата нечетких байесовских сетей.

Ключевые слова: байесовские сети, нечеткие байесовские сети, правило Байеса, производственные риски, нечеткая арифметика.

За последние несколько десятков лет довольно популярным инструментом во многих областях исследования стали байесовские сети доверия. Это обусловлено их свойствами по объединения различных видов информации, например, полученной экспериментально или от экспертов, а также возможностью работы с неполной или неточной информацией. Байесовские сети доверия

находят широкое применение в самых различных областях: в медицине, экономике, социологии, психологии, экологии и многих других отраслях [3].

Привлечение нечеткости является закономерным шагом развития байесовских сетей доверия: вероятностная неопределенность, заложенная в модель сети, естественным образом дополняется размытостью оценок вероятностей взаимосвязей ее вершин, что позволяет точнее представить имеющуюся, обычно весьма приблизительную, информацию об анализируемой ситуации. Естественно, привлечение существенно более сложного типа данных (нечеткие числа вместо обычных) предопределяет, во-первых, возрастание сложности проблем организации сетевых вычислений и, во-вторых, появление целого ряда трудностей, отсутствующих в точечном варианте. К таковым относятся, в частности, разработка новых специальных и адаптация уже существующих алгоритмов для работы с нечеткими данных, обеспечивающих вероятностную корректность нечетких вычислений и интерпретируемость результатов, а также выбор целесообразного представления нечеткой информации, допускающего разумную оцифровку взаимосвязей в сети.

Возможны следующие способы введения нечеткости в байесовские сети:

- дополнение байесовского правила функциями принадлежности соответствующих значений переменных;
- замена вероятностей значений переменных сети на нечеткие множества (термы лингвистических переменных), а операций над четкими значениями – на операции S- и T-норм над нечеткими множествами;
- замена вероятностей значений переменных сети на нечеткие числа, а обычных операций – на расширенные операции над нечеткими числами.

В данной статьи рассмотрена модель, в рамках которой реализован последний способ введения нечеткости в байесовские сети. Коротко рассмотрим его:

- вероятности значений переменных сети заменяются на нечеткие числа (если переменные байесовской сети являются непрерывными, то они аппроксимируются терм-множествами соответствующих лингвистических переменных);
- операции суммирования, вычитания, произведения и деления вероятностей значений переменных заменяются на расширенные (например, по принципу обобщения Л. Заде) операции суммирования, вычитания, произведения и деления нечетких чисел, соответственно.

За основу модели была выбрана задача оценки рисков несчастных случаев на опасном производственном объекте. В качестве опасного производственного объекта (ОПО) рассмотрена трубчатая печь П-201, предназначенная для подготовки и стабилизации нефти в составе цеха подготовки и перекачки нефти.

На рисунке 1 представлена модель, позволяющая проводить оценку и анализ рисков на рассматриваемом опасном производственном объекте.

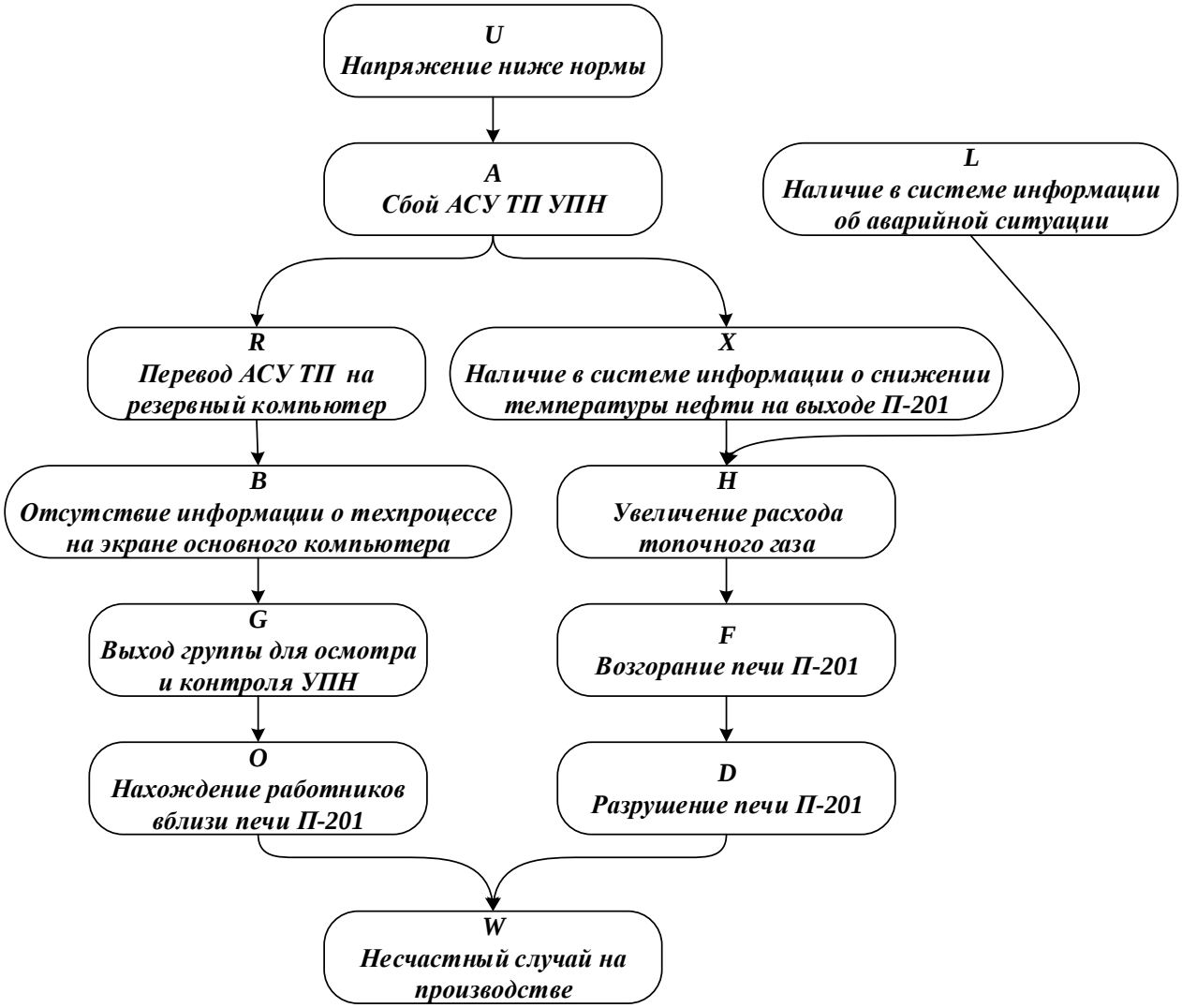
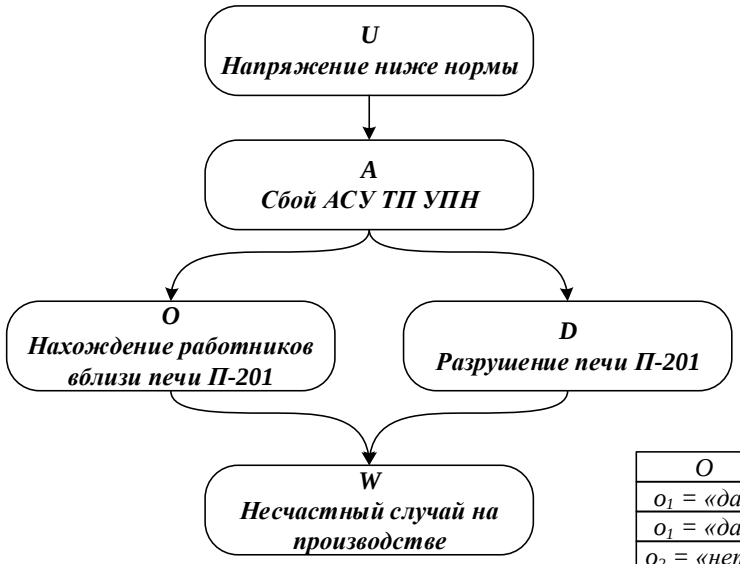


Рисунок 3 – Графическая иллюстрация модели рисков на ОПО П-201

В представленной модели учтены следующие зависимости. Вероятность сбоя автоматизированной системы управления производством (A) зависит от того, имело ли место падение напряжения ниже нормы (U). Сбой автоматизированной системы управления производством ведет к переводу её на резервный компьютер (R). Кроме того, если был зафиксирован сбой автоматизированной системы, это увеличивает вероятность наличия в системе информации о снижении температуры нефти на выходе П-201 (X). Если автоматизированная система управления производством была переведена на резервный компьютер, то вероятность отсутствия информации о технологическом процессе на экране основного компьютера (B) является высокой, что, в свою очередь, увеличивает вероятность выхода группы для осмотра и контроля печи (G). В случае если группа контроля выдвигалась для осмотра печи, вероятность нахождения работников в непосредственной близости от печи (O) является высокой. В то же время, наличие в системе информации о снижении температуры нефти на выходе печи ведет к увеличению расхода топочного газа (H), а увеличение расхода топочного газа при нормальном режиме работы печи ведет к её возгоранию (F),

что с высокой вероятностью вызывает разрушение печи (D). Нахождение работников вблизи печи в случае её разрушения с высокой вероятностью приводят к несчастному случаю на производстве (W).

На рисунке 2 приведен фрагмент нечеткой байесовской сети. Нечеткие вероятности значений переменных определены на основе результатов экспертного опроса. Для переменной «Напряжение ниже нормы (U)», в таблице представлена априорная нечеткая безусловная вероятность, а для остальных переменных – нечеткие условные вероятности.



$P(U = u_1 = «да»)$	$P(U = u_2 = «нет»)$
[0.05; 0.23; 0.48]	[0.52; 0.77; 0.95]

U	$P(A = a_1\|U)$	$P(A = a_2\|U)$
u_1 = «да»	[0.75; 0.86; 0.94]	[0.06; 0.14; 0.25]
u_2 = «нет»	[0.06; 0.14; 0.16]	[0.84; 0.86; 0.94]

A	$P(D = d_1\|A)$	$P(D = d_2\|A)$
a_1 = «да»	[0.72; 0.74; 0.89]	[0.11; 0.26; 0.28]
a_2 = «нет»	[0.05; 0.23; 0.30]	[0.70; 0.77; 0.95]

A	$P(O = o_1\|A)$	$P(O = o_2\|A)$
a_1 = «да»	[0.77; 0.89; 0.90]	[0.10; 0.11; 0.23]
a_2 = «нет»	[0.06; 0.22; 0.29]	[0.71; 0.78; 0.94]

O	D	$P(W = w_1\|O,D)$	$P(W = w_2\|O,D)$
o_1 = «да»	d_1 = «да»	[0.83; 0.86; 0.92]	[0.08; 0.14; 0.17]
o_1 = «да»	d_2 = «нет»	[0.05; 0.17; 0.22]	[0.78; 0.83; 0.95]
o_2 = «нет»	d_1 = «да»	[0.02; 0.13; 0.18]	[0.82; 0.87; 0.98]
o_2 = «нет»	d_2 = «нет»	[0.03; 0.07; 0.22]	[0.78; 0.93; 0.97]

Рисунок 4 – Фрагмент нечеткой байесовской сети для анализа влияния факторов внешней и внутренней среды на возможный риск на ОПО П-201

Пропагация свидетельств (или апостериорный, байесовский вывод) осуществляется за счет пересмотра априорных вероятностей при поступлении в систему информации о том, что события, соответствующие тем или иным ее узлам, произошли (или не произошли). Нечеткий байесовский вывод осуществляется по правилу Байеса, расширенному путем введения в него нечетких чисел и нечеткой арифметики [1, 2].

На примере фрагмента нечеткой байесовской сети, представленной на рисунке 2, рассмотрим механизм нечеткого байесовского вывода. Определим, какова вероятность того, что наблюдалось падение напряжения ниже нормы (U), если на ОПО П-201 произошел несчастный случай (W). Для этого требуется вычислить апостериорную вероятность с использованием нечеткого байесовского правила:

$$P(U = u_1|W = w_1) = \frac{P(U = u_1, W = w_1)}{P(W = w_1)}$$

Вначале вычислим совместную вероятность событий $P\ (U = u_1,\ W = w_1)$:

$$P(U = u_1|W = w_1) =$$
$$= \sum_{\tilde{o}\tilde{D}\tilde{A}} P(W = w_1|\tilde{O},\tilde{D})P(\tilde{O}|\tilde{A})P(\tilde{D}|\tilde{A})P(\tilde{A}|U = u_1)P(U = u_1) =$$
$$= [0.017; 0.113; 0.334] + [0.014; 0.061; 0.114] + [0; 0.001; 0.011]$$
$$+ [0; 0.029; 0.074] + [0; 0.008; 0.026] + [0; 0.004; 0.009]$$
$$+ [0; 0.001; 0.008] + [0; 0.019; 0.056] = [0.031; 0.237; 0.635]$$

Затем вычислим полную вероятность события $P\ (W = w_1)$:

$$P(W = w_1) = \sum_{\tilde{o}\tilde{D}\tilde{A}\tilde{U}} P(W = w_1|\tilde{O},\tilde{D})P(\tilde{O}|\tilde{A})P(\tilde{D}|\tilde{A})P(\tilde{A}|\tilde{U})P(\tilde{U}) =$$
$$= [0.017; 0.113; 0.334] + [0.014; 0.061; 0.114] + [0; 0.001; 0.011]$$
$$+ [0; 0.029; 0.074] + [0; 0.008; 0.026] + [0; 0.004; 0.009]$$
$$+ [0; 0.001; 0.008] + [0; 0.019; 0.056] + [0; 0.017; 0.066]$$
$$+ [0; 0.009; 0.023] + [0; 0.001; 0.002] + [0; 0.004; 0.016]$$
$$+ [0; 0.003; 0.026] + [0; 0.002; 0.009] + [0; 0.001; 0.008]$$
$$+ [0; 0.008; 0.056] = [0.031; 0.282; 0.843]$$

После чего найдем апостериорную вероятность $P\ (U = u_1 \mid W = w_1)$:

$$P(U = u_1|W = w_1) = \frac{P(U = u_1, W = w_1)}{P(W = w_1)} = \frac{[0.031; 0.237; 0.635]}{[0.031; 0.282; 0.843]} =$$

$$= [0.036; 0.84; 1]$$

На рисунке 3 представлен результат апостериорного нечеткого вывода, который был получен на основе операции деления нечетких треугольных чисел.

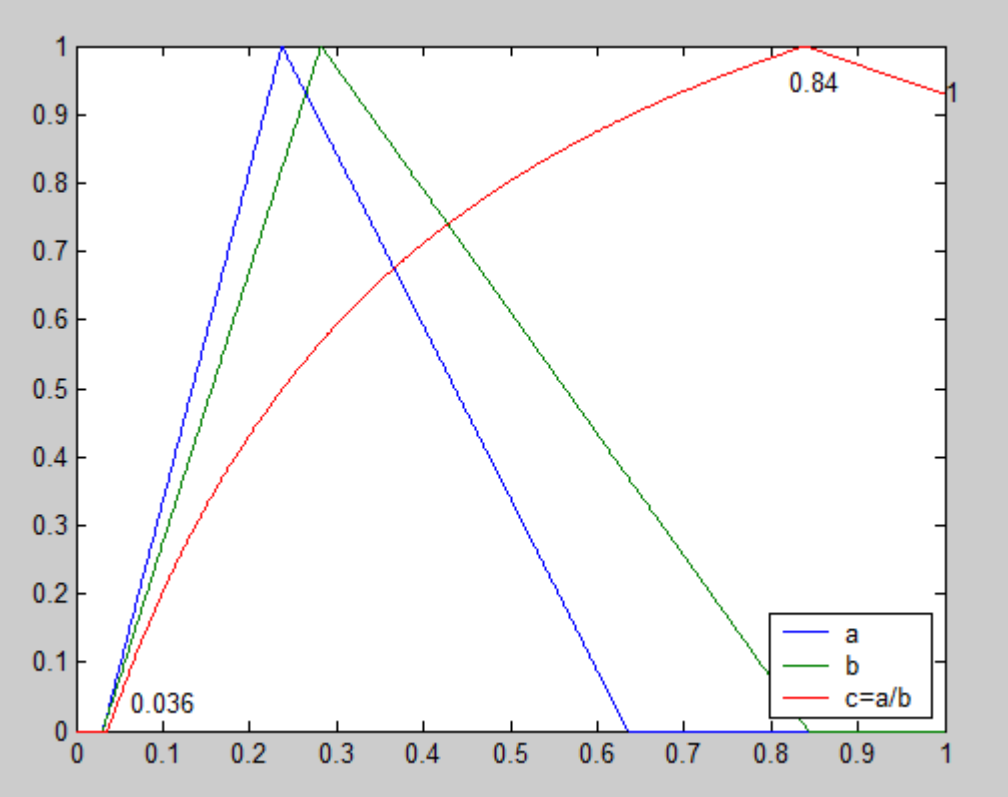


Рисунок 5 – Расчет апостериорной нечеткой вероятности

Сравнивая полученный результат с априорной вероятностью $P(U = u_1) = [0.05; 0.23; 0.48]$, мы с большой степенью уверенности можем заключить, что наблюдалось падение напряжения ниже нормы, если на П-201 произошел несчастный случай.

Таким образом, построенная модель анализа влияния факторов внешней и внутренней среды на величину производственного риска с использованием аппарата НБС позволит осуществлять оценку данного риска с учетом причинно-следственных связей факторов, а также оперативно корректировать получаемые результаты в случае поступления новых свидетельств.

Литература

1. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы нечеткой математики. Часть 2. Основы нечеткой арифметики. Курс лекций по дисциплине «Нечеткие модели и сети» – Смоленск: РИО филиала МЭИ в г. Смоленске, 2013. С. 16-18.
2. Тулупьев А. Л., Николенко С. И., Сироткин А. В. Байесовские сети: Логико-вероятностный подход. – СПб.: Наука, 2006. С. 338-404.
3. Торопова А.В., Суворова А.В., Тулупьев А.Л. Диагностика согласованности в модели для оценивания интенсивности социально-значимого поведения // Нечеткие системы и мягкие вычисления, 2015. Т. 10. № 1. С. 93-107.

А.С. Рындина, маг.; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ МЕТОДАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕНДОВ

Утечки информационных ресурсов, персональных данных ограниченного доступа или других конфиденциальных сведений могут иметь для коммерческих организаций самые негативные последствия. Прямые убытки из-за ставших доступными широкой аудитории новейших технологических решений, закрытых коммерческих сведений или иной секретной информации могут усугубляться для компании имиджевыми потерями, а в случае утечек персональных данных – штрафами со стороны регуляторов информационной безопасности и компенсациями по судебным искам. А современный этап развития экономики и общества характеризуется все более возрастающей ролью информационной сферы, что ставит проблему обеспечения надлежащего уровня информационной безопасности для коммерческих организаций наиболее остро.

Исходя из чего, обеспечение информационной безопасности в коммерческих организациях должно рассматриваться комплексно и предусматривать все защищенность всех уровней информационной безопасности [1]: защита от вирусов и вредоносных программ; защита от сетевых атак; защита от подделки и перехвата сетевого трафика внутри локальной сети; защищенный обмен данными с удаленными рабочими станциями и т.д.; защита информации от несанкционированного доступа; контроль утечек и каналов распространения защищаемой информации; защита от кражи информации при утере носителей и т.д. Следовательно, для организации комплексной защиты, персонал коммер-

ческой организации должен обладать умениями и навыками идентифицировать уязвимости и угрозы, оценивать вероятность реализации конкретной угрозы.

Однако, как отмечается автором в работе [2], современные коммерческие организации сталкиваются с проблемой кадрового обеспечения сотрудников информационной безопасности. Исходя из чего, по мнению автора [3-4] организациям необходимо осуществлять периодический контроль знаний специалистов и проводить их обучение с целью повышения квалификации в области информационной безопасности. Повышение квалификации специалистов может осуществляться в системе дополнительного образования и повышения квалификации. Обучение по данной системе нацелено на минимизацию срока отвлечения специалиста от его основной работы. Следовательно, нельзя говорить об эффективности данной системы обучения для специалистов информационной безопасности. Кроме того, нельзя не отметить противоречие между знаниями, полученными на основе усвоения теоретического материала, и его практического применения в обучающих целях (противоречие теории и фактических ситуаций). Исходя из чего можно выделить следующие проблемы обучения сотрудников и повышения их квалификации в сфере информационной безопасности:

– отвлечение специалистов от их основной работы;

– необходимость практической тренировки и обучения изученным теоретическим методам.

Существующие системы повышения квалификации и дополнительного образования позволяют решить данные проблемы в отдельности. Комплексное решение данных проблем может быть достигнуто путем виртуализации информационной сети коммерческой организации и обучении сотрудников необходимым навыкам в данной виртуальной сети на местах. Данное решение можно развернуть в самой организации, не отвлекая сотрудников от их основной работы, а также без вреда физической информационной сети и без сбоев работы всей организации в целом.

Разворачивание и использование виртуальных стендов информационной безопасности можно осуществлять на платформе VMware vSphere [5] с использованием Secret Net Studio [6]. Платформа позволит создавать виртуальные машины, которые будут представлять собой виртуальные рабочие места корпоративных пользователей. Таким образом, с использованием данной платформы можно создать виртуальную копию ИТ-инфраструктуры коммерческой организации, которая будет функционировать подобно реальной. В свою очередь Secret Net Studio, установленный на виртуальные машины, позволит тренировать практические навыки специалистов в области информационной безопасности без нанесения ущерба на физические рабочие места сотрудников коммерческой организации и не отвлекая персонал от основной деятельности.

Например, используя платформу VMware vSphere и Secret Net Studio можно реализовать виртуальный стенд из 6 машин для практического обучения организации комплексной системы информационной безопасности в коммерческой организации (рисунок 1).

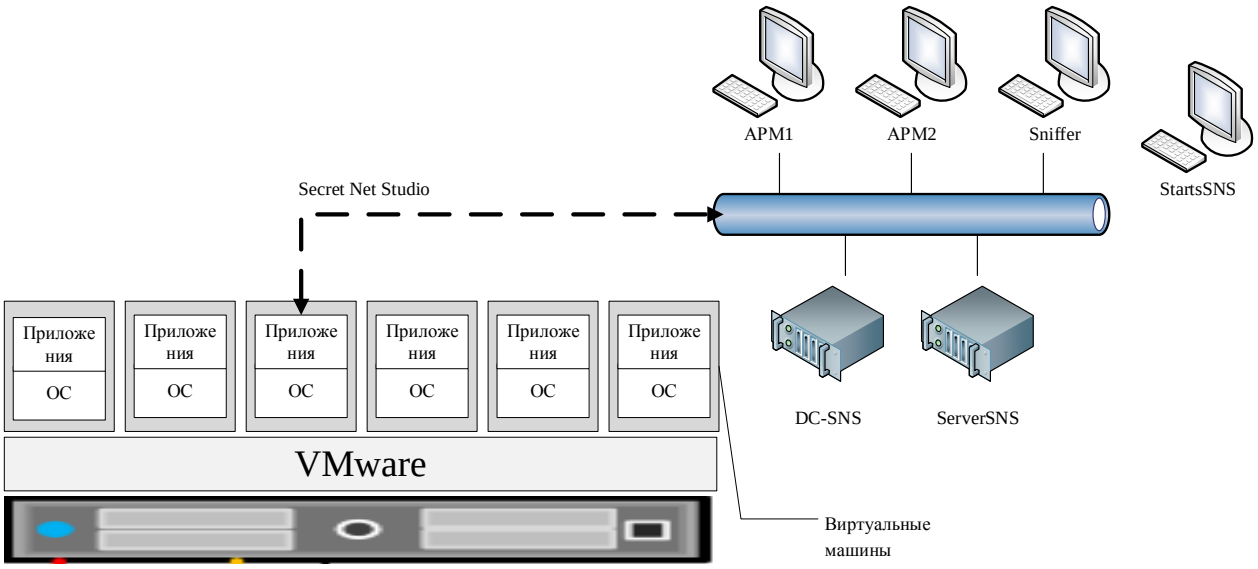


Рисунок 1 – Пример виртуального стенда VMware и Secret Net Studio

На рисунке 1 изображена виртуальная локальная сеть, объединяющая 4 виртуальные машины:

DC-SNS – сервер, выполняющий функции контролера домена;

ServerSNS – сервер безопасности Secret Net Studio;

ARM1 – защищаемый клиентский компьютер;

ARM2 – рабочего места администратора безопасности.

Виртуальная машина «Sniffer» используется для перехвата сетевого трафика и имеет сетевой интерфейс. Также одна из машин не подключена в виртуальную сеть и выполняет функцию отдельного защищаемого компьютера.

Данный виртуальный стенд может использоваться для обучения и имитации контроля и управление доступом к защищаемым данным, контроль вывода информации за пределы контролируемой зоны, контроль запуска программ, ограничение межсетевого взаимодействия, защищаемого АРМ и остальной сети. Следовательно, с помощью виртуального стенда можно создать архитектуру информационной безопасности, имитировать атаки и обучаться навыкам их идентификации и предотвращения, а также выявлять узкие места построенной виртуальной сети с целью их исправления в физической ИТ-инфраструктуре организации.

Таким образом, использование платформы VMware vSphere и механизмов защиты Secret Net Studio позволит разворачивать виртуальную ИТ-инфраструктуру организации с целью обучения специалистов информационной безопасности на местах с практическим обучением механизмам защиты. Данный способ обучения не требует остановку функционирования организации на период обучения и не отвлекает остальной персонал от основной деятельности. Специалисты смогут на рабочих местах обучаться и повышать квалификацию в сфере обеспечения комплексной системы информационной безопасности.

Литература
1 Рындина А.С. Управление безопасностью в сфере информатизации // Интеллектуальные информационные технологии, энергетика и экономика : сборник трудов XIV международной научно-технической конференции студентов и аспирантов : в 3 т. Смоленск : ООО «Принт-Экспресс», 2017. Т.3. С.48-53.
2 Мовчан И.Н. Проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности // Открытое образование. 2013. № 5. С. 78-80.
3 Филяк П.Ю. Информационная и экономическая безопасность в условиях глобальной информатизации // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: настоящее и будущее: Материалы III Международной научно-практической конференции в рамках форума «Безопасность и связь»: Часть I.: Казань: ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности», 2014. С. 444-448.
4 Филяк П.Ю. Проектирование с учетом обеспечения безопасности // Информация и безопасность. 2015. № 1. С. 101 – 106.
5 VMware vSphere [Электронный ресурс] // VMware. URL: https://www.vmware.com/ru.html (дата обращения: 03.03.2019).
6 Secret Net Studio [Электронный ресурс] // Код безопасности. URL: https://www.securitycode.ru/products/secret-net-studio/ (дата обращения: 03.03.2019).

Е.Т. Семкович, студ.; рук. Л.В. Фомченкова, д.э.н., проф.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ВЗАИМНО НЕ ДОМИНИРУЕМЫХ АЛЬТЕРНАТИВ

Вторичная доставка нефтепродуктов с нефтебазы до АЗС обычно осуществляется с использованием собственного автомобильного парка заправочной станции. Она должна быть тщательно спланирована отделом логистики, кроме того необходимо организовать контроль движения бензовозов по всему маршруту транспортировки. В настоящее время в сфере логистики АЗС складывается неблагоприятная ситуация. С одной стороны отсутствует централизованное управление автотранспортом, что приводит к повышению затрат на доставку, а с другой стороны, небольшие организации, реализующие нефтепродукты, зачастую не имеют общей системы оперативного учета и контроля. Результатом является неэффективное использование транспортных средств АЗС при перевозке нефтепродуктов и высокая стоимость их доставки. По данным Росстата [1], начиная с 2010 года, наблюдается постоянный рост цен на бензин (рисунок 1). По мнению экспертов, в 2019 году за 1 литр топлива придётся заплатить на 3 или 4 руб. дороже, чем сейчас. Именно поэтому, актуальной становится задача оптимизации процесса перевозки нефтепродуктов до АЗС.

Данную проблему исследователи предлагают решать с помощью различных организационно-технических методов, предполагающих реорганизацию автопарка или изменение конфигурации сети АЗС [2], или экономических способов на основе усредненных данных. Однако на практике перечисленные решения не показали заявленной эффективности. Организационно-технические методы являются наиболее затратными и наименее экономически выгодными для АЗС, так как требуют больших финансовых вложений для реорганизации и привлечения большого числа специалистов. Более результативными считаются экономические способыорганизации цепей поставок АЗС, однако методика принятия решения на основе усредненных данных [3] учитывает только количественные показатели, но не позволяет учесть качественные. На основании вышеизло-

женного возникает актуальная научная задача разработки методики оптимизации цепей поставок нефтепродуктов на АЗС.

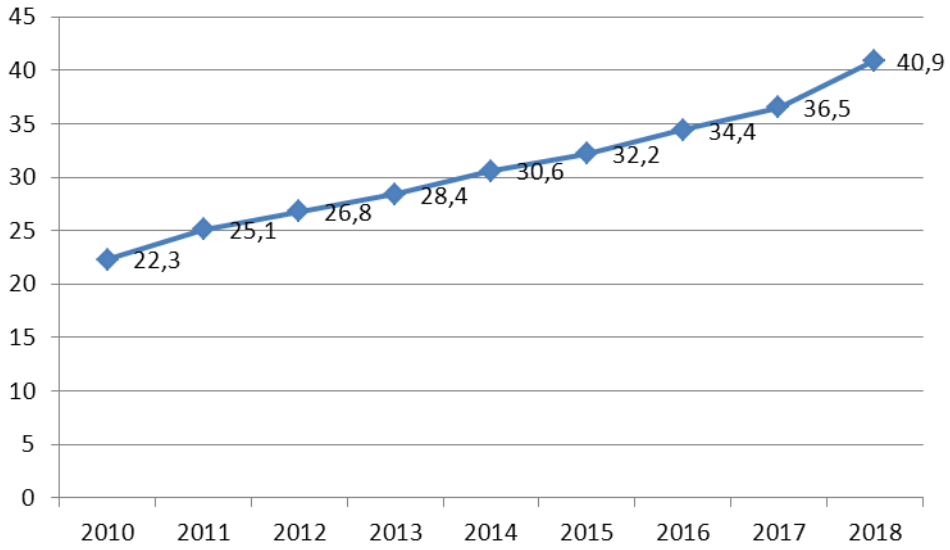


Рисунок 1 – Рост цен на бензин АИ-92 в 2010 – 2018 гг., руб.

В рамках данного исследования АЗС рассматривается как сложная экономическая система, функционирование которой характеризуется как количественными, так и качественными, вероятностными параметрами. Так как в данном случае существует небольшое число альтернатив при принятии решения об оптимальной конфигурации сети, то целесообразно использование методов, основанных на парном сравнении – анализ иерархий (МАИ) и метод ELECTRE [4]. Качественные и количественные критерии, которые обязательно должны учитываться в процессе доставки нефтепродуктов на АЗС, а также при дальнейшей реализации их оптовым потребителям, представлены в таблице 1.Выбор оптимального способа доставки осуществляется путем сравнения альтернатив по данным критериям.

Таблица 1 – Критерии, учитываемые при выборе варианта доставки нефтепродуктов

Тип критерия	Описание	Пример
Количественный	Количество бензовозов АЗС	10 бензовозов в три смены
Количественный	Общий объем резервуара бензовоза	340 м^3
Количественный	Коэффициент выхода на линию	0,67
Количественный	Плечо доставки	80 км
Количественный	Среднесуточная потребность в нефтепродуктах	274 т
Качественный	Соответствие бензовозов техническим требованиям	Отсутствуют лестницы, поручни и площадки для безопасного доступа к верхним люкам
Качественный	Наличие непроизводительных простоев водителей	Простои при оформлении документов

Оптимизацию процесса диспетчеризации на АЗС предлагается проводить при помощи метода ELECTRE, который позволяет осуществить переход от количественных показателей к качественным, с помощью разбиения множества возможных значений на классы с присвоением каждому из них качественной характеристики.

Реализация данного метода представляет собой процесс, состоящий из 5 этапов (рисунок 2).

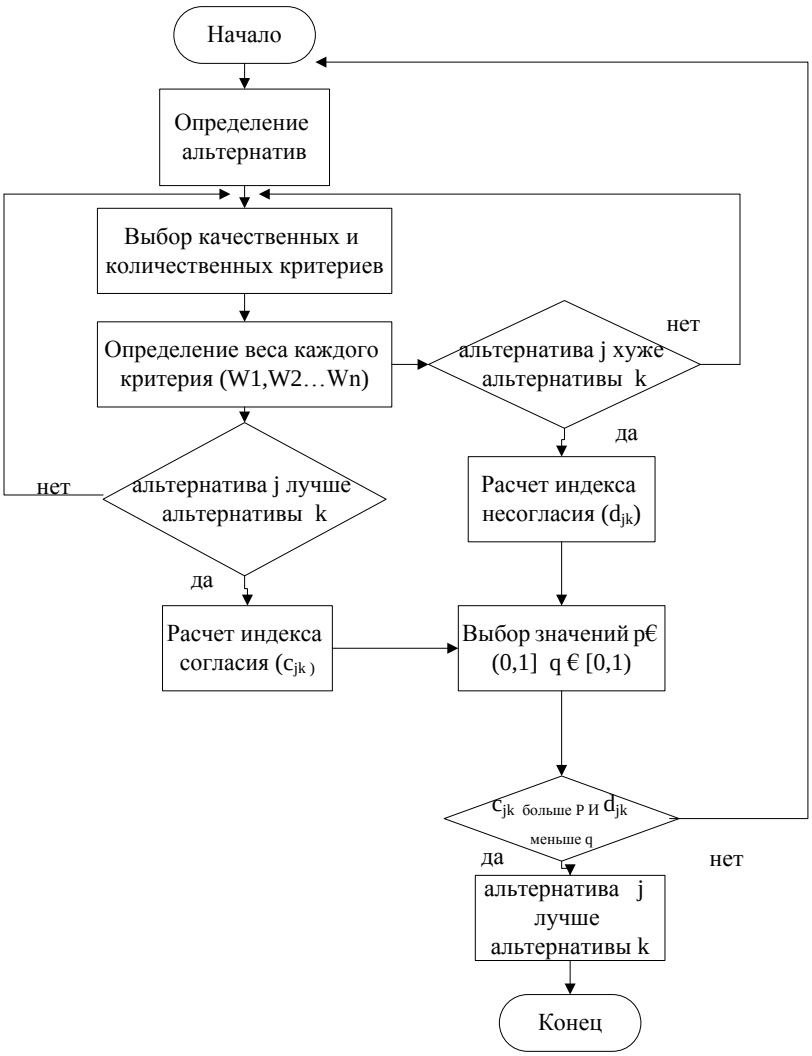


Рисунок 2 – Методика выбора взаимно не доминируемых альтернатив

Этап 1. Для каждого из выбранных критериев лицо, принимающее решения (диспетчер АЗС), определяет положительный вес каждого критерия (W1,W2…Wn).

Этап 2. Множество всех выбранных критериев разбивается на три группы для каждой пары альтернатив i и j. В первую группу входят все критерии, для которых альтернатива j лучше альтернативы k. Во вторую группу включаются все критерии, при которых альтернатива j хуже альтернативы k, а в третью те, по которым данные альтернативы эквивалентны.

Этап 3. Степень превосходства одной альтернативы над другой (индекс согласия) вычисляется по формуле (1):

$$c_{jk}= \frac{\sum_{i\in Ijk+} Wi+\alpha \sum_{i\in Ijko} Wi}{\sum_{i=1}^{m} W1} , \qquad (1)$$

где α – параметр, который зависит от модификации метода.

Этап 4. Степень несогласия того, что одна альтернатива превосходит другую (индекс несогласия) определяется по формуле (2):

$$d_{jk}= \frac{1}{100}*\max \{\mu^{i}_{kj}\}, \qquad (2)$$

где μ^{i}_{kj}- интервал превосходства альтернативы k над альтернативой спо критерию i, который определяет число последовательных переходов из класса в класс, необходимое для того, чтобы каждая j-я альтернатива, стала эквивалента k-й по критерию i, умноженное на цену одного перехода.

Этап 5. Строится решающее правило. Лицо, принимающее решения, выбирает значения p€ (0,1] q € [0,1), строится бинарное соотношение вида: альтернатива j считается лучше альтернативы k, тогда и только тогда, когда $c_{jk}\geq p$, $d_{jk}\leq q$.

Таким образом, при использовании данного метода, происходит сокращение числа возможных альтернатив вторичной доставки нефтепродуктов и выбор оптимального решения из числа оставшихся взаимно не доминируемых альтернатив. Процесс программной реализации данного метода является достаточно трудоемким и требует проведения дальнейших исследований.

Литература

1. Об объеме производства нефтепродуктов и потребительских ценах на них [Электронный ресурс] // Федеральная служба Государственной статистики URL: http://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/25.htm (дата обращения 09.01.19).

2.Смирнова А. В. Особенности развития перевозки нефти и нефтепродуктов различными видами транспорта // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №8. С. 23-24.

3. Демержиба А. А. Оптимизация цепей поставок потребительского рынка региона на основе совершенствования системы управления запасами // ИВД. 2013. №2 (25). С. 56 -57.

4. Сучкова Е. А. Решение многокритериальной задачи оптимизации для осуществления процесса принятия решений // Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. С. 61-62.

А.Д. Стоянова, студ.; рук. О.В. Стоянова, д.т.н., доц.
(СПГУ, Санкт-Петербург)

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

В настоящие время на производственных предприятиях России все чаще применяются сквозные технологии, такие как искусственный интеллект, роботизация и промышленный интернет вещей. Что касается технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, то они пока не очень широко ис-

пользуются в отечественной промышленности, хотя в целом мировой рынок данных технологий демонстрирует устойчивый рост.

Прогнозируемый рост мирового рынка VR и AR к 2025 году составляет 24,5 биллиона долларов для программного обеспечения и 15,9 биллионов долларов для аппаратного обеспечения [1], а уже к 2025 году достигнет отметки в 95 биллионов долларов [2].

Цель исследования – выявить предпосылки, возможности и ограничения использования технологий виртуальной реальности в российской промышленности.

Повышенный рост интереса к технологиям виртуальной реальности объясняется рядом причин. Основной аргумент в пользу VR для компаний - существенной снижение затрат. Кроме того, VR используется в редком или опасном окружении.

Виртуальная реальность применяется в большом количестве областей человеческой деятельности: медицине, научно-исследовательской работе, машиностроении, образовании, сфере развлечений. Условно можно выделить четыре большие группы по сферам применения. Это развлечения, производство, наука и образование, а также медицина. К сфере развлечения относятся компьютерные игры и кинематограф. Производство - широкое применение во всех отраслях промышленности, архитектуре. Образование - подготовка онлайн-курсов с применением VR, различные обучающие симуляторы, виртуальные экскурсии, проведение научно-исследовательских экспериментов. В медицине технологии VR используются для изучения человека, обучения врачей на виртуальных пациентах. Широкое применение получило лечение психических заболеваний и фобий с использованием инструментов VR. Основные сферы применения VR представлены на рисунке 1.

Рис.1. Сферы применения технологий виртуальной реальности

Интерес к технологиям виртуальной реальности то исчезал, то резко появлялся вновь. Связано это в первую очередь с недостаточным количеством технических решений, позволяющих создавать правдоподобную VR.

Правдоподобие и качество виртуальной реальности можно оценить по следующим критериям:

- иммерсивность (глубина погружения) - то, насколько пользователь чувствует себя погруженным в среду;
- возможность влиять на среду - реакция объектов на прикосновения, приближение;
- трекинг - реакция на изменения положения тела.

На данный момент существуют следующие основные типы устройств для передачи виртуальной реальности: устройства типа CAVE, VR-очки и cardboard для смартфона. Сравнительные характеристики этих технологий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики технологий VR

Характеристики\ Технология	**CAVE**	**Очки виртуальной реальности**	**Мобильные устройства**
Глубина погружения	Высокая	Достаточно высокая	Средняя
Сложность эксплуатации	Высокая	Средняя	Низкая
Стоимость	Высокая	Средняя	Средняя
Свобода движения	Высокая	Средняя	Низкая

Кроме того, для устройств типа CAVE характерно наличие «слепых зон» в которых плохо отслеживается действие участников. Также при такой технологии остается собственное тело человека, в то время как в очках виртуальной реальности пользователь видит, созданные образ, что по разному сказывается на участниках.

Другая проблема, с которой сталкиваются разработчики, невозможность задействовать все органы чувств человека. В дорогостоящих системах имитируют запахи, звуки, но очень сложно получить правдоподобный отклик на тактильные действия человека. Для решения этой проблемы разрабатываются специальные костюмы и перчатки, оснащенные датчиками. Очки, считывающие движения лица человека и имитирующие их на виртуальном образе.

Помимо аппаратных решений для создания виртуальной реальности необходимы программные платформы. В таблице 2 представлены инструменты для решения различных задач.

Таблица 2 – Программные платформы для работы с VR

Платформа	**Сферы применения**
Unity	Образование, развлечения, производство
Adobe Captivate	Образование
Unreal	Развлечения

Внедрение технологий виртуальной реальности может показаться сложным и дорогостоящим процессом, но результат их использования зачастую значительно превосходит расходы. Причины, показывающие пользу применения VR представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Эффекты внедрения VR

Эффект	**Пример**
Сокращение расходов	Стимуляторы применяемые для обучения машинистов стоят несколько миллионов и трудно транспортируемые, применения VR позволит снизить затраты на оборудования и обучать одновременно большее количество человек.
Повышение качества медицины	Технологии VR позволяют студентам виртуально присутствовать на операциях, а новые достижения - даже проводить обучающие операции без вреда для пациентов.
Повышение качества образования	Возможность показать учащимся объекты или явления не выходя из класса.
Прогресс науки	Проведение экспериментов в безопасных условиях.
Улучшение облика городов	Возможность встроить проект в уже существующий городской ландшафт и внести коррективы на этапе проектирования

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Предпосылки использования технологий виртуальной реальности в российской промышленности обусловлены наличием множества положительных эффектов, подтвержденных приведенными примерами применения данных технологий в других областях. Для компании важным эффектом станет существенное экономическая выгода от внедрения VR в процессы ремонта и технического обслуживания оборудования. Кроме того, повышение уровня подготовки сотрудников на виртуальных тренажерах позволит улучшить качество выполняемых работ. Сокращение затрат на научно-исследовательские работы обеспечит использование VR для тестирования вновь создаваемых технологий перед применением.

2. Возможности применения VR связаны с бурным развитием аппаратных и программных средств виртуальной реальности и снижением стоимости данной технологии. Например, устройства CAVE уже сейчас используются на авто-

концернах при проектировании новых автомобилей. Очки дополненной реальности применяются для выдачи подсказки рабочим по сборке оборудования.

3. Главное ограничение для внедрения технологий VR в промышленности России – отсутствие кадров. Единственная в России университетская программа подготовки специалистов в области VR реализуется на базе Дальневосточного федерального университета [3]. Направления подготовки в области технологий виртуальной реальности представлены в крупнейших вузах Европы и США, являющихся основным игроком на рынке VR.

Литература

1. PWC. Virtual Reality in the Enterprise. -https://www.pwc.com.au/consulting/assets/technology/virtual-reality-may17.pdf
2. McKinsey. Augmented and virtual reality: The promise and peril of immersive technologies. - https://www.mckinsey.com/industries/media-and-entertainment/our-insights/augmented-and-virtual-reality-the-promise-and-peril-of-immersive-technologies
3. Дальневосточный федеральный университет. Образовательные программы. -https://curriculums.dvfu.ru/?department=0&output_department=0&educationForm=0&educationLevel=5&specialization=0&profile=441&educationYear=0

А.Д. Сухова, студент; рук. Ю.С. Егоров, ст. преподаватель
(НГТУ имени Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород)

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИОРИТЕТОВ ЗАПЛАНИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ

Принятие взвешенных и эффективных решений – одна из главных задач, стоящих перед руководителем производственного предприятия. Теория принятия решений – область исследования, содержащая методы математики, статистики, экономики, менеджмента и психологии с целью изучения закономерностей выбора людьми путей решения проблем и задач, а также способов достижения желаемого результата.

На данный момент разработаны стандартные программные средства, направленные на повышение производительности человека. Современные мобильные сервисы решают общие типизированные проблемы, но не учитывают персональные факторы, приоритеты для оценки и анализа, принятия эффективного решения. Руководитель производственного предприятия, как правило, самостоятельно анализирует ситуацию, текущую информацию, условие неопределенности для формирования альтернатив. Таким образом, идет фокусирование на второстепенных задачах планирования, организации процесса жизнедеятельности производственного предприятия. Во многих случаях наблюдается парадокс, когда больший выбор может привести к худшему решению или, вообще, к отказу принять решение. Много исследователей, включая Шину Аенгара и Марка Леппера, опубликовали исследования этого явления. Вслед-

ствие субъективности выбор зачастую оказывается неэффективным, что ведет к неблагоприятным последствиям.

Таким образом, актуальной проблемой является поддержка принятия решений руководителя производственного предприятия.

Система поддержки принятия решений (сокр. СППР) – это автоматизированная система, создаваемая с целью помощи лицам, принимающим решение (ЛПР) в сложных условиях для достаточно полного и объективного анализа.

СППР также предназначаются для поддержки принятия решения при решении многокритериальных задач в сложных информационных средах. Информационная сложность в данном случае определяется тем, что необходимо учитывать огромный объем данных, а его обработка без современных технических средств невозможна.

В целом системы поддержки принятия решений способны решить две задачи:

– задача оптимизации (выбор лучшего решения из множества допустимых);

– задача ранжирования (сортировка допустимых решений по оценке критериев).

Для работы системы поддержки принятия решений могут использоваться различные методы. Например, интеллектуальный анализ данных.

Интеллектуальный анализ данных – это процесс обнаружения пригодных для использования данных в их крупных наборах. В интеллектуальном анализе данных применяются методы математического анализа для выявления тенденций и закономерностей, которые существуют в исходных данных. Обычно такие закономерности нельзя обнаружить при обычном просмотре данных. Связи могут быть чрезвычайно сложны из-за чрезмерного объема исходных данных.

Выбор наиболее оптимального маршрута из множества различных вариантов – это не что иное, как задача комбинаторной оптимизации.

Комбинаторная оптимизация – это область теории оптимизации в математике, которая связана с исследованием операций, теориями алгоритмов и вычислительной сложности. В комбинаторной оптимизации используются методы искусственного интеллекта и математические подходы. Алгоритмы решения подобных задач применяются при решении NP-трудных задач, при этом позволяя уменьшать пространство допустимых решений при помощи процедуры поиска.

Существует большое количество литературы по алгоритмам, которые работают с некоторыми видами задач из раздела дискретного программирования. Значимая часть таких алгоритмов принадлежит теории линейного программирования. В основном примеры комбинаторной оптимизации, попадающие в эту область, – задачи поиска самого короткого пути и дерева кратчайших путей, определение максимального потока и нахождение остовных деревьев, пар сочетаний. Задачи комбинаторной оптимизации представляют собой задачи поиска лучшего элемента в некотором множестве (дискретном), поэтому при решении подобной задачи используются практически любые алгоритмы поиска

или мета эвристические методы. Обычные алгоритмы поиска не дают уверенности в нахождении оптимального и быстрого решения.

Задача коммивояжера является одной из самых популярных задач в области комбинаторной оптимизации. Суть данной задачи – поиск оптимального пути, проходящего через все заданные точки единожды, а затем возврат в исходную точку (не обязательное условие в случае незамкнутой задачи). Во входных данных к задаче необходимо наличие критериев оценки выгодности пути, а также матрицы расстояний. Также необходимо указать число, сколько раз через одну точку может проходить желаемый маршрут. В случае, когда через каждую точку можно пройти только раз, выбор будет осуществляться среди гамильтоновых циклов.

На данный момент существует несколько вариантов постановки задачи, например, геометрическая задача коммивояжера, симметричная и ассиметричная, обобщенная.

Постановка данной задачи относится к NP-трудным задачам. Версия задачи, в которой ставится вопрос, существует ли путь короче, чем заданное максимальное значение, относится к NP-полным задачам.

Задача коммивояжера относится к трансвычислительным задачам. При большом количестве точек она не может быть решена в разумное время.

Представление в виде графа. Для решения задачи необходимо применение математических методов. Для этого необходимо преобразовать задачу к виду математической модели. Проблему задачи коммивояжера можно представить в виде графа. Вершины графа будут соответствовать событиям, а ребра – путям между этими событиями. Каждое ребро будет иметь вес в зависимости от критериев оценки ценности маршрутов.

Гамильтонов цикл – это маршрут, включающий в себя каждую вершину графа один раз. Для упрощения задачи считается, что граф полностью связный.

Таким образом, можно сказать, что решение задачи коммивояжера – это нахождение гамильтонова цикла с минимальным весом в полном взвешенном связном графе. Пример такого графа представлен на рисунке 1.

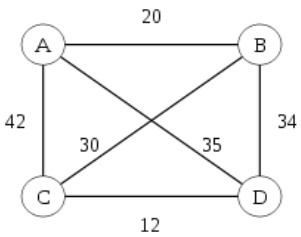


Рисунок 1 – Граф симметричной задачи коммивояжера для четырех событий

Ассиметричная и симметричная задачи. Ассиметричная задача моделируется ориентированным графом. Необходимо учитывать, в каком направлении находятся ребра графа.

В симметричной задаче моделируется неориентированный граф. В этом случае количество возможных путей вдвое меньше, чем в случае асимметричной задачи.

Метрическая задача. Задачу коммивояжера называют метрической, если для длин ребер графа выполняется правило неравенства треугольника – ребро от вершины a до вершины b не будет длиннее пути через промежуточную вершину c:

$$r_{ab} \le r_{ac} + r_{cb}$$

Формулировка в виде задачи дискретной оптимизации. Данную задачу представим как множество ребер V. Каждому ребру $\{i, j\}$ предоставляется переменная $x_{i,j} \in \{0,1\}$. Переменная равна единице, если ребро принадлежит маршруту, и нулю в противном случае.

Произвольный маршрут представляется в виде множества значений переменных принадлежности.

Каждая вершина должна сообщаться через пару ребер с остальными вершинами:

$$\forall i \in V, \sum_{j \in \frac{V}{\{i\}}} x_{ij} = 2$$

В сумме каждое слагаемое равно или единице, или нулю. Полученное значение после вычислений формулы эквивалентно количеству ребер в пути, для которых имеется вершина i на одном из концов.

Описанные условия могут выполняться не только с маршрутами, но и со значениями переменных, соответствующих различным циклам. Во избежание подобных ситуаций необходимо выполнение неравенства циклов. Этими неравенствами определяется дополнительное условие того, что каждое множество вершин $S \subset V$ является или пустым, или содержит все вершины, сопоставляющиеся с остальными вершинами минимум через два ребра:

$$\sum_{i \in S,\, j \notin S} x_{ij} \ge 2$$

Для всех множеств вершин S, где $1 \le |S| \le |v| - 1$.

Сумма, вычисленная по данной формуле, эквивалентна сумме длин ребер пути между вершинами $i \in S$ и $j \notin S$. Для устранения лишних неравенств можно ограничиться множествами S с минимум двумя и максимум $|V| - 2$ вершинами.

Каждый вектор с элементами, равными соответственно нулю и единице, и который удовлетворяет всем неравенствам, определяет маршрута, являющийся решением задачи коммивояжера:

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in \frac{V}{\{i\}}} c_{ij} x_{ij} \mid x * valid(1)(2), x_{ij} \in \{0,1\}$$

Замкнутая и незамкнутая задача. Задача коммивояжера считается замкнутой, если в конце маршрута необходимо вернуться в исходную точку. Если задача незамкнутая, то такой необходимости нет. Однако можно легко перейти от замкнутого варианта к не замкнутому путем ввода нуля в качестве значения веса первоначальной дуги.

Методы решения. Поскольку задача коммивояжера является задачей комбинаторной оптимизации, то одним из возможных методов её решения является метод ветвей и границ.

Метод ветвей и границ – это общий алгоритмический метод, используемый при нахождении оптимальных решений в задачах комбинаторной оптимизации. Является вариацией метода полного перебора, но с отсевом множества допустимых решений, которое заведомо не содержит оптимального решения.

Общая идея метода заключается в поиске минимума функции на множестве допустимых значений. Для него требуются две процедуры – нахождение границ и ветвление.

Ветвление – разбиение множества допустимых значений на подмножества меньшего размера. Полученные подмножества образуют дерево, которое называется деревом ветвей и границ (поиска). Узлами дерева являются полученные подмножества.

Нахождение границ – поиск верхних и нижних границ с целью решения задачи на подмножестве допустимых значений. Если нижняя граница на первом подмножестве дерева больше, чем верхняя граница на каком-либо из просмотренных границ ранее втором подмножестве, то первое подмножество может быть исключено из дальнейшего рассмотрения.

Использование данного метода в логике работы современных сервисов поможет реализовать необходимый функционал для обеспечения поддержки принятия решений пользователя при планировании, например, логистики на производственном предприятии и определении приоритетов событий, что позволит исключить человеческий фактор при организации и принятии решений. Алгоритм можно реализовать, например, в работе мобильного приложения управления событиями с применением навигационных данных. Эскиз интерфейса мобильного приложения представлен на рисунке 2.

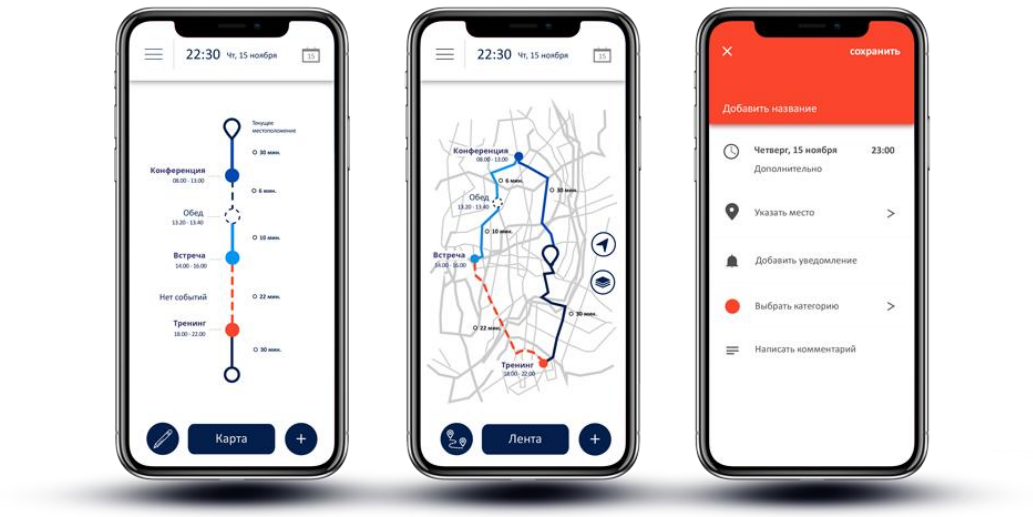


Рисунок 2 – Эскиз интерфейса мобильного приложения управления событиями с использованием навигационных данных

Использование метода ветвей и границ для решения задачи комбинаторной оптимизации, а именно задачи коммивояжера, позволит производить расчеты в соответствующих модулях сервисов быстро и точно, а по их результатам сформировать рекомендации ЛПР для принятия наиболее эффективного решения.

Библиографический список

1. Ватутин Э.И., Титов В.С., Емельянов С.Г. Основы дискретной комбинаторной оптимизации: текст / Э.И. Ватутин. – Москва: Аргамак-Медиа, 2016. – 270с.
2. Мудров В.И. Задача о коммивояжере: учебное пособие / В.И. Мудров. – Москва: Знание, 1969. – 62с.
3. Merkert J., Mueller M., Hubl M. A Survey of the Application of Machine Learning in Decision Support Systems. – ECIS, 2015.
4. Tariq A., Rafi K. Intelligent Decision Support Systems – A Framework. – India, 2011.

Р.Е. Чибисов, асп.; рук. В.П. Мешалкин академик РАН, д.т.н., проф.
(Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева)

АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

С каждым годом задачи по оптимизации энергоресурсоэффективности обретают все большую актуальность и важность в разрезе формирования долгосрочной стратегии энергетической безопасности, поскольку повышение энергоресурсоэффективности способно обеспечить до 40 % будущих потребностей в энергии [1]. Поэтому для обеспечения энергетической и экологической безопасности следует сфокусироваться на оптимизации энергопотребления промышленных предприятий. Нефтепереработка является энергоемкой отраслью промышленности, в которой потребление топливно-энергетических ресурсов существенно влияет на операционные затраты при выпуске продукции. Вместе с тем на нефтеперерабатывающих заводах России подавляющее большинство технологических установок проектировалось и строилось в 50-70-х гг. прошлого века, при низкой стоимости энергоресурсов, как следствие энергоресурсоэффективности процесса выпуска продукции не придавалось большого значения. Это приводит к тому, что энергопотребление на большинстве действующих технологических установках Российских НПЗ превышает на 30-60% потребление на установках спроектированных с учетом методов тепловой интеграции процессов [2]. В данном случае для сокращения энергопотребления, решением является проведение теплоэнергетической интеграции на действующих установках нефтеперерабатывающих предприятий, поскольку в настоящее время в мире значительно больше инвестиций направляется на оптимизацию действующих производств, чем на разработку и строительство новых. Однако, мощные инструменты, созданные для синтеза оптимальных ХТС не всегда можно напрямую использовать для создания проектов реконструкции, поскольку необходимо учитывать возможность максимального использования существующего оборудования, наличия места для размещения новых аппаратов и т.д.

В связи с высоким потреблением дизельного топлива [3] одним из лидирующих процессов по объему выпускаемой продукции является гидроочистка дизельного топлива, поэтому задача по разработке алгоритмического обеспечения анализа и оптимизации энергоэффективности рекуперативных теплообменных систем (РТС) установок гидроочистки дизельного топлива с учетом ограничений, имеет актуальное научное и практическое значение.

Рис. 1 Блок-схема алгоритма оценки потенциала повышения энергоресурсоэффективности рекуперативных теплообменных систем установок гидроочистки

Для проведения оценки потенциала повышения энергоресурсоэффективности РТС установок гидроочистки дизельного топлива и для принятия решений по синтезу оптимальной рекуперативной теплообменной системы с учетом технологических ограничений разработан алгоритм (рис. 1).

В соответствии с разработанным алгоритмом процесс гидроочистки дизельного топлива декомпозирован до уровня отельных технологических потоков и аппаратов, экстрагированы исходные данные, разработаны компьютерные модели установок гидроочистки Л-24/8с и Л-24/6, выполнена проверка адекватности. Используя результаты моделирования сформированы потоковые таблицы, являющиеся математическими моделями текущих тепловых процессов установок гидроочистки. Проведена оценка эффективности работы теплообменных аппаратов и теплообменной сети в целом. Построены составные кривые исходной системы теплообмена установок гидроочистки (рис. 2).

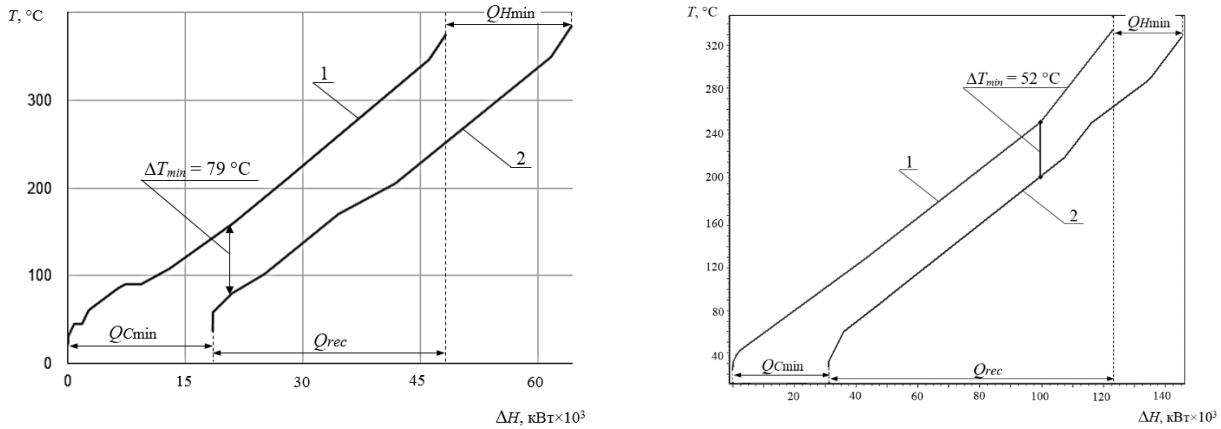


Рис. 2 Составные кривые для исходной системы теплообмена Л-24/8с и Л-24/6

Выполнена оценка потенциала по сокращению энергопотребления (рис. 3) и поставлена задача по разработке алгоритма синтеза оптимальных энергоэффективных РТС установок гидроочистки дизельного топлива, базирующегося на системных подходах тепловой интеграции, но учитывающего существующие ограничения по оптимизации на действующем производстве.

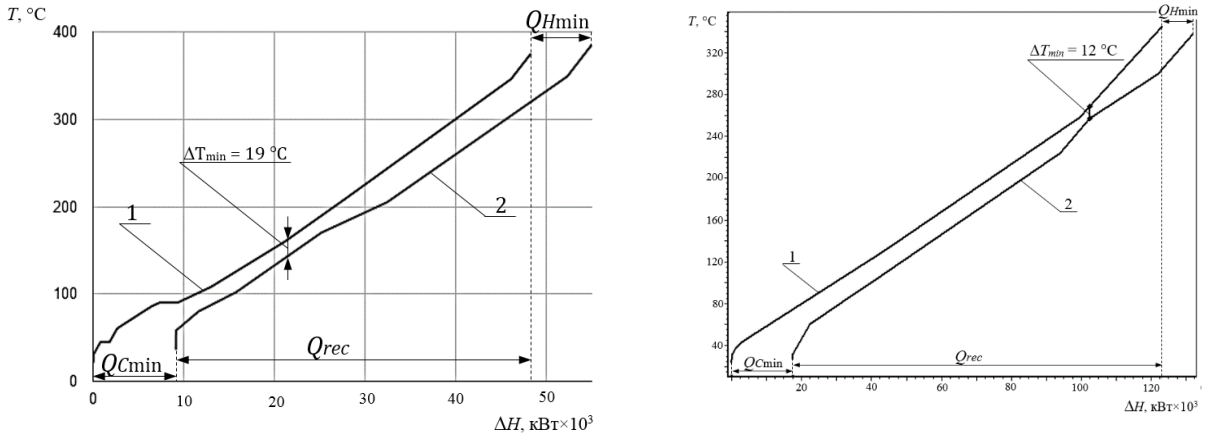


Рис. 3 Составные кривые для оптимального $\Delta T_{\min}$ по правилам пинч анализа для установок Л-24/8с и Л-24/6

Для решения поставленной задачи, сформирован перечень обязательных и рекомендуемых ограничений, для учета которых разработан алгоритм синтеза оптимальной РТС для установок гидроочистки (рис. 4) и интерактивный алгоритм принятия решений по выбору оптимальной типа-конструкции теплообменной позиции при заданной тепловой нагрузке в геометрическом пространстве (рис. 5). На основании предложенных алгоритмов принятия решений, разработана программа *Pinch SELOOP* (Свидетельство регистрации №2019614357), формирующая программно-информационное обеспечение принятия решений по анализу и оптимизации энергоресурсоэффективности РТС установок гидроочистки дизельного топлива.

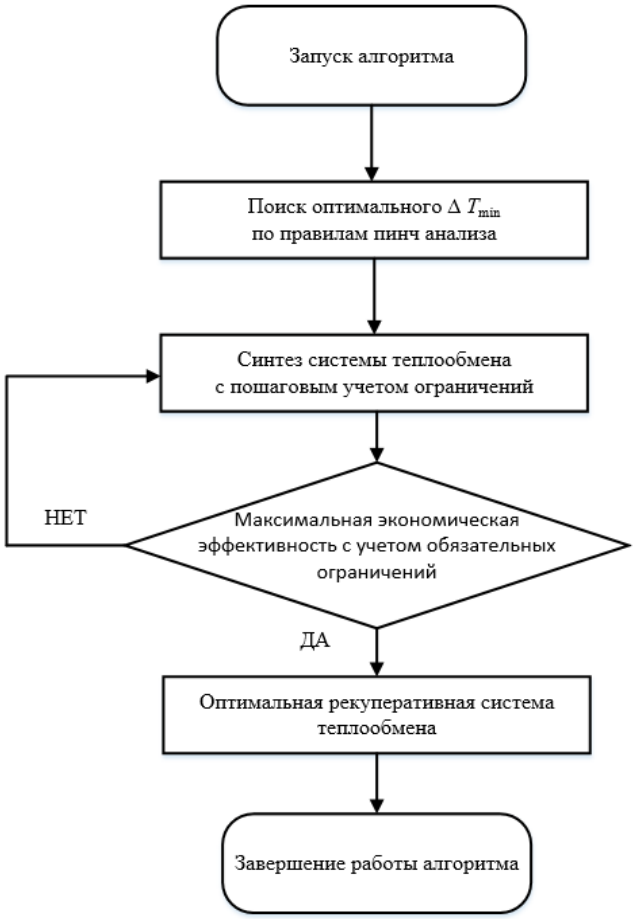


Рис. 4. Блок-схема алгоритма синтеза оптимальной рекуперативной теплообменной системы для установок гидроочистки с учетом ограничений

Алгоритм (рис. 5) позволяет определить оптимальную конфигурацию теплообменных аппаратов с учетом наличия ограничений по размещению на площадке. Ось абсцисс показывает величину отношения коэффициента теплопередачи к площади поверхности теплообмена, ось ординат отражает стоимость новых теплообменных позиций с учетом их инсталляции.

Используя разработанные алгоритмы и программное обеспечение были синтезированы оптимальные, с точки зрения чистого дисконтированного дохода от реконструкции, РТС для двух установок гидроочистки дизельного топлива.

Для проектов оптимизации рекуперативной системы теплообмена на установках гидроочистки дизельного топлива Л-24/8с и Л-24/6 определены основные технико-экономические показатели проектов. Сравнение результатов достигаемых при интеграции процессов гидроочистки с применением методов пинч и *SELOOP*-анализа (табл. 1) показывает, что учет ограничивающих факторов незначительно снижает величину эффекта в натуральных показателях, но при этом минимизирует изменения топологии теплообменной системы и сокращает капитальные затраты на реализацию проекта, за счет чего достигаются более высокие показатели доходности.

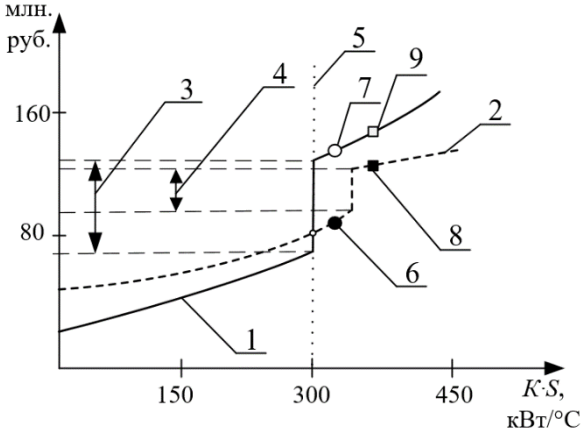


Рис. 5. Интерактивный алгоритм принятия решений по выбору оптимальной типа-конструкции ТП при заданной тепловой нагрузке в геометрическом пространстве. 1 – профиль для кожухотрубных аппаратов; 2 – профиль для пластинчатых аппаратов; 3, 4 – стоимость возведения доп. площадки для установки новых аппаратов; 5 – граница эффективности применения кожухотрубных аппаратов; 6, 7 – конфигурация ТС установки Л-24/8с для ΔT_{min} = 27 °С; 8, 9 – конфигурации ТС установки Л-24/8с для ΔT_{min} = 19 °С

Таблица 1. Сравнение результатов оптимизации РТС

Показатель	Л-24/8с		Л-24/6	
	SELOOP-анализ	Пинч анализ	*SELOOP*-анализ	Пинч анализ
ΔT_{min}, °С	27	19	20	12
Экономия топлива, %	50	58	51	61
Кол-во новых ТО	2	5	2	7
Затраты, млн. руб.	95,59	161,94	127,27	252,54
NPV, млн. руб.	68,17	39,83	136,98	88,03
IRR, %	42	25	55	29
DPP, лет	4,8	6,8	4,1	6,1
PI	1,88	1,30	2,32	1,43

Литература

1. Мешалкин В.П. Ресурсоэнергоэффективные методы энергообеспечения и минимизации отходов нефтеперерабатывающих производств. Основы теории и наилучшие практические результаты. - М. ; Генуя : Химия, 2010. - 393 с.

2. Kanischev M.V., Ulyev L.M., Chibisov R.E., Vasilyev. M.A. Benchmarking for Refinery Units // Chemical Engineering Transactions. 2018. Vol.70. P.1099-1104. DOI: 10.3303/CET1870184.
3. FuelsEurope Statistical Report 2017 [Электронный ресурс] // [сайт]. [2017]. URL: https://www.fuelseurope.eu/wp-content/uploads/2017/06/20170704-Graphs_FUELS_EUROPE-_2017_WEBFILE-1.pdf (дата обращения: 27.03.2019).

К.А. Чумаченко, студ.; рук. В.И. Борисов, д. ф.-м. н., проф.
(Белорусско-Российский университет, г. Могилев)

АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРУЮЩЕГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Фокусирующие пьезопреобразователи (ПЭП), применяемые в неразрушающем акустическом контроле материалов и изделий имеют некоторые преимущества перед нефокусирующими, так как они позволяют повысить чувствительность и разрешающую способности контроля применяются. Так как акустическое поле излучения пьезопреобразователей формируется в результате интерференции когерентных акустических волн, излучаемых отдельными элементарными площадками пьезопластин, то результирующая интерференционная картина обычно имеет сложный характер, так как кроме основных максимумов акустическое поле содержит ряд дополнительных максимумов, которые могут искажать результаты акустического контроля.

В предлагаемой работе приведены результаты численного анализа акустического поля излучения пьезопластин в виде участка цилиндрической поверхности при непрерывном возбуждении акустических волн.

Расчетная схема ПЭП в виде участка пьезопластины цилиндрической формы, приведена на рисунке 1.

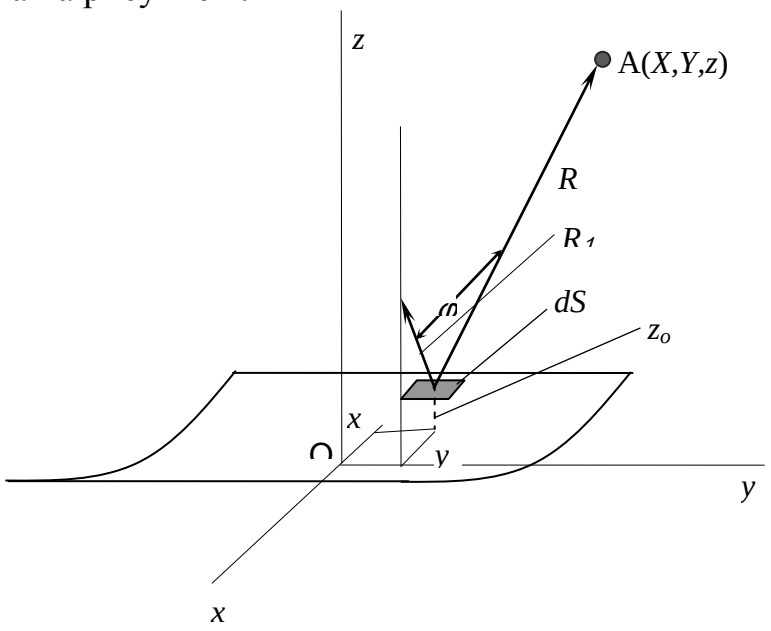


Рисунок 1 – Схема для расчета акустического поля излучения цилиндрического ПЭП

Результирующая величина акустического давления (в произвольных единицах) в точке A с координатами X,Y,z на расстоянии R от точечного излучателя площадью dS, расположенного в точке с координатами x, y, z_0, с применением методики расчета пьезоэлектрических преобразователей, приведенной в работе [1], будет определяться следующим выражением:

$$P(X,Y,z)=\sqrt{\left(\sum_0^N \frac{\cos\varphi}{R}\cos\frac{2\pi}{\lambda}R\right)^2+\left(\sum_0^N \frac{\cos\varphi}{R}\sin\frac{2\pi}{\lambda}R\right)^2},$$

где $k=\frac{2\pi}{\lambda}$ – модуль волнового вектора (волновое число);

λ – длина волны в материале среды, где распространяется акустическая волна.

Полученное выражение позволяет определить амплитуду давления P (в относительных единицах) акустической волны, генерируемой пьезопластиной в виде цилиндрической поверхности в любой точке полупространства.

Представленные в работе результаты расчета акустического поля излучения проводились для непрерывного режима работы пьезопреобразователя на частоте 5 МГц, граничащего с водой, что соответствует длине акустической волны в водной среде 0,3 мм.

Характерный вид распределения давления акустических волн вдоль оси цилиндрического пьезопреобразователя приведен на рисунке 1.

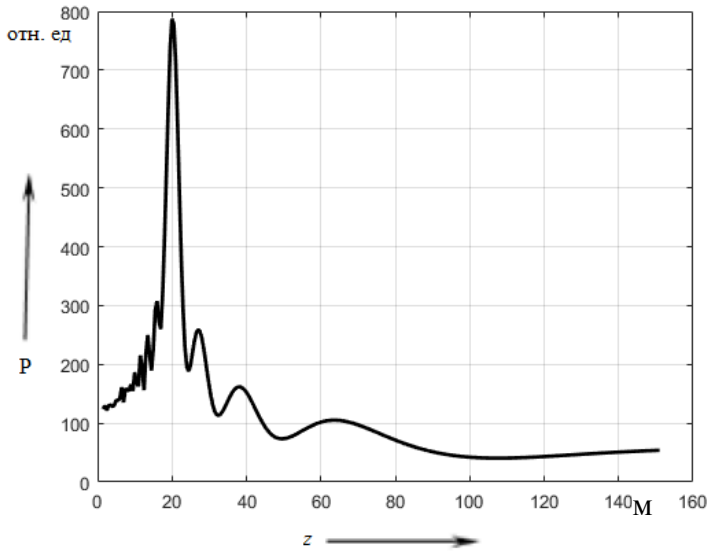


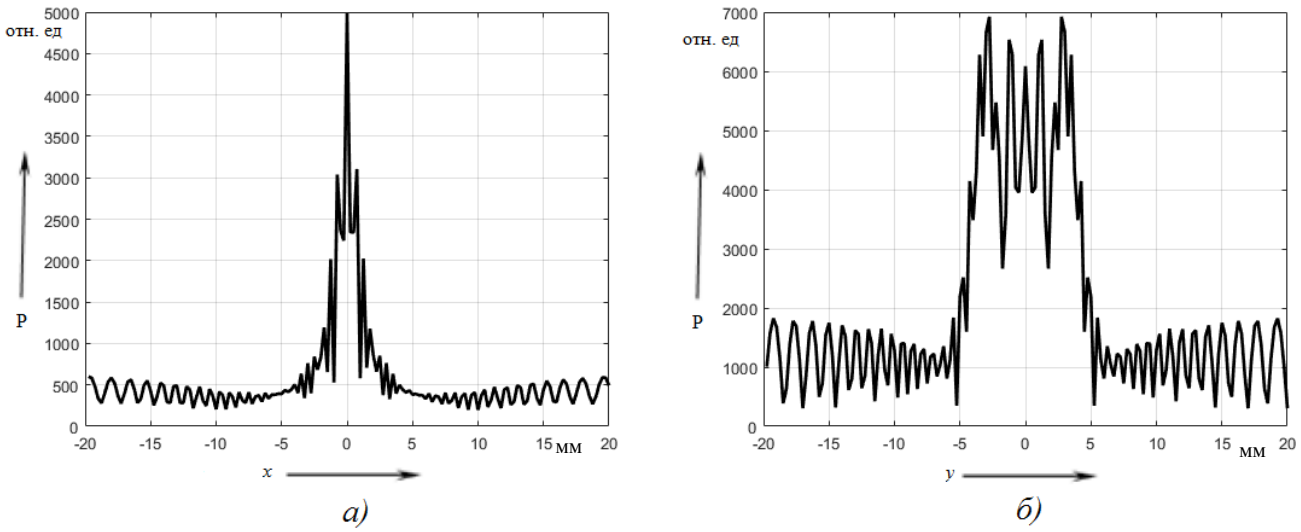
Рисунок 1 – Зависимость акустического давления P вдоль оси цилиндрической пьезопластины с радиусом кривизны 20 мм и размерами 15×15 мм

Из рисунка 1 видно, что в поле излучения можно четко выделить ближнюю зону, расположенную между пьезопластиной и фокальной плоскостью, где наблюдается осцилляция давления акустических волн, фокальную область, в

которой наблюдается фокусировка акустических волн и величина акустического давления достигает максимума, и дальнюю зону, где наблюдается постепенное уменьшение давления при удалении от пьезопластины.

При этом оказывается, что фокусное расстояние не всегда равно радиусу кривизны пьезопластины, а зависит от ее размера. Так для пьезопластины с радиусом кривизны 20 мм и размерами 10×10 мм фокусное расстояние составляет 18 мм, а для пьезопластины с таким же радиусом кривизны, но размерами 15×15 мм фокусное расстояние равно 20 мм.

Характер акустического поля в дальней зоне носит немонотонный характер, а наблюдаются осцилляции акустического давления, глубина и период которых зависят как от размера пьезопластин, так и от их радиуса кривизны. В фокальной плоскости давление акустических волн носит неоднородный характер. Так, к примеру, на рисунке 3 приведено поперечное распределение давления акустических волн в плоскости, перпендикулярной оси пьезопластины с радиусом кривизны 20 мм и размерами 10×10 мм на расстоянии 18 мм (фокальная плоскость).



а) в направлении оси *Ox*; б) в направлении оси *Oy*.

Рисунок 3 – Распределение акустического давления *P* в области фокуса для цилиндрической пьезопластины, с радиусом кривизны 20 мм и размерами 10×10 мм

Из рисунка 3 видно, что в фокальной плоскости распределение давления акустических волн носит неоднородный характер как в направлении образующей цилиндрической пьезопластины, так и перпендикулярном направлении.

Литература

1 Борисов, В.И. Тонкая структура акустического поля излучения прямоугольных пьезопластин / В. И. Борисов, С. С. Сергеев, А. С. Никитин. – Вестник Белорусско-Российского университета, – 2014, №2(43). – С. 105-113.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

1. *Александров А.Н., Киселев В.Ф. АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ* 3
2. *Белов В.К., Зорин А.В., Юркова К.А., Долецкая Л.И. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ ПРИ ГОЛОЛЕДНО-ВЕТРОВЫХ НАГРУЗКАХ* 9
3. *Ведюков А.В., Постнов Д.А., Сафарзода А.Х., Солопов Р.В. РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА БАЗЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ* 13
4. *Галушко А.М., Седов А.М., Ковженкин В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ* 16
5. *Глазунова А.Д., Петров В.С. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ* 20
6. *Голдесов И.Н., Шунаев С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КПД СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ* 25
7. *Зернов А.И., Тростиков А.А., Андреенков Е.С. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ* 28
8. *Костюченкова О.О., Кавченков В.П. АНАЛИЗ ПОТЕРЬ НАПРЯЖЕНИЯ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ* 31
9. *Кошкин И.Ю., Павлов И.А., Чемборисова Н.Ш. УЧЁТ ВЛИЯНИЯ ТОПОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ СЕТИ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЕЁ РАБОТЫ* 35
10. *Маджидов А.Ш. САМОЗАПУСК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АГРЕГАТОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТЭЦ* 40
11. *Медведев Д.Ю., Андреенков Е.С. АНАЛИЗ ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ, НЕСИММЕТРИЧНО ЗАГРУЖЕННЫХ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМИ ТОКАМИ* 43
12. *Михайлов Д.Н., Кавченков В.П. ПРОЦЕСС ПРОВЕДЕНИЯ ТЕПЛОВИЗИОННОГО КОНТРОЛЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ 35-110 КВ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ* 47
13. *Небогов А.В., Почечуев С.В. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД* 52
14. *Опутина Ю.А., Кавченков В.П. АНАЛИЗ СТОИМОСТИ УСЛУГ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПО РЕГИОНАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЕТЯМ* 55

15. *Парулин А.И., Почечуев С.В. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ДЛЯ ПЕРИОДА ЭКСТРЕМАЛЬНО-ВЫСКОИХ ТЕМПЕРАТУР* 59
16. *Пузырева А.Ю., Петров В.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ* 63
17. *Самульченков А.С., Усанов А.В., Солопов Р.В. О КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ СИММЕТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ 0,4 кВ* 66
18. *Седов А.М.. Солопов Р.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ* 70
19. *Синицын А.С., Андреенков Е.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТОКОВОЙ И УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА ОТ ЧАСТОТЫ* 72
20. *Тарасов Д.Ю., Саутин А.В., Певцова Л.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ И ГАЗОИЗОЛИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ УЗЛОВ* 76
21. *Тарасов Д.Ю., Певцова Л.СИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ КАК СРЕДСТВА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ* 79
22. *Царьков Д.С., Почечуев С.В. ОСОБЕННОСТИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ КРУПНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ* 83
23. *Черненков И.Д., Чемборисова Н.Ш. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА САЛЬДО-ПРОВОДИМОСТЕЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЭС* 87
24. *Шельмакова Е.С., Кавченков В.П. АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САМОНЕСУЩЕГО ИЗОЛИРОВАНОГО ПРОВОДА* 90

СЕКЦИЯ 2
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1. *Авдеев А.И., Рожков В.В. СОПОСТАВЛЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ МАШИН* 92
2. *Артёменко А.И., Коваль А.С. К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ ПРИ РЕГУЛИРУЕМОЙ НОМИНАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА* 97
3. *Басин А.М., Баловнев Д.И. ОДНОКОЛЕСНЫЙ И ДВУКОЛЕСНЫЙ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ* 102
4. *Василенко М.А., Черная Л.Г. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНРТЕРЕФТАЛАТА* 105

5. *Геркис В.С., Жесткова Л.В. ВАРИАНТ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ УЧАСТКА ФОРМИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ ЖГУТА ПРЯДИЛЬНОЙ ЛИНИИ* 109
6. *Екименков М.А., Льготчиков В.В. АНАЛИЗ ВОЗМУЩАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ЕГО УЧЁТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ* 113
7. *Зуев Д.О., Михайлов В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДОВ* 117
8. *Иванова В.В., Михайлов В.А. ПАРАМЕТРЫ ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ТЕПЛИЦ СВЕТОНЕПРОНИЦАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ* 120
9. *Иванова М.В., Саватеева И.С. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЗЛА ИЗОЛИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ* 123
10. *Каберник К.Н., Геркис В.С., Авраменкова Д.С., Черная Л.Г., Абабурко В.Н. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ВО ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗОНАХ* 127
11. *Ковалёва А.С., Кабанова И.А. АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СКВ* 132
12. *Колденкова Т.А., Кабанова И.А. РЕШЕНИЕ ВОПРОСОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ* 136
13. *Кондратенко А.Г., Коваль А.С. СХЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ DC/DC ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ЛИФТОВ* 140
14. *Косачёва А.А., Баловнев Д.И. КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА АВТОНОМНОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ* 143
15. *Морозов Д.Э., Кожемякин И.И., Галковский В.А. ХЛАДОСНАБЖЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ* 148
16. *Передельский С.Л., Михейкин Д.А., Марков В.В., Крутикова В.Ю. ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКТОРА «АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ» ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА* 152
17. *Петров И.Д., Чернов В.А. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ* 155
18. *Петров А.Ю., Льготчиков В.В. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ НАИЛУЧШЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ* 158
19. *Пищальский А.С., Максимкин В.Л. ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ С УМЕНЬШЕННОЙ МАТЕРИАЛОЁМКОСТЬЮ* 162

20. *Поликарпов Ф.А., Максимкин В.Л. АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДА В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ИСПОЛНЕНИЯ* 165
21. *Почуйко В.Н., Федорченко Е.О., Селиванов В.А. ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С ЦИФРОВОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИ* 170
22. *Романенко К.Н., Третьяков А.С. ОБЗОР АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ* 173
23. *Рысин Д.О., Михайлов В.А. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ* 176
24. *Свиридов А.А., Кулик Ю.Д. ОПТИМИЗАЦИЯ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВЕНТИЛЬНОЙ КОММУТАЦИЕЙ ОБМОТКИ СТАТОРА* 180
25. *Семенков В.В., Черная Л.Г. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОМАСЛЯНЫХ КОМПРЕССОРОВ 10ГМК-1-28* 184
26. *Степаненков О.С., Полющенков И.С. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ* 188
27. *Степанцова С.С., Галковский В.А. УЗЛЫ УЧЕТА МНОГОКВАРТИРНОГО ДЕСЯТИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА* 193
28. *Столярова Д.Д., Рожков В.В. ПРИМЕНЕНИЕ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ* 196
29. *Тимошенков В.Д., Курилин С.П. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ* 200
30. *Трощенкова А.М., Рожков В.В. ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ* 204
31. *Филиппенков К.Д., Рожков В.В. АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОЦЕНОЧНОМ РАСЧЁТЕ* 209
32. *Хаустов Е.И., Мартынов П.С., Марков В.В., Малых И.А. ЛАБОРАТОРНЫЙ БЛОК ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ОТСЧЁТНЫМ УСТРОЙСТВОМ* 213
33. *Ченчиков С.В., Полющенков И.С. РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТИРАЛЬНОЙ МАШИНОЙ* 216
34. *Ченчиков С.В., Полющенков И.С. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО КОНТРОЛЛЕРА МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОТИВОУГОННОЙ СИСТЕМЫ* 220
35. *Шарин Е.И., Данилов П.Е. МОДЕРНИЗАЦИЯ КРАНОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ* 223

36. *Шпентенков К.Е., Курилин С.П. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ В АВТОНОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ* *227*
37. *Шурохайлов А.М., Германов С.В., Божин Ю.М. СОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ОБМОТОК В ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА* *230*
38. *Яшин В.С., Коваль А.С. ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМОЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ТАХОГРАММЫ ТОРМОЖЕНИЯ КАБИНЫ ЛИФТА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ МАССОВЫХ ЛИФТОВ* *233*

СЕКЦИЯ 3
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ

1. *Алексеева А.А., Пучков А.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ GPSS* *240*
2. *Артёмов И.А., Мельк А.Ю., Свириденкова М.А. АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON И C#* *244*
3. *Безверхая Т.В., Окунев Б.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСТРОЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА* *249*
4. *Безверхая Т.В., Окунев Б.В. АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ PLM-СИСТЕМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА* *253*
5. *Василькова М.А., Пучков Ю.И. МЕТОД СНИЖЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ В РЯД ФУРЬЕ В МЕСТАХ РАЗРЫВА ФУНКЦИИ* *258*
6. *Василькова М.А., Пучков А.Ю. ПОДГОТОВКА НАБОРОВ ВХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ* *262*
7. *Гончарова Т.С., Окунев Б.В. К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ* *266*
8. *Гудкова И.В., Панкртова Е.А. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АТРИБУЦИИ* *269*
9. *Гудкова И.В., Панкртова Е.А. АТРИБУЦИЯ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ ЕГО СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК* *272*
10. *Зайцева Е.А., Гадасина Л.В. ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ* *274*
11. *Зырянова К.З., Зернов М.И. ОПИСАНИЕ СПОСОБА АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН* *278*
12. *Казаченко Н.И., Борисов В.И. АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ РЕШЕТЧАТЫХ ФОКУСИРУЮЩИХ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ* *283*

13. *Канищев М.В., Мешалкин В.П. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ ВНЕШНИХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ НА ЭТАЛОННЫХ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ УСТАНОВКАХ ПРИ ИХ СРАВНИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ* 286
14. *Киров Д.И., Бронфельд Г.Б. ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО НАЛОЖЕНИЯ ЗНАНИЙ* 291
15. *Козлов А.Б., Свириденкова М.А. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ* 295
16. *Козлова А.Р., Свириденкова М.А. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ* 299
17. *Лимонцев Д.С., Пучков А.Ю. АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТУРЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ* 303
18. *Лобанева Е.И., Пучков А.Ю. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА* 306
19. *Лобанов А.С., Булыгина О.В. ВНЕДРЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОРГАНИЗАЦИЙ ТЭК* 311
20. *Львов Р.С., Панкратова Е.А. СЦЕНАРИЙ АТАКИ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ПРОТОКОЛА RDP* 314
21. *Мохов А.С., Толчеев В.О., Туркин П.А. МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ НАУЧНОГО ПРОФИЛЯ КАФЕДРЫ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ЦИФРОВОЙ БИБЛИОТЕКИ ELIBRARY.RU* 317
22. *Петраков А.В., Панкратова Е.А. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ* 322
23. *Погоняева А.В., Фомченкова Л.В. ПРОГРАММНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО АНГЛИЙСКОГО ЯЗЫКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ОРГАНИЗАЦИИ* 325
24. *Пономаренко А.С., Борисов В.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РИСКОВ* 329
25. *Рындина А.С., Окунев Б.В. ОБУЧЕНИЕ ПЕРСОНАЛА ОРГАНИЗАЦИИ МЕТОДАМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕНДОВ* 334
26. *Семкович Е.Т., Фомченкова Л.В. ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ВЫБОРА ВЗАИМНО НЕ ДОМИНИРУЕМЫХ АЛЬТЕРНАТИВ* 337
27. *Стоянова А.Д., Стоянова О.В. ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ, ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ* 340

28. *Сухова А.Д., Егоров Ю.С. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИОРИТЕТОВ ЗАПЛАНИРОВАННЫХ СОБЫТИЙ* *344*
29. *Чибисов Р.Е., Мешалкин В.П. АЛГОРИТМЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОРЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ ГИДРООЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА* *349*
30. *Чумаченко К.А., Борисов В.И. АКУСТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ФОКУСИРУЮЩЕГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ* *354*

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА
(электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и совершенствование технических систем и технологических процессов.)
Сб. трудов XVI Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов
Сборник трудов в 3-х томах
Том 1

Подписано в печать 15.04.2019 г.
Формат 60x84 1/16 . Тираж 100 экз. Печ. л. 22,75 Усл. печ. л. 21,16.

Издательство «Универсум»
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-413-4