

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



МАТЕРИАЛЫ

V МЕЖДУНАРОДНОГО  
МОЛОДЁЖНОГО ФОРУМА

**«ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»**

ТОМ 3.

Томск – 2017

УДК 620.9(063)  
ББК 31л0  
И73

Интеллектуальные энергосистемы: труды V Международного молодежного форума. В 3т. Томск 9 - 13 октября 2017г. Т.3. - Материалы V Международного форума «Интеллектуальные энергосистемы», 228 с.

Настоящий сборник содержит материалы V Международного молодежного форума «Интеллектуальные энергосистемы», проведенного 9 - 13 октября 2017г. на базе Энергетического института Томского политехнического университета.

Материал сборника представлен без редактирования авторских электронных версий.

### **СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ СБОРНИКА ТРУДОВ ФОРУМА**

1. Матвеев А.С., к.т.н., заместитель директора по развитию ЭНИН ТПУ, председатель;
2. Козырева А.А., начальник научного отдела ЭНИН ТПУ, ученый секретарь;
3. Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ;
4. Глушков Д.О., к.ф.-м.н., доцент кафедры АТП ЭНИН ТПУ;
5. Заворин А.С., д.т.н., зав. кафедрой ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ;
6. Литвак В.В., д.т.н., профессор кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ;
7. Кладиев С.Н., к.т.н., доцент кафедры ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
8. Дементьев Ю.Н., к.т.н., зав. кафедрой ЭПЭО ЭНИН ТПУ;
9. Муравлев О.П., д.т.н., профессор кафедры ЭКМ ЭНИН ТПУ
10. Сурков М.А., к.т.н., зав. кафедрой ЭПП ЭНИН ТПУ;
11. Сулайманов А.О., к.т.н., зав. кафедрой ЭЭС ЭНИН ТПУ;
12. Хрущев Ю.В., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН ТПУ;
13. Собинова Л.А., к.пед.н., ст. преподаватель кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
14. Чеснокова И.А., к.ф.н., старший преподаватель кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
15. Кобенко Ю.В., д.ф.н., профессор кафедры ИЯ ЭНИН ТПУ;
16. Ростовцева В.М., к.пед.н., доцент каф. ИЯ ЭНИН ТПУ.
17. Ардашкин И.Б., д.филос.н., профессор ФИЛ ИСГТ ТПУ
18. Лукутин А.В., к.т.н., начальник учебно-методического отдела ЭНИН ТПУ

Верстка и дизайн оригинал макета: Зими́на Н.А.

© Томский политехнический университет, 2017

## СЕКЦИЯ 8. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### ВЫБОР МЕТОДА РЕАГИРОВАНИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В КОМПЕНСИРОВАННЫХ СЕТЯХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ УГЛОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

В.В. Гречушников  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС

#### Введение

В настоящее время существует довольно много различных устройств защиты от замыканий на землю в сетях с компенсацией емкостного тока [1, 2, 3]. Однако отсутствует решение, которое в полной мере соответствует условиям их массового использования.

Общеизвестным требованием к данной защите является необходимость обеспечения правильного функционирования, как при устойчивых, так и при перемежающихся дуговых замыканиях.

Одним из известных способов обеспечения функционирования защиты при устойчивых замыканиях является искусственное увеличение активной составляющей тока замыкания [4]. Увеличение активной составляющей приводит к ухудшению условий гашения дуги в месте замыкания. В связи с этим в данной работе рассматриваются варианты алгоритмов формирования параметра реагирования защиты при увеличении активной составляющей тока не более чем на 10 % от суммарного емкостного тока сети.

Важным фактором при выполнении защиты, является учет влияния угловых погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности (ТТНП).

В данной работе рассматривается несколько вариантов формирования параметра реагирования. В качестве критерия для сравнения этих вариантов принимается максимально возможное значение собственного емкостного тока отдельной линии, при котором могут быть обеспечены условия чувствительности и селективности.

#### Объект исследования

Из данных полученных в [5], следует, что измеренное значение активной составляющей тока зависит от степени расстройки компенсации ( $\nu$ ), угловой погрешности ТТНП ( $\Delta\psi$ ) и от отношения емкостного тока отдельной линии к суммарному емкостному току сети ( $K_{\Sigma}$ ). Рассматриваются следующие возможные значения расстройки компенсации и угловой погрешности ТТНП:

1. Сеть оборудована дугогасящими реакторами (ДГР) с ручным управлением, расстройка компенсации изменяется в пределах  $\pm 20\%$  ( $\nu = -0,2 \div 0,2$ );

2. Сеть оборудована автоматической настройкой компенсации  $\nu = -0,05 \div 0,05$ ;
3. В сети установлены типовые ТТНП, которые могут иметь большие угловые погрешности, вплоть до  $20^\circ$  ( $\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$ );
4. В сети применяются ТТНП у которых гарантируется максимальная фазовая погрешность до  $5^\circ$  ( $\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$ ).

Эти значения расстройки компенсации и угловой погрешности могут встречаться в различных сочетаниях, поэтому рассмотрены следующие случаи:

5. Ручное управление ДГР  $\nu = -0,2 \div 0,2$  и  $\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$ ;
6. Автоматическая настройка компенсации  $\nu = -0,05 \div 0,05$  и  $\Delta\psi = 0^\circ \div 20^\circ$ ;
7. Ручное управление ДГР  $\nu = -0,2 \div 0,2$  и  $\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$ ;
8. Автоматическая настройка компенсации  $\nu = -0,05 \div 0,05$  и  $\Delta\psi = 0^\circ \div 5^\circ$ .

Защита, реагирующая на абсолютную величину тока нулевой последовательности

Выполнение защиты, реагирующей на абсолютную величину тока, является наиболее простым вариантом. При реагировании на модуль полного тока, угловая погрешность трансформаторов тока практически не влияет на измеряемую защитой величину. Это является достоинством такого варианта использования повышенной активной составляющей. При одинаковой уставке защиты на всех линиях условия чувствительности и селективности выполняются при емкостном токе линии не более 12,9 %.

Защита, реагирующая на абсолютную величину активной составляющей тока

При реагировании на абсолютную величину активной составляющей тока самым тяжелым для работы защиты является случай 1, когда погрешность ТТНП максимальна и имеет место расстройка компенсации  $\pm 20\%$ . С одинаковой уставкой на всех линиях максимально допустимое значение  $K_L$  составляет 10,2 %. Для защиты линии, например, с  $K_L = 50\%$ , что возможно на практике, необходимо применять ТТНП с угловой погрешностью не более  $8^\circ$ . В случае 3 ограничения на применение защиты по собственному емкостному току линии практически снимаются ( $K_L \leq 92,6\%$ ).

Если сеть оборудована автоматической настройкой компенсации и ТТНП имеет угловые погрешности до  $20^\circ$  (случай 2) допустимое значение  $K_L$  возрастает почти в два раза и составляет 20,2 %. В этом случае, для обеспечения  $K_L = 50\%$ , может быть допущена погрешность до  $9,4^\circ$ . В случае 4 ограничения по величине  $K_L$  снимаются полностью.

Защита реагирующая на модуль суммы активного и доли реактивного токов

На основании анализа проведенного в [5], было выявлено, что при недокомпенсации угловая погрешность ТТНП снижает величину измеряемой активной составляющей тока, в то время как реактивная составляющая наоборот увеличивается. С учетом этого обстоятельства предложен следующий способ формирования параметра реагирования:

$$I = \left| (1 - \Delta I) \cdot I_{\text{Л}} \cdot \left( \cos \Psi_{\Sigma} + k \cdot \sin \Psi_{\Sigma} \right) \right|, \quad (1)$$

где  $I_{\text{Л}}$  – полный ток нулевой последовательности линии,  $\Delta I$  – токовая погрешность ТТНП,  $k$  – доля реактивной составляющей тока, используемая для формирования параметра срабатывания,  $\Psi_{\Sigma} = \Psi_{\text{Л}} + \Delta\Psi$  – полный угол с учетом угловой погрешности ТТНП,  $\Psi_{\text{Л}}$  – угол между током и напряжением нулевой последовательности.

В результате расчетов, было определено, что в формуле (1) оптимальным является значение коэффициента  $k = 0,16$ . В случае 1, максимально допустимое значение  $K_{\text{Л}}$  составляет 22,5 % (более чем в два раза больше по сравнению с использованием только активной составляющей), а в случае 2 – 28,2 %.

Защита, реагирующая на модуль суммы активного тока и величины, пропорциональной синусу полного угла

Рассмотрен также вариант формирования параметра реагирования защиты, с учетом величины и знака синуса полного угла. Формирование сигнала происходит по закону (2).

$$I = \left| (1 - \Delta I) \cdot I_{\text{Л}} \cdot \cos(\Psi_{\Sigma}) + k \cdot \sin(\Psi_{\Sigma}) \right| \quad (2)$$

Для данного варианта, оптимальным является значение  $k=0,04$ . При этом для случая 1 максимально допустимое значение  $K_{\text{Л}}$  составляет 20,7 %, а для случая 2 – 21,3 %.

Результаты расчетов по предлагаемым алгоритмам формирования параметра реагирования сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты расчетов

Вариант формирования параметра реагирования защиты		Абсолютная величина тока	Абсолютная величина активной составляющей тока	Модуль суммы активного и доли реактивного токов	Модуль суммы активного тока и величины пропорциональной синусу полного угла
Случаи					
1	$v = \pm 0,2$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 20^{\circ}$	$K_{\text{Л}} \leq 12,9 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 10,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 22,5 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 20,7 \%$ ,
2	$v = \pm 0,05$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 20^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 20,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 28,2 \%$	$K_{\text{Л}} \leq 21,3 \%$ ,
3	$v = \pm 0,2$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 5^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 92,6 \%$	-	-
4	$v = \pm 0,05$ $\Delta\Psi = 0^{\circ} \div 5^{\circ}$		$K_{\text{Л}} \leq 100 \%$	-	-

#### Выводы

Выполнение защиты, реагирующей на модуль тока нулевой последовательности или на его активную составляющую, при погрешности ТТНП до 20° и расстройке компенсации до 20 %, позволяет обеспечить условия чувстви-

тельности и селективности на линии с собственным емкостным током не более 10-12 %.

В условиях применения защиты, таких же как и в пункте 1 выводов, допустимое значение собственного емкостного тока линии увеличивается более чем в два раза при дополнительном использовании в алгоритме формирования параметра реагирования величины, пропорциональной реактивной составляющей тока или величины, пропорциональной синусу полного угла.

Радикальным средством повышения эффективности защиты является применение ТТНП с меньшей угловой погрешностью. При использовании только активной составляющей тока, снижение угловой погрешности до 8-9° позволяет обеспечить условия чувствительности и селективности во всех случаях на линиях с емкостным током до 50 %.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лачугин, В.Ф. Опыт разработки импульсных защит от замыканий на землю // Изв. ВУЗов. Электромеханика. - 2012. - № 2. - С. 77-79.
2. Кискачи В.М. Определение поврежденного присоединения при замыканиях на землю в кабельных сетях / Кискачи В.М., Назаров Ю.Г. // Электрические станции. – 1965. – № 7.
3. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ // (Библиотечка электротехника). – М.: НТФ Энергопрогресс. – 2001. – Вып. 11(35). – 104 с.
4. Вильгейм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 414 с
5. Гречушников В.В. Использование активной составляющей тока для обеспечения работы защиты от замыканий на землю в компенсированных сетях с учетом влияния угловых погрешностей трансформаторов тока [Электронный ресурс] = Active current for line-to-ground fault protection in resonant grounded systems using at list phase angle error of zero-phase sequence current transformers / В. В. Гречушников, С.Н. Пашковский// Электроэнергетика глазами молодежи: труды VIII международной научно-технической конференции, 02-06 октября 2017 года, Самара / Самарский Государственный Технический Университет» (СамГТУ). — 2017.

Научный руководитель: Р.А. Вайнштейн, д.т.н., профессор-консультант каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

# УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОГО АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТА

Н.И. Ежиков, А.В. Миронов  
Южно-Уральский государственный университет

В настоящий момент большинство ячеек КРУ являются составными, то есть сам выключатель является выкатным элементом. Контакты выключателя являются слабым местом с точки зрения физического износа так как место соединения полюса выключателя и токоведущей шины имеет переходное сопротивление и, при протекании высоких токов, подвержено коррозии, что приводит к повышению переходного сопротивления и, как следствие, повышенному нагреву места контакта, из-за чего может возникнуть аварийная ситуация. Обычно такие ситуации предотвращаются плановым ремонтом выключателя, во время которого происходит чистка и полировка контактов, однако при нахождении подстанции в удаленном труднодоступном районе регулярное обслуживание порой невозможно. С точки зрения релейной защиты данная авария предотвращается дуговой защитой, однако высок шанс что дуговая защита отключит всю секцию, либо вообще отсутствует на выключателе и защищает только секцию шин.

Данную аварийную ситуацию можно предотвратить при помощи устройства, непрерывно анализирующего состояние контакта и сообщаемого релейной защите о необходимости сигнализации или отключения. Определить величину переходного сопротивления можно при помощи измерения падения напряжения на нужном участке, однако данный способ требует применения дорогостоящих высокоточных измерительных трансформаторов напряжения по два на каждом полюс выключателя.

Так как изначально стоит задача определения состояния контакта, а не его сопротивления, допустимо измерение температуры места контакта, так как при протекании тока через определенное сопротивление происходит нагрев сопротивления. Также в данном случае необходимо измерять температуру подводящей шины, дабы определять именно разницу температур чтобы исключить влияние теплового воздействия протекающего тока на шины. При превышении определенной величины разницы температур должна происходить сигнализация схеме релейной защиты. Определение температуры должно происходить бесконтактным методом для развязки высоковольтной и низковольтной частей ячейки. Наиболее подходящим в данной ситуации является датчик типа mlx90614 и подобные, и микрокомпьютер для анализа показаний датчиков. Для монтажа датчиков предлагается использовать конструкцию, указанную на рисунке 1, выполненную из усиленного HIPS или любого другого пластика, поддерживающего температуры до 350-400°C.

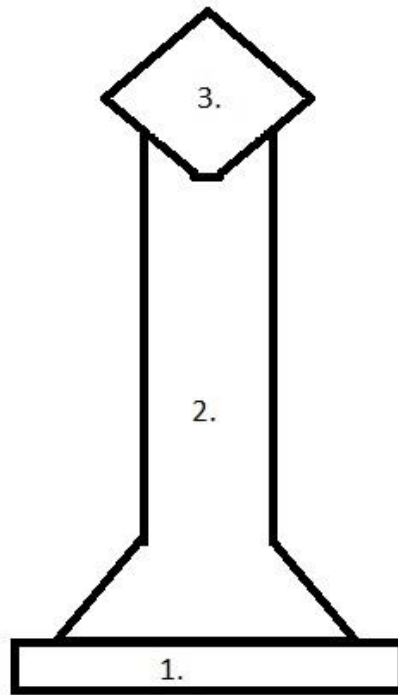


Рис. 1. Конструкция устройства: 1 - теплопроводная пластина. 2 – пластиковый корпус. 3 – датчик mlx90614 или аналогичный.

Пластиковый корпус должен быть выполнен из пластика черного цвета либо покрашен изнутри в черный цвет, дабы уменьшить погрешность измерения инфракрасного датчика. Теплопроводная пластина необходима для уменьшения влияния поверхности шины или отходящего полюса выключателя на показания датчика.

Таким образом данное устройство позволит избежать аварий, которые могут произойти из-за плохого контакта выключателя и токоведущей шины. Так же данное устройство позволяет сократить объем работ, выполняемых при плановом ремонте выключателя.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. - М.: Мир - 1983
2. Попов В.С. Электротехнические измерения и приборы. – М.: ГЭИ - 1963
3. ПУЭ, издание 7. М: НЦ ЭНАС -1999
4. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник. – М.: Высшая школа – 2000

Научный руководитель: В.С. Павлюков, к.т.н., доцент, преподаватель кафедры ЭССИСЭ ЮУрГУ.



## МАКЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Н.И. Ежиков, И.С. Злобин, А.В. Миронов  
Южно-Уральский государственный университет

На сегодняшний день при обучении студентов специальностям, связанным с работой на подстанциях или электростанциях, существует проблема недостаточной наглядности. Сейчас при проведении занятий используются различные макеты, компьютерные модели и полные копии работающих ячеек. Однако даже при проведении экскурсий на действующие подстанции отсутствует возможность производить оперативные переключения или проверить работу различных защит.

Для решения этой задачи нами предлагается использовать полный макет подстанции, состоящей из открытой части и КРУ. На открытой части находятся два трансформатора, выключатели и разъединители. В КРУ находятся две секции. На каждой секции находятся три ячейки: вводная, отходящая с выкатным элементом и отходящая комплектная. Секции соединены между собой при помощи секционного разъединителя. Данная комплектация позволяет наиболее полно продемонстрировать различные работы на подстанции начиная от вывода силового трансформатора в ремонт и заканчивая выводом в ремонт одного выключателя. На рисунке 1 представлена общая схема предлагаемого макета.

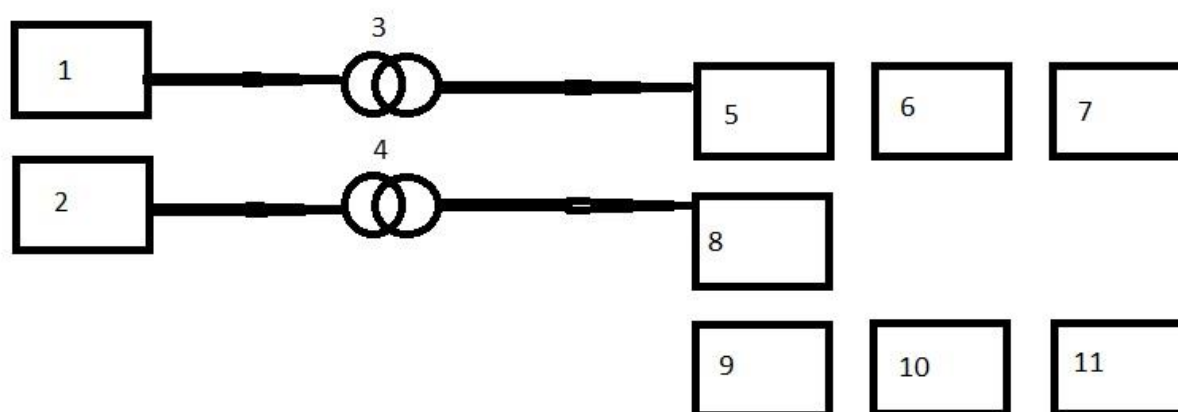


Рис. 2. Общая схема предлагаемого макета подстанции. 1,2 – выключатели высокой части вместе с разъединителями. 3,4 – силовые трансформаторы. 5,9 – вводные ячейки для каждой секции. 6,7,10,11 – отходящие ячейки, 8 – секционный разъединитель.

Ячейки 5, 6, 9 и 10 являются ячейками с выкатными элементами. В них входят датчики тока типа ACS712, основывающиеся на эффекте Холла, трехполюсные реле и микрокомпьютер для реализации релейной защиты. Ячейки 7 и 11 отличаются тем, что выключатель (трехполюсное реле) является невыкатным, а в состав ячеек входят шинные и линейные разъединители. К выключателям 1 и 2, а соответственно и к трансформаторам 3 и 4 подводится напряжение в 30В. Внутри макетов трансформаторов 3 и 4 находятся преобразователи напряжения, на выходе трансформаторов напряжение составляет 5В. Низкое напряжение используется для обеспечения безопасности при прямом контакте

студента с макетом подстанции. Для создания тока на конце каждой отходящей линии установлен резистор номиналом 10 Ом и замыкающее устройство для имитации короткого замыкания на линии. На каждой секции также установлены замыкающие устройства для имитации короткого замыкания на секции.

Подобный макет позволит более наглядно продемонстрировать студентам принципы оперативных переключений и работы релейной защиты. Также подобный макет даст студентам основные знания об общем устройстве подстанции. Это позволит увеличить качество образования и сократить время обучения студента при приеме на работу.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение. - М.: Мир - 1983
2. Филатов А.А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом. –М.: Энергоатомиздат - 1990
3. ПУЭ, издание 7. М: НЦ ЭНАС -1999
4. Костров М.Ф., Соловьев И.И., Федосеев А.М. Основы техники релейной защиты. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1944

Научный руководитель: В.С. Павлюков, к.т.н., доцент, преподаватель кафедры ЭССИСЭ ЮУрГУ.

### **ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ ОДНОЛИНЕЙНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ БАЗЫ ПО ХРАНЕНИЮ И РЕАЛИЗАЦИИ ГСМ, МЕТАНОЛА И ХИМИКАТОВ УМТСИК**

С.С. Ворошилов  
Томский Политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А4Б

Филиал “Управление материально-технического снабжения и комплектации” (УМТСиК) предназначен для снабжения других филиалов общества ООО «Газпром добыча Уренгой» с различными видами деятельности всеми видами необходимых материалов: запчастями, ресурсами, оборудованием. Также УМТСиК ведет работы по закупке оборудования, организации и доставки, входному контролю и распределению материалов между филиалами в соответствии с подаваемыми заявками на ремонтно-эксплуатационные нужды.

На рис. 1 приведена структурная схема участка ЭВС (энерговодоснабжение). На схеме показаны трансформаторные подстанции (1, 2, 3, 4), ДЭС (дизельная электростанция), а также распределительное устройство (ЗРУ - 10).

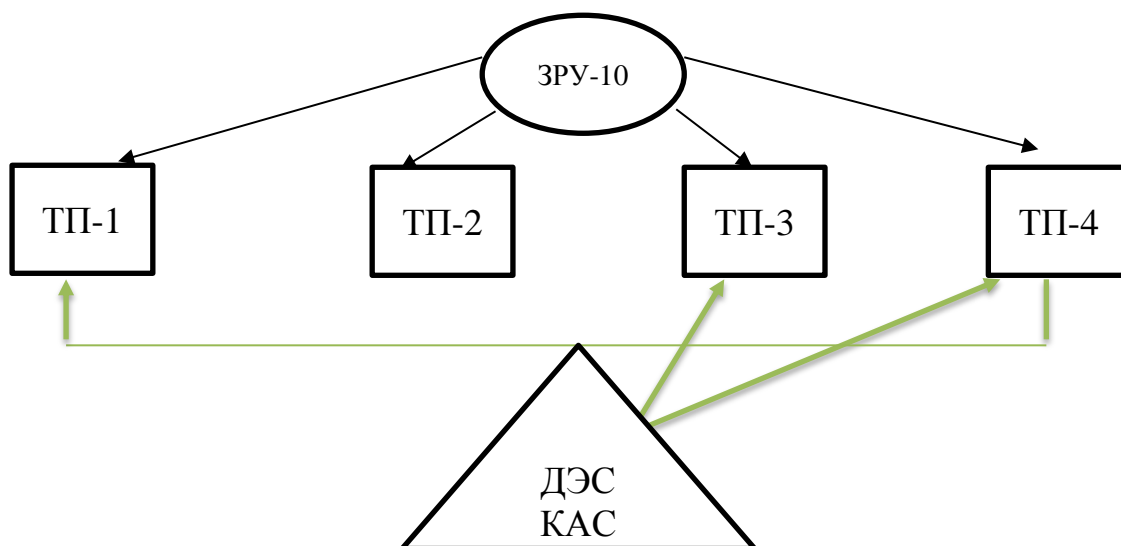


Рис. 1. Структурная схема электростанции

Электроэнергия от ЗРУ – 10 поступает на шины 10 кВ ТП – 1, ТП – 2, ТП – 3 и ТП – 4 (нормальный режим). В аварийном режиме питание на ТП – 3 и ТП – 4 поступает от ДЭС (напрямую), а на ТП – 1 напряжение, в свою очередь, поступает от ТП – 4 [1].

Описание структурной схемы:

1. Число и мощность источников электроэнергии (кВт) со станционной маркировкой: КАС – 500 кВт (G).
2. Число распределительных устройств: 1 (ЗРУ).
3. Напряжение распределительного устройства: 10кВ.

Описание силового оборудования, их количество и мощность [1].

ТП – 1: Т1: ТМЗ – 400/10 70У3 10/0,4 кВ; Т2: ТМ – 400/10 66У1 10/0,4 кВ.

ТП – 2: Т1: ТМГ – 250/10 У1 10/0,4 кВ; Т2: ТМФ – 250/10 75У1 10/0,4 кВ.

ТП – 3: Т1: ТМФ – 400/10 74У1 10/0,4 кВ; Т2: ТМФ – 400/10 74У1 10/0,4 кВ.

ТП – 4: Т1: ТМЗ – 1600/10 75У3 10/0,4 кВ; Т2: ТМЗ – 1600/10 75У3 10/0,4 кВ.

На рисунке 2 показана схема электроснабжения ТП – 1 с двумя трансформаторами типа ТМЗ – 400/10 и ТМ – 400/10.

Баки трансформаторов сварные, прямоугольной формы, заполняются трансформаторным маслом. Для увеличения поверхности охлаждения применяются радиаторы. В нижней части стенки бака имеются пробка для спуска масла, кран (пробка) для взятия пробы, болт заземления.

Вводы расположены на узких стенках бака. Азотная подушка обеспечивает защиту масла от окисления и компенсирует температурные колебания объема масла. Для защиты устанавливается предохранительная диафрагма или реле давления, которые срабатывают при достижении в баке давления 0.75 атм. и газы выходят наружу. На стенке маслоазоторасширителя устанавливается маслоуказатель.

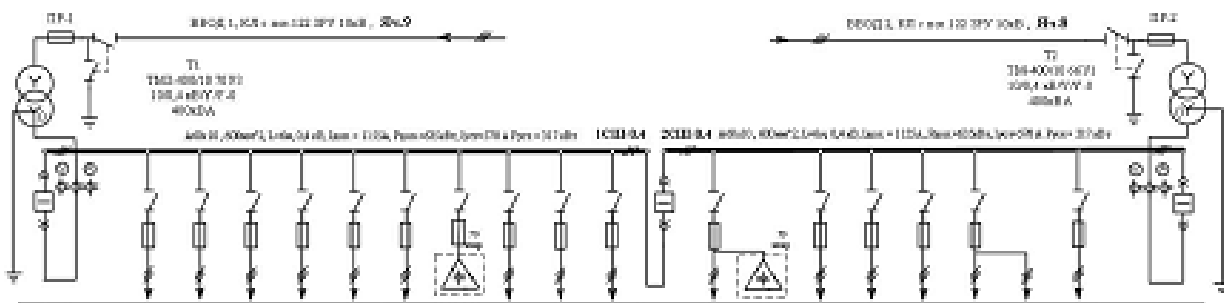


Рис. 2. Однолинейная схема электроснабжения ТП-1

Для данного предприятия используется режим глухозаземлённой нейтрали на напряжении 0,4 кВ. Глухозаземленная нейтраль источника электроэнергии – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Системы с глухозаземленной нейтралью - это системы с большим током короткого замыкания на землю. При коротком замыкании место замыкания отключается автоматически. В системах 0,23 кВ и 0,4 кВ это отключение диктуется требованиями техники безопасности. Одновременно заземляются все корпуса оборудования.

На ТП – 1 используются следующие коммутационные аппараты [2].

Выключатели АВМ10 – секционный выключатель (обозначение на схеме 1СВ – 0,4); АВМ – серия автоматического выключателя; 10 – величина выключателя в зависимости от номинала тока – 500А, 600А, 630А, 750А, 800А, 1000А).

Разъединители 2\*РЗ545 (обозначение на схеме – 1Р, 2Р): Р – разъединитель; 3 – серия 3000 с передним присоединением внешних проводников и контактным выводом; 5 – номинальный ток, А: 2000; 4 – вид ручного привода: съемная штанга; 5 – число полюсов: 3 полюса.

Для всех ТП используется схема – одна секционированная система сборных шин. Данная схема проста, наглядна, экономична, обладает достаточно высокой надежностью, широко применяется в промышленных и городских сетях для электроснабжения потребителей любой категории на напряжениях до 35 кВ включительно. Недостатки схемы с одной секционированной выключателем системы шин: на все время проведения контроля или ремонта секции сборных шин один источник питания отключается; профилактический ремонт секции сборных шин и шинных разъединителей связан с отключением всех линий, подключенных к этой секции шин; повреждения в зоне секции сборных шин приводят к отключению всех линий соответствующей секции шин; ремонт выключателей связан с отключением соответствующих присоединений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Положение № 38/26 гор. Новый Уренгой об участке ЭВС «УМТСиК». - М. 2006. - 98с.

2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования – СПб.: БВХ-Петербург, 2014. – 608 с.

Научный руководитель: Н.М. Космынина, к.т.н., доцент ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## **АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА ГП-1В ОАО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ЯМБУРГ»**

М.К. Бахтеев

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А4Б

Проектная производительность производственных объектов газового промысла 1В (ГП-1В) составляет 21 млрд. м<sup>3</sup>/год газа. Фактическая максимальная производительность производственных объектов ГП-1В – 15 млрд. м<sup>3</sup>/год газа.

Объекты ГП-1В предназначены для сбора и подготовки газа к магистральному транспорту по требованию [1], подготовки нестабильного газового конденсата по требованию СТО Газпром 5.11-2008.

Продукцией данного газового промысла являются:

- сухой газ по СТО Газпром 089-2010.
- нестабильный конденсат по СТО Газпром 5.11-2008.

Весь технологический процесс подготовки газа к магистральному транспорту на газовом промысле осуществляется на 2-х установках комплексной подготовки газа (УКПГ), дожимной компрессорной станции (ДКС-1В) и установках извлечения конденсата с использованием оборудования производительностью 10,0 млн. м<sup>3</sup>/сутки.

В соответствии с ПУЭ [2], основные технологические нагрузки ГП-1В относятся к первой категории. Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа (ОГ-1) электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров. Электроприемники особой группы первой категории – это системы АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), КИП (контрольно-измерительные приборы) [1].

Основное и резервное электроснабжение ГП-1В осуществляется от двух независимых источников электроснабжения по ВЛЭП-110 кВ [3]: от ПС-Ямбург и ПС-ЯГТЭС; далее напряжение поступает на два трансформатора типа ТМЗ – 25000/110 [4]. После преобразования электроэнергия поступает в ЗРУ 6кВ ГП-1В.

На ГП-1В установлены комплектные понижающие трансформаторные подстанции 6/0,4 кВ (рисунок 1).

1. КТП вспомогательных зданий и сооружений (10ТП-3, 2х1000 кВ·А).  
Основные потребители электрической энергии: насосная пожаротуше-

ния, водоносная, наружное освещение, административное и вспомогательные помещения и здания.

2. КТП цеха подготовки газа и конденсата (10ТП-2, 2x1600 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование, аппарат воздушное охлаждение газа (АВО газа), система вентиляции, освещение корпусов.
3. КТП цеха регенерации метанола (10ТП-1, 2x1000 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование, система вентиляции, освещение корпусов.

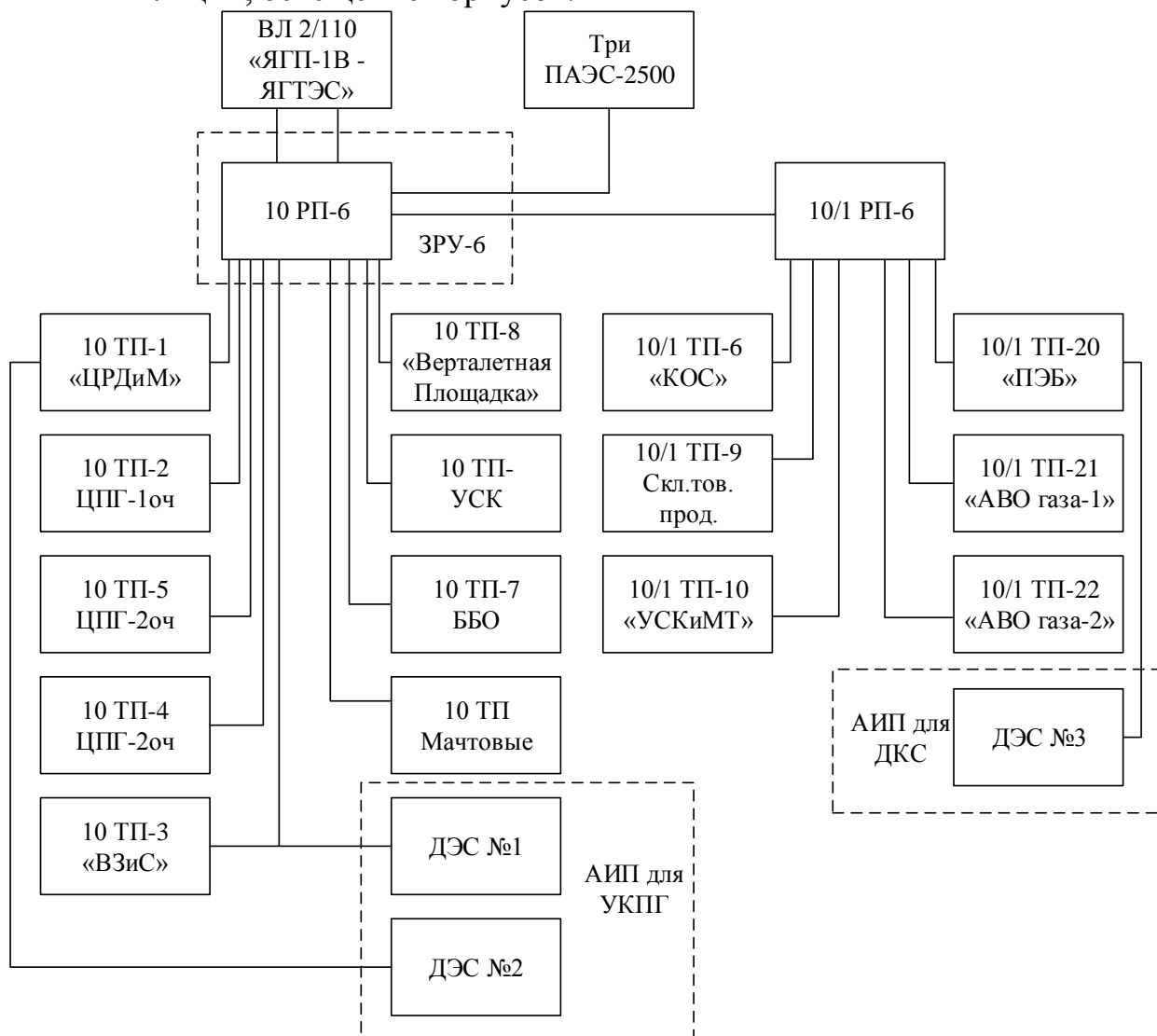


Рис. 1. Структурная схема электроснабжения ГП-1В.

4. КТП цеха подготовки газа и конденсата II-очереди (10ТП-4, 2x400 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование, система вентиляции, освещение корпусов.
5. КТП цеха подготовки газа и конденсата II-очереди (10ТП-5 АВО, 2x1600 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование АВО газа.
6. КТП блок бокса обогрева (10ТП-6, 1x1000 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование обогрева трубопровода УЗПП – поглощающие скважины.

7. КТП комплекса очистных сооружений (10ТП-7,02x250 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: электрооборудование КОС (канализационно-очистная станция), система вентиляции; освещение корпусов, ПЧ-32 (преобразователь частоты).

8. КТП вертолетной площадки (15ТП-13, 1x25 кВ·А). Основные потребители электрической энергии: светосигнальное освещение.

На дожимной компрессорной станции (ДКС-1В) установлены понижающие комплектные трансформаторные подстанции 6/0,4 кВ [3]: 10/1ТП-20 (КТП ПЭБ) – 2x1000 кВ·А; 10/1ТП-21 (КТП АВО газа № 1) - 2x1000 кВ; 10/1ТП-22 (КТП АВО газа № 2) - 2x1000 кВ.

От КТП ПЭБ (производственно-эксплуатационный блок) запитаны потребители газоперекачивающих агрегатов и объектов вспомогательного назначения.

На рисунке 2 приведена электрическая схема ЗРУ 6 кВ.

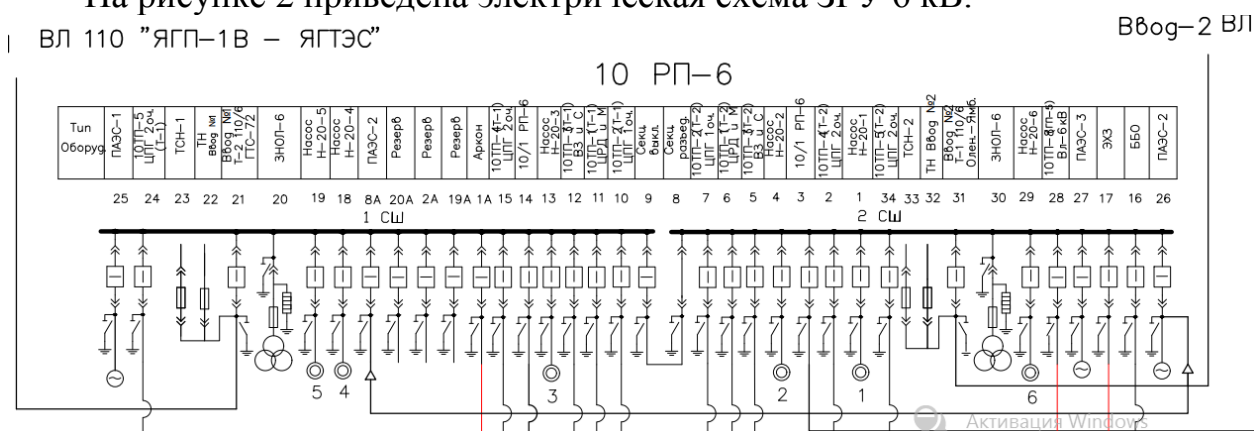


Рис. 2. Схема электрических соединений ЗРУ-6кВ

Распределительное устройство выполнено по схеме одной рабочей секционированной системе шин (рисунок 2).

Газовый промысел относится к особой группе первой категории надежности электроснабжения потребителей и для его питания необходимы дополнительно резервные и аварийные источники питания [2].

В качестве резервных используются три передвижных автоматизированных электростанции ПАЭС-2500, подключенные к 1-й и 2-й секций шин ЗРУ-6кВ. Данные электростанции используются на ГП-1В, так как важная часть технологического процесса осуществляется при помощи высоковольтных электродвигателей на напряжение 6 кВ для насосов по перекачке конденсата Н-20, а также их использование необходимо для возможного покрытия по мощности всех нагрузок газового промысла, включая ДКС-1В 1-й очереди, при некачественном внешнем электроснабжении и в аварийных ситуациях на основном и резервном источниках электроснабжения [1].

В качестве аварийных источников питания (АИП) электроэнергии на УКПГ установлены две дизельные электростанции «БЭС-630» и одна на ДКС «Звезда 630-НК01» [3]. ДЭС №1 предназначена для питания КТП вспомогательных зданий и сооружений (10ТП-3 ВЗиС), ДЭС №2 для питания КТП 10ТП-1 ЦРМ и ДЭС №3 для питания КТП 10/1ТП-20ПЭБ ДКС. Помимо этого, ДЭС № 3 запускается вместе с ПАЭС, так как для входа ПАЭС в номинальный

режим работы необходимо порядка 5-10 минут, а газоперекачивающие агрегаты не допускают останова, то ДЭС обеспечивает электроснабжение до того времени пока ПАЭС не войдет в номинальный режим.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. СТО Газпром 2-6.2-149-2007 Категорийность электроприемников промышленных объектов ОАО «ГАЗПРОМ». Стандарт организации: документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «ГАЗПРОМ».
2. Правила устройства электроустановок (все действующие разделы). — 6 и 7-е изд. — Новосибирск: Норматика, 2015. — 464 с.
3. Технологический регламент газового промысла № 1В. // ОАО «Тюменский проектный и научно-исследовательский институт нефтяной и газовой промышленности им. В.И. Муравленко»// 28.04.2015.
4. ГОСТ 16555-75. Трансформаторы трехфазные герметичные масляные. Технические условия. - М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1980. - 32 с.: ил.

Научный руководитель: Н.М. Космынина, к.т.н., доцент ЭЭС ЭНИН ТПУ.

### **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО АДАПТИВНОЙ АВТОМАТИКИ РАЗГРУЗКИ ЭНЕРГОУЗЛА**

Ю.З. Васильева, А.О. Лубсанова, Р.Б. Абеуов  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ6К

В электроэнергетических системах (ЭЭС) эксплуатируется большое количество устройств аварийной разгрузки, осуществляющих отключение нагрузки (ОН) потребителей на подстанциях распределительной электрической сети по факту недопустимого изменения режимных параметров ( $f$ ,  $U$ ) или приёма внешнего сигнала ОН. К таким устройствам относятся: автоматическая частотная разгрузка (АЧР), автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН), устройства отключения нагрузки (УОН). Устройства аварийной разгрузки могут выполнять как одну, так и несколько функций противоаварийной автоматики.

В существующих устройствах аварийной разгрузки, эксплуатируемых в энергосистемах, отключаемые потребители жестко распределены по ступеням. Это приводит к тому, что при изменении мощности нагрузки различных потребителей меняется реальный объём ступени отключения нагрузки. Иногда объём одной и той же ступени в разное время суток, недели или года может отличаться в несколько раз. При этом за расчетный объём ступени, как правило, принимается минимально возможное значение. Как следствие, срабатывание устройств противоаварийной автоматики с действием на отключение нагрузки



приводит к её отключению в большем, чем требуется в реальных условиях, объеме [1].

Проведённые исследования показали, что основными недостатками существующих устройств аварийной разгрузки энергоузла являются:

- отсутствие контроля предшествующего режима работы ЭЭС и текущего значения мощностей отключаемых нагрузок;
- отсутствие возможности адаптации к изменениям основных режимных параметров энергосистемы (напряжение, частота) и нагрузки в энергоузле;
- жесткое распределение отключаемых потребителей по ступеням;
- избыточное действие при отключении нагрузки;
- низкий уровень избирательной способности.

Разработка многофункционального устройства адаптивной автоматики разгрузки энергоузла, определяющей объем отключения нагрузки на основании адаптации к её изменению, позволит исключить избыточное действие ПА при ОН.

Разрабатываемое устройство может работать как самостоятельно, так и в составе системы ПА в качестве исполнительного устройства.

Алгоритм работы такого устройства приведен на рисунке 1.

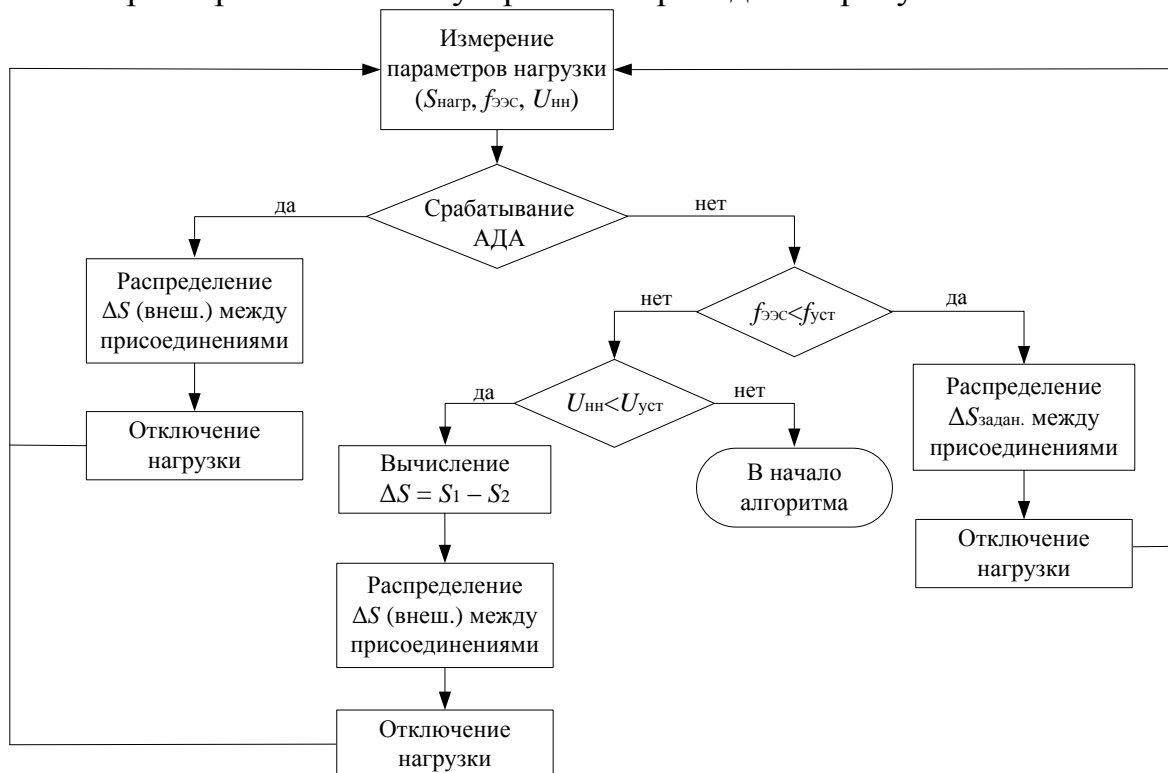


Рис. 1. Алгоритм работы многофункционального устройства адаптивной автоматики разгрузки энергоузла

Как видно, устройство действует на отключение нагрузки при наступлении одного из трех возможных событий: поступление сигнала ОН от внешнего устройства ПА; снижение частоты или напряжения ниже уставки срабатывания.

Если же ни одно из указанных событий не произошло, устройство находится в режиме ожидания.

Структурно-функциональная схема устройства приведена на рисунке 2.

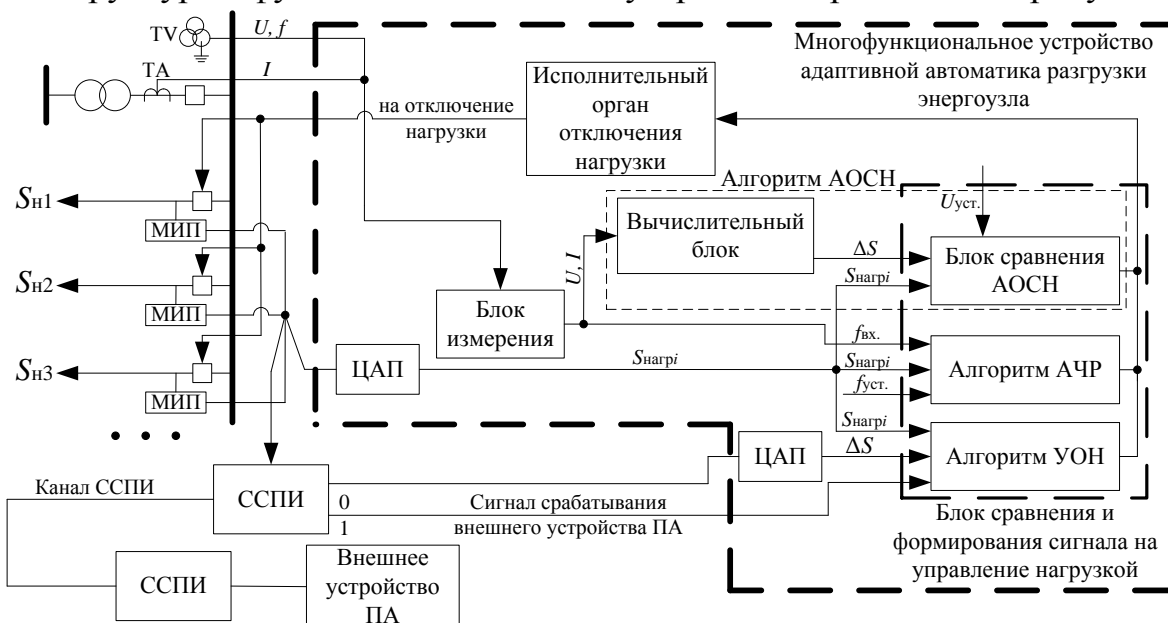


Рис. 2. Структурно-функциональная схема многофункционального устройства адаптивной автоматика разгрузки энергоузла

Структурно-функциональная схема устройства включает в себя следующие блоки:

- блок измерения;
- блок вычисления управляющих воздействий АОСН;
- блок сравнения и формирования сигнала на управление нагрузкой;
- исполнительный орган отключения нагрузки.

Перечисленные блоки в составе устройства, выполняют следующие функции:

- Блок измерения (БИ) производит непрерывное измерение уровня напряжения и частоты на шинах потребителя и значение тока, протекающего через вводной выключатель трансформатора.
- Блок вычисления управляющих воздействий АОСН определяет объём нагрузки, которую необходимо отключить, для обеспечения нормируемого значения напряжения в аварийных ситуациях, приводящих к его снижению.
- Блок сравнения и формирования сигнала на управление нагрузкой осуществляет сравнение текущих режимных параметров на входе алгоритмов с уставками срабатывания и рассчитывает объём отключения нагрузки. В случае превышения одним из режимных параметров уставки срабатывания алгоритма ПА, происходит формирование сигнала на отключение нагрузки в энергоузле.

Сигнал срабатывания поступает в исполнительный орган отключения нагрузки, осуществляющий отключение линейных ячеек потребителей.

Алгоритмы, входящие в состав устройства, работают следующим образом:

#### *Алгоритм АОСН*

При снижении напряжения ниже уставки блок вычисления управляющих воздействий АОСН рассчитывает объём полной мощности  $\Delta S$ , при отключении которого напряжение восстановится до нормированного значения. Рассчитанная мощность в блоке сравнения и формирования сигнала на управление нагрузкой сравнивается с мощностями нагрузок присоединений и их комбинациями, выбирается одна из комбинаций присоединений с учетом категории надежности электроснабжения, которая имеет самое близкое значение к  $\Delta S$ , и подается сигнал на отключение выбранных присоединений.

#### *Алгоритм АЧР*

При снижении частоты на шинах потребителя ниже уставки срабатывания алгоритм АЧР осуществляет отключение части нагрузки, соответствующей текущему отклонению частоты. При этом отключаемые присоединения подбираются таким образом, чтобы суммарный объём отключаемой нагрузки наиболее точно соответствовал заданному объёму нагрузки, подключаемому под действие АЧР на этой подстанции, с учетом категории надежности потребителей.

#### *Алгоритм УОН*

В случае приёма сигнала ОН от внешнего устройства ПА, алгоритм УОН осуществляет отключение части нагрузки в энергоузле. При этом отключаемые присоединения подбираются таким образом, чтобы суммарный объём отключаемой нагрузки наиболее точно соответствовал значению ОН ( $\Delta S$ ), полученному от внешнего устройства ПА.

Устройство работает следующим образом. Измеренные параметры от блока измерения, а также параметры, характеризующие значения полной мощности подключенных нагрузок от многофункциональных измерительных преобразователей (МИП), поступают в вычислительный блок и в блок сравнения и формирования сигнала на управление нагрузкой. В последний кроме этого от системы сбора и передачи информации (ССПИ) поступают сигнал на срабатывание и сигнал характеризующий величину отключения нагрузки при срабатывании внешнего устройства ПА.

По входным сигналам работает один из алгоритмов, в то время как действие других заблокировано.

Так, в случае приёма сигнала от внешнего устройства противоаварийной автоматики, алгоритм устройства отключения нагрузки осуществляет отключение нагрузки в энергоузле.

В случае снижения частоты в ЭЭС ниже уставки срабатывания, алгоритм АЧР осуществляет дозированное отключение части нагрузки в энергоузле в объёме, соответствующем текущему отклонению частоты и заданному объёму нагрузки, подключаемому под действие АЧР на данной подстанции.

В случае снижения напряжения в энергоузле ниже уставки срабатывания, алгоритм АОСН осуществляет отключение нагрузки в энергоузле в объёме, соответствующем текущему отклонению напряжения от нормируемого значения.

После срабатывания одного из алгоритмов исполнительный орган отключения нагрузки подает дискретные сигналы на отключение нагрузок с помощью выходных реле.

Если же сигналов на отключение нагрузки от внешнего устройства ПА не поступало, а режимные параметры находятся в допустимых пределах, то устройство находится в режиме ожидания, выполняя постоянный мониторинг режимных параметров и нагрузки.

Применение многофункциональных устройств адаптивной автоматики разгрузки энергоузла позволит осуществлять эффективное ограничение нагрузки потребителей в аварийных ситуациях, избегая при этом избыточного действия ПА.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. А.К. Ландман, А.Э. Петров, М.В. Данилов. Адаптивная система специальной автоматики отключения нагрузки как элемент Smart Grid // ИСУП. – 2014 г. – № 5. – С. 73-76.

Научный руководитель: Р.Б. Абеуов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

### **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И СИММЕТРИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ СТАТИЧЕСКОГО ТИРИСТОРНОГО КОМПЕНСАТОРА**

В.К. Фоменко

Томский политехнический университет,  
ЭНИН, ЭЭС, гр. 5А4А

Поддержание напряжения на требуемом уровне, а также симметрирование тока в электрической сети – одни из главных задач в электроэнергетике. Качество электроэнергии и ее потери напрямую зависят от того, насколько равномерно распределена нагрузка по фазам. Наличие неравномерности распределения нагрузки по фазам приводит к ухудшению условий работы трансформаторного оборудования, увеличению потерь и неравенству напряжений, требующего его пофазного регулирования в целях поддержания напряжения в допустимых пределах (нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения  $\delta U_{\text{у}}$  на выводах приемников электрической энергии равны соответственно  $\pm 5\%$  и  $\pm 10\%$  от номинального напряжения) [1].

При подключении различной нагрузки на фазы, в питающей сети возникает несимметрия напряжений и токов, которая выражается в неравенстве фазных/междуфазных напряжений и фазных токов по амплитуде, а также угол сдвига между фазами не равен  $120^\circ$ . Или если описывать в терминах метода

симметричных составляющих: возникают составляющие обратной и нулевой последовательности.

Различают два вида несимметрии: систематическую и вероятностную. Систематическая несимметрия обусловлена неравномерной постоянной перегрузкой/недогрузкой одной из фаз. При стабильном графике нагрузок снижение систематической несимметрии напряжений в сети может быть достигнуто выравниванием нагрузок фаз путем более равномерного перераспределения конечных потребителей по фазам. Вероятностная несимметрия соответствует непостоянным нагрузкам, при которых в разное время перегружаются разные фазы в зависимости от случайных факторов. Суть симметрирования сводится к компенсации тока и напряжения обратной и нулевой последовательностей.

Один из способов, позволяющих компенсировать как систематическую, так и вероятностную несимметрию, заключается в создании динамически изменяемых компенсирующих токов обратной последовательности. Это обеспечивается за счет батарей статических конденсаторов и тиристорно-реакторной группы, подключаемых в треугольник, и объединяемых в электроустановку, называемую статическим тиристорным компенсатором. Это устройство, может одновременно решить две задачи: регулирование напряжения с целью поддержания его на заданном уровне (компенсация реактивной мощности) и симметрирование.

Статический тиристорный компенсатор реактивной мощности (Static Var Compensator (SVC)) – поперечно-подключаемый статический источник или поглотитель реактивной мощности, обеспечивающий подпитку емкостным или индуктивным током для управления параметрами электроэнергетической системы (обычно напряжением на шинах).

#### Автоматическое регулирование напряжения

Автоматическое регулирование напряжения в рассматриваемой сети 220 кВ первоначально будем производить при симметричной нагрузке. Изменение напряжения в системе осуществляем с помощью источника с переменным значением напряжения.

Угол управления тиристором задаётся в интервале от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ , где  $180^\circ$  соответствует полностью закрытому тиристорному, а  $90^\circ$  – полностью открытому. Следовательно, для того, чтобы уменьшить напряжение на шине присоединения СТК, необходимо изменять угол от  $180^\circ$  к  $90^\circ$ . Минимальное напряжение будет при  $90^\circ$ . Тиристорно-реакторная группа (ТРГ) позволяет получить напряжение только ниже того, что было при  $180^\circ$ . Следовательно, для того, чтобы была возможность увеличивать напряжение, необходимо добавить конденсаторные батареи.

Логика автоматического управления напряжением следующая: оценивается разность между номинальным и текущим напряжением на шине присоединения. Если эта разность положительная, то угол открытия тиристорных увеличивается, а если разность отрицательная – уменьшается. Данные действия приводят к уменьшению абсолютного значения разности напряжений.

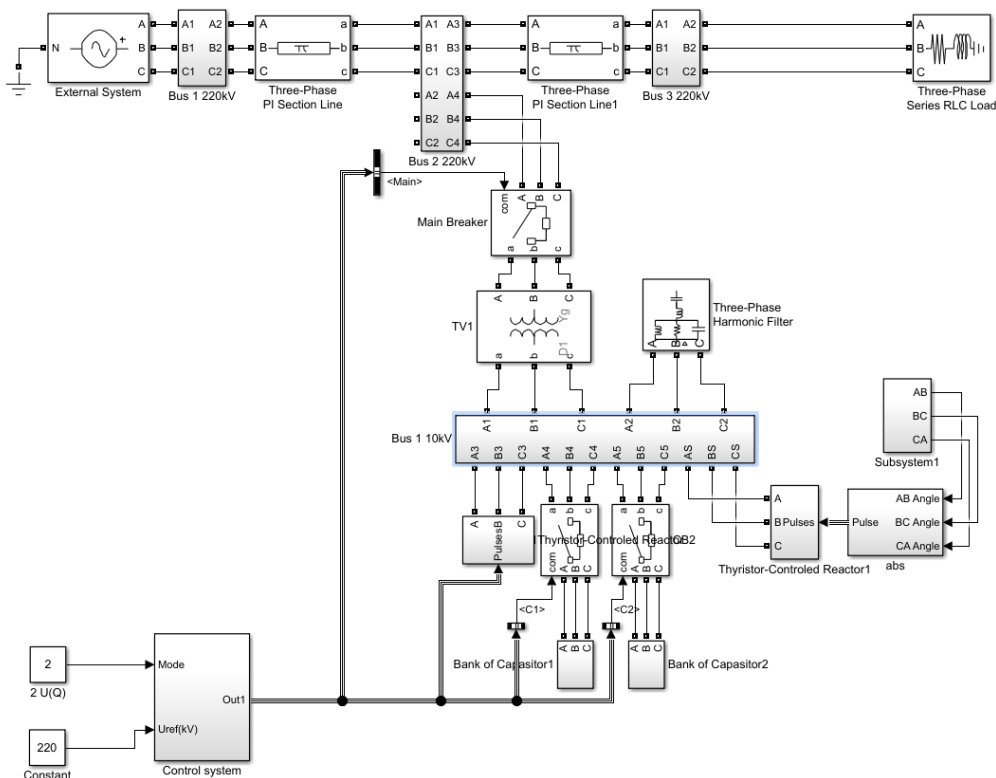


Рис. 1. Схема эксперимента

$$\text{if } (U_{\text{заданное}} - U_{\text{измеренное}}) > 0 \longrightarrow \text{angle} \uparrow$$

$$\text{if } (U_{\text{заданное}} - U_{\text{измеренное}}) < 0 \longrightarrow \text{angle} \downarrow$$

(1)

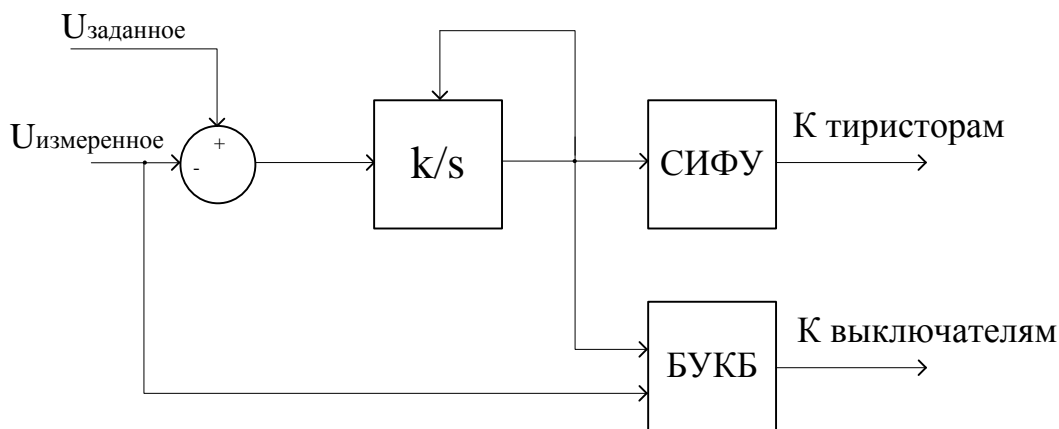


Рис. 2. Структурная схема системы автоматического управления  
Автоматическое симметрирование

При симметричной нагрузке токи в каждой фазе равны по амплитуде и сдвинуты относительно друг друга на  $120^\circ$ . Для автоматического управления углом управления ТРГ будет использован принцип равенства токов по амплитуде.

Для симметрирования используется три тиристорно-реакторных группы (ТРГ), соединённых в треугольник. Для создания несимметрии используем несимметричную междуфазную нагрузку.

Логика автоматического управления симметрирующего устройства схожа с описанной выше: оценивается разность амплитудного значения токов, протекающих по фазам ЛЭП.

$$\begin{cases}
\text{if } (|I_A| - |I_B|) > 0 \longrightarrow \text{angle} \downarrow \\
\text{if } (|I_A| - |I_B|) < 0 \longrightarrow \text{angle} \uparrow \\
\text{if } (|I_B| - |I_C|) > 0 \longrightarrow \text{angle} \downarrow \\
\text{if } (|I_B| - |I_C|) < 0 \longrightarrow \text{angle} \uparrow \\
\text{if } (|I_C| - |I_A|) > 0 \longrightarrow \text{angle} \downarrow \\
\text{if } (|I_C| - |I_A|) < 0 \longrightarrow \text{angle} \uparrow
\end{cases} \quad (2)$$

- Значения токов до симметрирования:  
 $I_a=48,8 \text{ A } (62^\circ)$ ;  $I_b=51,6 \text{ A } (313^\circ)$ ;  $I_c=58 \text{ A } (185^\circ)$ ;
- Значения токов после симметрирования:  
 $I_a=41,6 \text{ A } (60^\circ)$ ;  $I_b=41,2 \text{ A } (300^\circ)$ ;  $I_c=42 \text{ A } (180^\circ)$ ;
- Значения напряжений:  $U_{ab}=227 \text{ кВ}$ ;  $U_{bc}=226 \text{ кВ}$ ;  $U_{ca}=226 \text{ кВ}$

Автоматика успешно справляется с поставленной перед ней задачей – поддерживает напряжение в допустимых пределах  $220 \pm 11 \text{ кВ}$ , а также выравнивает токи в фазах при присоединении несимметричной нагрузки. Угол между токами также стал равен  $120^\circ$ .

#### Заключение

Разработанная система управления напряжением с функциями симметрирования нагрузки обеспечивает поддержание напряжения на номинальном уровне с допустимыми отклонениями и одновременно симметрирование токов, протекающих в сети. Особенность описанного метода заключается в том, что углы открытия тиристоров определяются разностью амплитудных значений токов. Преимуществом метода является простота логики и исполнения системы автоматического управления.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 18 с.

Научный руководитель: А.С. Васильев к.т.н., старший преподаватель каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКИБАСТУЗСКОЙ ГРЭС-2

А.В. Гармонов  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А4Б

Экибастузская ГРЭС-2 является одной из крупнейших электростанций Республики Казахстан, которая вырабатывает 15% электроэнергии в стране.

Строительство станции началось в 1979 году. Проектом, разработанным в 1983 году НотЭП, предусматривалось строительство 8 энергоблоков по 500 МВт. Первый энергоблок был введен в работу 25 декабря 1990 года, второй - 31 декабря 1993 года. Железобетонная дымовая труба, построенная в 1987 году, имея высоту 420 м, является самой высокой в мире и занесена в книгу рекордов Гиннеса. Диаметр трубы у основания 44 м, суммарная масса 60 тысяч тонн.

В конце 2005 года на базе Экибастузской ГРЭС-2 было создано совместное казахстанско-российское энергетическое предприятие. На данный момент собственниками станции являются: ОАО «ИНТЕР РАО ЕЭС»; АО «Самрук-Энерго». В ближайшие годы начнется строительство третьего энергоблока 500 МВт, что значительно усилит позиции предприятия. Активно производится демонтаж старого и установка современного оборудования.

Потребителями станции являются десятки предприятий Казахстана и России. Среди них АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы», космодром «Байконур», канал Иртыш-Караганда, Республика Алтай.

Два энергоблока вырабатывают 15% всей электроэнергии, производимой в республике. На данный момент станция сотрудничает с европейскими компаниями, поставляющими на станцию электрооборудование: «Alstom», «ABB», «Siemens». Высокозольный уголь поставляется из разреза «Богатырь».

Установленная мощность электростанции составляет 1000 МВт. На станции установлены турбогенераторы с водородно-водяным охлаждением, характеристики которых приведены в таблице 1.

Табл. 1.

Электрические характеристики турбогенераторов Экибастузской ГРЭС-2

Маркировка	Кол-во	$S_{\text{НОМ}}$	$P_{\text{НОМ}}$	$U_{\text{НОМ}}$	$\cos\varphi$	$I_{\text{НОМ}}$
		МВ·А	МВт	кВ		кА
ТВВ-500-2ЕУЗ	2	588,2	500	20	0,85	17

На рисунке 1 приведена структурная схема электростанции [1].

Экибастузская ГРЭС-2 имеет два открытых распределительных устройства (ОРУ 500 кВ, ОРУ 220 кВ) и два распределительных устройства собственных нужд электростанции (РУ с.н. 1, РУ с.н. 2).



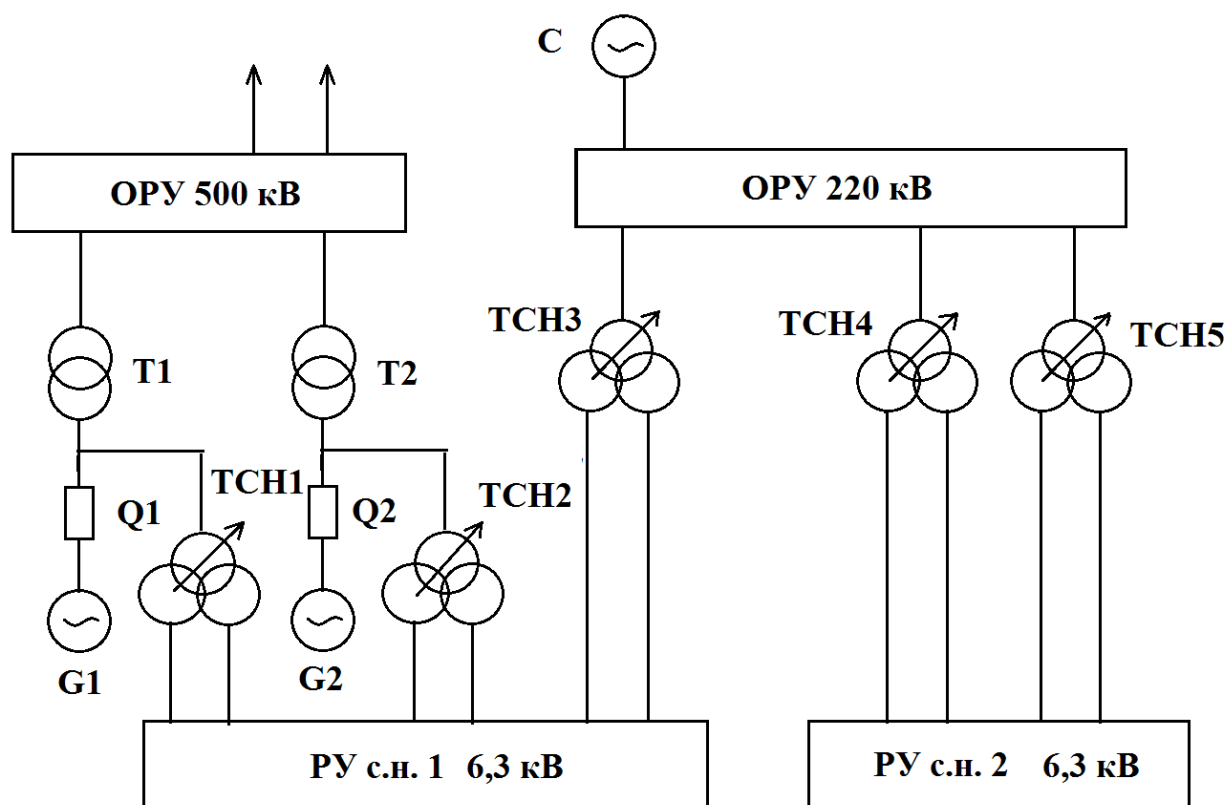


Рис. 1. Структурная схема Экибастузской ГРЭС-2

К ОРУ 500 кВ подключены два блока «генератор-двухобмоточный трансформатор с генераторным выключателем»; тип силовых трансформаторов ТЦ-630000/500 (трансформатор трехфазный с принудительной циркуляцией масла, охлаждаемого в маслоохладителях водой).

На ОРУ 500 кВ установлено следующее оборудование: НДЕ-500-72, ДФК-525 – трансформаторы напряжения; ТФЗМ-500, ТВТ-500-2000, СА-525 – трансформаторы тока; GL317-500 – колонковый элегазовый выключатель; РПД-500, РПДБ-500 – трехполюсный разъединитель высокого напряжения; DLTC 2000/0,2-40 кА – электротехническое устройство, устанавливаемое в разрыв фазного провода линии электропередачи и обладающее высоким сопротивлением на частоте работы канала ВЧ-связи и низким сопротивлением на промышленной частоте.

На ОРУ 220 кВ «Строительная-2» имеется связь с энергосистемой. Основное назначение ОРУ 220 кВ - распределение электроэнергии в посёлок и на распределительные устройства собственных нужд электростанции РУ с.н. 1 и РУ с.н. 2.

На ОРУ 220 кВ установлены НКФ-220-58У1 – трансформатор напряжения; ТФЗМ-220 – трансформатор тока; РВМГ-220-МУ1, РВО-10/700 – разрядник; РНД(3)-220/2000У1 – разъединитель; ВЗ-1250 – высокочастотный заградитель; ВВД-220-40 – выключатель воздушный повышенного давления.

ОРУ 220 кВ связано с РУ с.н. тремя трёхобмоточными трансформаторами собственных нужд ТСН3, ТСН4, ТСН5 типа ТРДН-40000/220.

В РУ с.н. используются НТМИ-6, НОМ-6-77УХЛ4 – трехфазный масляный трансформатор напряжения; ВМПЭ-10 – маломасляный выключатель.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Кожевников В.А. Альбом-справочник, технические решения и директивные документы Экибастузской ГРЭС-2. Новосибирск: Всесоюзный государственный ордена Ленина проектный институт "Теплоэлектропроект" Новосибирское отделение, 1981. 175 с.

Научный руководитель: Н.М. Космынина, к.т.н., доцент ЭЭС ЭНИИ ТПУ.

### **OPERATING CONDITIONS FOR CURRENT TRANSFORMERS IN TRANSITION MODES AND THEIR INFLUENCE ON RELAY PROTECTION**

A.V. Pavlova

National Research Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, Electric Power Engineering,  
Power Supply System Department, 5AM7Ч

Current transformers play an important role in the power system, because they allow controlling the parameters of the transmitted electricity, and install relay protection and automation devices in power transmission lines.

As in any other device, current transformers have losses. Because of this, not all of the primary current is transformed into a secondary circuit. These losses cause the current error. In addition, the current flowing in the secondary circuit is somewhat shifted to the phase relative to the primary current, which causes the angular error of the current transformer.

Basically, the losses depend on the state of the magnetic circuit of the transformer. While the iron core is not saturated, a directly proportional relationship exists between the primary and secondary currents. If an increase in the primary current, the degree of iron saturation of the magnetic circuit increases and the characteristic begins to deviate from the straight line. At the same time, as the load of the secondary circuit increases, the degree of change in the characteristic increases.

In Figure 1: 1-ideal characteristic, 2-real curve for the nominal load of the secondary circuit  $Z_{1n}$ , 3-real curve for a larger load of the secondary circuit  $Z_1 > Z_{1nom}$

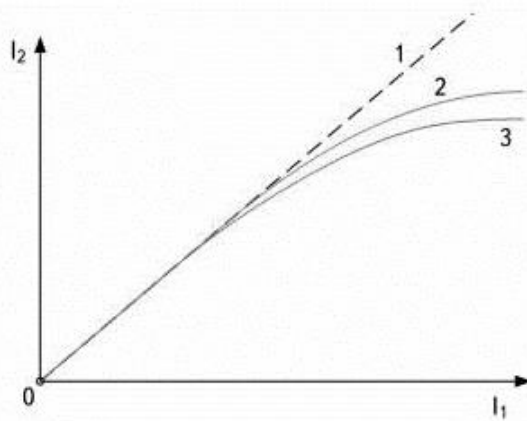


Fig. 1. Dependence of the secondary current on the primary in the CTs

Under the transition (dynamic, non-stationary) process or regime in electrical circuits is understood the process of transition of a chain from one steady state (mode) to another. Transient processes occur during any changes in the electrical circuit: when connecting and disconnecting the circuit, when the load changes, when emergency conditions occur (short circuit, wire break, etc.).

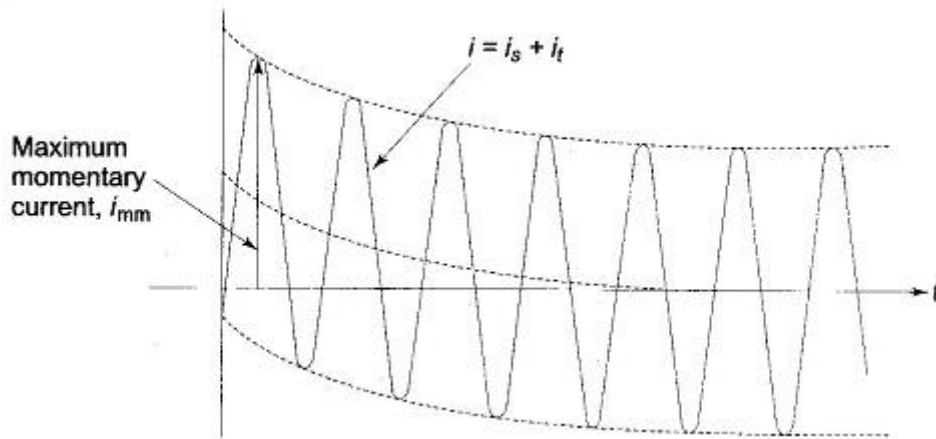


Fig. 2. Waveform of a short circuit current on a transmission line

The working conditions of the CTs in protection and automation devices differ significantly from the operating conditions in the measurement schemes. Current transformers intended for measurement have a certain accuracy class and operate in steady state mode with a primary current not exceeding the rated current. In relay protection and automation devices, current transformers must perform their functions at currents significantly higher than rated currents under transient conditions.

A special effect on the operation of the current transformer is provided by the aperiodic component of the primary current appearing in the transient mode. It is transformed into a secondary circuit of the transformer with a greater error, the slower they decay. In other words, as the decay time increases, an increasing proportion of the aperiodic component of the primary current is expended on magnetizing the current transformer magnetic circuit. Features at short circuits near to tires of powerful power stations.

Along with this, the permissible response time of relay protection and automation devices is reduced. Consequently, at the moment of operation of these devices, the aperiodic component of the magnetizing current is many times greater than its periodic component.

All this leads to the fact that the closed steel magnetic cores of current transformers are subject to strong saturation with aperiodic current components and, consequently, to a sharp decrease in their magnetic permeability. This leads to an unacceptable increase in the errors of such current transformers in transient modes. Particularly large errors occur when a residual magnetic flux of the aperiodic component of the magnetizing current is retained in the magnetic circuit of the current transformer.

It should be borne in mind that it is much more difficult to provide the necessary accuracy of the operation of CTs in transient regimes than in established ones. To improve the performance characteristics of CTs in steady-state and transient modes allows the use of new methods for constructing CTs (for example, optoelectronic CTs), and by using the following methods of limiting errors:

- creating paths for the aperiodic component of the primary current in addition to the CT magnetization branch;
- increasing the magnetic permeability of the magnetic circuit in saturation mode;
- elimination or reduction of residual induction in the magnetic circuit;
- Limiting the maximum working induction in the CT magnetic core and reducing the magnetic permeability.

In the transient process, the transformer begins to operate in saturation mode, i.e. When the magnetizing current grows much faster than the working magnetic flux. There are several ways to combat the residual magnetization of the core, as with one of the main causes of saturation.

One of the methods is the use of current transformers with cores without steel having linear properties. But the use of such current transformers can be very limited, due to the low power of the secondary windings. The second method (the most common) is the production of cores made of electrical steel having non-magnetic gaps. This method, in comparison with the use of cores without steel, allows the construction of smaller cores. However, in Russia, current transformers with such cores have not been manufactured and are not manufactured.

## **ВОПРОСЫ ВНЕДРЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ**

Р.С. Атакишиев

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС, группа 5АМ6Б

Внедрение микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) в настоящее время вызывает ряд вопросов у специалистов, работающих в области энергетики.

Несмотря на то, что МУРЗ обладают огромными преимуществами по сравнению с, например, электромеханическими защитами, также существуют и проблемы при их внедрении и использовании. В частности, в [1] отмечается, что реконструкция релейной защиты и автоматики уже существующего объекта занимает довольно продолжительное время. Кроме того, в этот период, созда-

ются определенные неудобства для персонала, т.к. наряду с устаревшими защитами используются микропроцессорные. Также, при использовании МУРЗ, многократно усложняется процедура передачи информации персоналом РЗА диспетчеру.

В [2] вообще ставится под сомнение целесообразность использования МУРЗ. Приводятся, в частности, следующие аргументы:

- высокая стоимость МУРЗ,
- возможность хакерских атак,
- отсутствие универсальных блоков МУРЗ (в случае необходимости их замены),
- недостатки критериев оценки надежности МУРЗ.

Как показывает анализ [3-5], учет скрытых отказов при оценке надежности МУРЗ является актуальным для специалистов всего мира. Самодиагностика МУРЗ в ряде случаев не позволяла обнаружить скрытый отказ защиты, что приводило к аварийным ситуациям. Согласно статистическим данным [6], на 2013 год показатель правильной работы МУРЗ - 99,12%, для электромеханических – 99,27%. Отказы обусловлены в первую очередь ошибками изготовления – 22% и монтажа – 30,5%.

В дальнейшем планируется расчет показателей надежности устройств МУРЗ по статистическим данным российских и зарубежных компаний и их анализ.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Дорохин Е.Г. Некоторые проблемы реконструкции РЗА. // Релейная защита и автоматизация. - 2011. - №4. - С. 46-50.
2. Гуревич В.И. Проблемы микропроцессорных устройств релейной защиты: кто виноват и что делать? // Технические и программные средства автоматизации: Релейная защита. - 2010. - №3(8). - С. 36-45.
3. Lili ZHAO, Xueming LI, Ming NI, Tianyu LI, Yameng CHENG Review and prospects of hidden failure: protection system and security and stability control system // Journal of Modern Power Systems and Clean Energy. – 2015. - P. 1-9
4. D. C. Elizondo; J. de La Ree; A. G. Phadke; S. Horowitz Hidden failures in protection systems and their impact on wide-area disturbances // 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conf. Proc. - 2001. - P. 710 - 714 vol.2
5. Xiang Gao and James S. Thorp, Case Studies: Designing Protection Systems That Minimize Potential Hidden Failures // 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers College Station, Texas April 8–11. – 2013. - P. 7-17.
6. Захаров О.Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки – М.: Инфра-инженерия. - 2014. - 128 с.

Научный руководитель: Л.В. Кривова, к.т.н., доцент кафедры ЭЭС ЭНИН ТПУ.

# АДАПТИВНАЯ ДЕЛИТЕЛЬНАЯ АВТОМАТИКА ДЛЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Д.К. Кривоногова<sup>1</sup>, А.Ю. Митрофаненко<sup>1</sup>, Р.Б. Абеуов<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ6Г<sup>1</sup>

В последние несколько лет к распределительным сетям электроэнергетических систем (ЭЭС), обеспечивающим электроснабжение нефтегазовых месторождений, стали активно подключаться ранее работающие автономно энергорайоны имеющие в своём составе электростанции малой мощности (ЭСММ), основу которых составляют газотурбинные и газопоршневые агрегаты.

Анализ опыта эксплуатации ЭСММ, в составе автономно работающих энергорайонов показал, что их подключение к электрическим сетям ЭЭС, сопряжено с появлением целого ряда, требующих решения задач [1].

В настоящее время в качестве основных способов решения большинства из этих эксплуатационных задач наиболее широко применяются: отключение нагрузки, отключение генераторов и деление сети.

Проведённые исследования показали, что наиболее эффективным способом обеспечения надёжной работы ЭСММ, а также бесперебойного электроснабжения потребителей энергорайонов, в которых они эксплуатируются, при возникновении системных аварий в ЭЭС может быть деление сети [1]. Однако, анализ эффективности существующих устройств делительной автоматики (ДА) показал, что эксплуатируемые в настоящее время устройства ДА являются неадаптивными и осуществляют выделение энергорайона с ЭСММ по факту изменения какого-либо из режимных параметров ЭЭС, без текущего контроля режима, выделяемого на изолированную работу энергорайона. Такое отделение энергорайона от ЭЭС, как правило, сопровождается изменением частоты  $f$  и напряжения  $U$  в нём, и последующим отключением генераторов ЭСММ.

Разработка адаптивной делительной автоматики (АДА), позволит повысить эффективность выделения энергорайонов с ЭСММ на изолированную работу. При этом устройство АДА, должно соответствовать требованиям:

- функциональный состав АДА должен осуществлять эффективное выделение энергорайона с ЭСММ на изолированную работу, при различных аварийных ситуациях в ЭЭС;
- все функциональные блоки устройства должны размещаться в одном шкафу;
- устройство должно иметь возможность контроля режимных параметров энергорайона, как до, так и после его отделения от ЭЭС;
- устройство должно иметь возможность измерения потребляемых и вырабатываемых мощностей на подстанциях потребителей и объектах генерации энергорайона;

- устройство должно иметь достаточное количество аналоговых входов и дискретных входов/выходов, также отвечать всем требованиям, предъявляемым в настоящее время к устройствам РЗ и ПА.

В устройстве АДА должно быть обеспечено выполнение следующих функций:

- Непрерывное измерение текущих режимных параметров энергосистемы и энергорайона с ЭСММ;
- Непрерывный расчёт объёмов управляющих воздействий (УВ) и их передача на подстанции энергорайона с ЭСММ;
- Выдача команд на отключение нагрузок (ОН) и передача информации об объёмах УВ на подстанции энергорайона, при его отделении от энергосистемы, с последующим контролем их реализации через ССПИ.

АДА должна обеспечивать решение следующих задач:

- Выделение энергорайона с ЭСММ на изолированную работу, при аварийных снижениях  $f$  и/или  $U$  в энергосистеме с сохранением устойчивой работы генераторов ЭСММ;
- Сохранение электроснабжения ответственной двигательной нагрузки энергорайона с ЭСММ, при его выделении на изолированную работу.

Для решения перечисленных задач устройство АДА должно удовлетворять современным техническим требованиям быстродействия и адаптивности.

Устройство АДА должно быть построено по принципу, когда определение объёма управляющих воздействий и их выдача на подстанции энергорайона, при его отделении от энергосистемы должны осуществляться на основании оценки текущих параметров режима ЭЭС и энергорайона с ЭСММ. Этот способ аналогичен системе управления с обратной связью, работающей по принципу непрерывного сравнения фактического состояния с требуемым [2].

Быстродействие устройства обеспечивается тем, что величина УВ определяется до возникновения аварийного режима и соответственно до реализации команды ДС, при этом формирование УВ и выдача команды на ОН, осуществляется в момент ДС.

Требование адаптивности устройства, выполняется за счет автоматического перерасчета УВ в зависимости от полученной информации о параметрах энергорайона с ЭСММ и энергосистемы в режиме реального времени, и обработке её в доаварийном режиме, что позволяет производить отключение необходимого объёма нагрузки на подстанциях энергорайона, исключив тем самым избыточное отключение нагрузки.

Устройство АДА в общем случае должно иметь в своём составе пусковые органы, измерительный и вычислительный блоки, а также блок распределения управляющих воздействий.

На рисунке 1 показана схема функциональных связей устройства АДА.

АДА действует при включенном выключателе  $Q1$  на его отключение от пускового органа (ПО), при снижении частоты  $f$  или напряжения  $U$ .

В измерительном блоке (ИБ) должно осуществляться измерение основных режимных параметров ( $f$ ,  $U$ ) на шинах ЦП энергосистемы, а также активной и реактивной мощностей, отпускаемых в энергорайон с шин ЦП. Также необходим контроль потребляемых и вырабатываемых мощностей на подстанциях потребителей и объектах генерации энергорайона, что обеспечивается интеграцией АДА с системой сбора и передачи информации (ССПИ) энергорайона.

Следует отметить, что данный блок должен работать, как с аналоговой (измеренные величины от  $TV$  и  $TA$ ), так и с цифровой (сигналы от ССПИ) информацией.

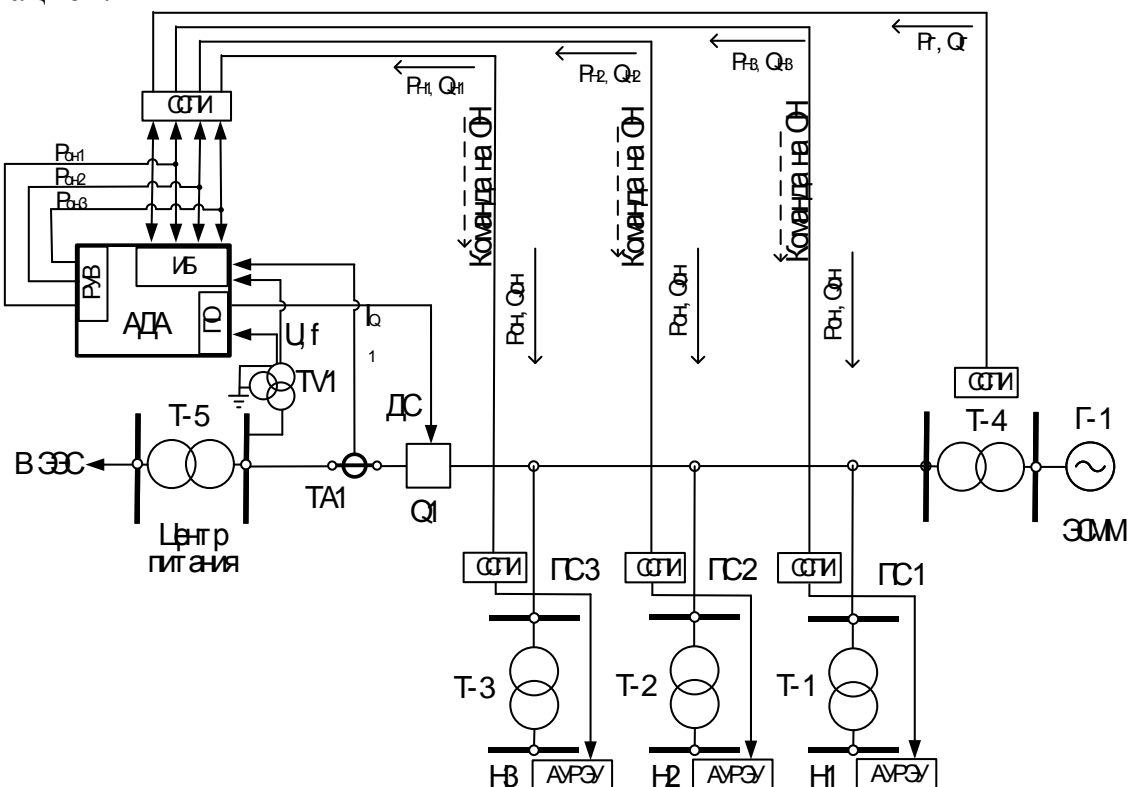


Рис. 1. Схема функциональных связей устройства АДА

Основным отличием АДА от существующих устройств ДА, является наличие вычислительного блока (ВБ). Вычислительный блок, должен непрерывно производить расчёт объёмов УВ по данным текущих измерений режимных параметров энергосистемы и энергорайона с ЭСММ (до и после отделения на изолированную работу), передавать его в блок распределения управляющих воздействий (БРУВ) с последующей переадресацией в устройства ССПИ и в автоматические устройства разгрузки энергоузла (АУРЭУ), установленные на подстанциях ПС1, ПС2 и ПС3 энергорайона (рисунок 1).

Распределение УВ между подстанциями должно происходить пропорционально измеренным значениям мощностей нагрузок потребителей. Для оптимального распределения УВ между подстанциями энергорайона в алгоритме расчета УВ, также должен использоваться коэффициенте участия нагрузки подстанции в общем потреблении энергорайона.

На рисунке 2 представлена структурная схема иллюстрирующая принцип действия устройства АДА.



Устройство работает следующим образом. При возникновении аварийной ситуации в ЭЭС, приводящей к недопустимому снижению  $f$ , либо  $U$ , установленный на шинах центра питания ПО устройства АДА, по факту снижения  $f$  или  $U$  ниже уставки срабатывания, формирует команды на ДС и ОН. Одновременно с этим, на основании последних измеренных ИБ параметров, в ВБ рассчитываются объёмы УВ на отключение части нагрузок Н1, Н2, Н3 (Рисунок 1).

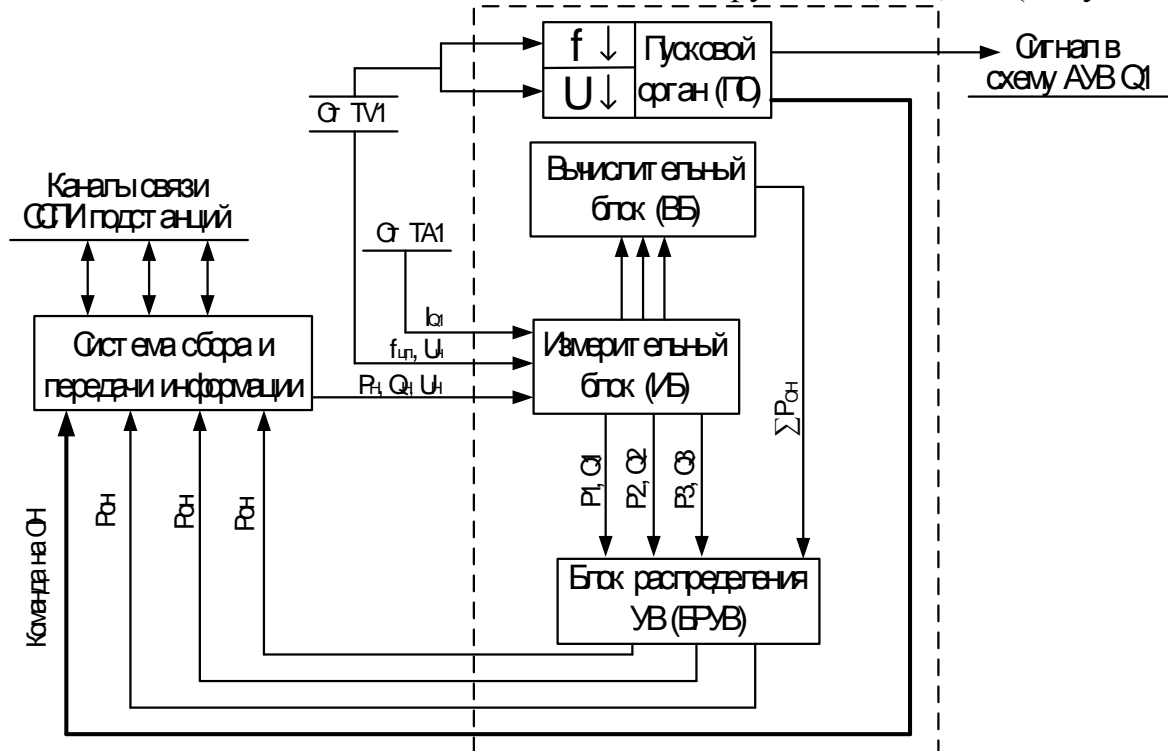


Рис. 2. Структурная схема адаптивной делительной автоматики

БРУВ производит распределение объёмов УВ по подстанциям энергорайона и передаёт их в АУРЭУ. АУРЭУ, реализуют УВ только при поступлении в них команд ОН от ПО. В других случаях автоматика находится в режиме ожидания.

Фактически, на момент выделения энергорайона, производится отключение нагрузки, для создания нового баланса мощности в изолированном районе.

Разработка и внедрение адаптивного устройства делительной автоматики позволит существенно повысить эффективность выделения энергорайонов с ЭСММ на изолированную работу и в целом надёжность электроснабжения энергорайонов с ЭСММ в аварийных ситуациях, приводящих к недопустимому снижению основных режимных параметров ЭЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Д.К. Кривоногова, Р.Б. Абеуов. Разработка общих принципов построения и требований к функциональному составу устройства делительной автоматики для энергорайонов с электростанциями малой мощности // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы IV российской молодежной научной школы-

конференции, 1-3 ноября 2016 г., Томск в 2 т. / ТПУ. – 2016. – Т. 2. – С. 225-228.

2. Б.И. Иофьев Автоматическое аварийное управление мощностью энергосистем. – М.: Энергия, 1979. – 415 с.

Научный руководитель: Р.Б. Абеуов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

## **ПЛАЗМЕННЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ЦИНКА И СПЕКАЮЩЕЙ КЕРАМИКИ НА ЕГО ОСНОВЕ – ДЛЯ ОПН**

А.С. Крыгин

Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПП, 5АМ6К

### Введение

Существует проблема в электроэнергетике, такая как, защита от перенапряжения электрооборудования.

Широко известно, что оксид цинка является многообещающим материалом из-за его свойств, таких как высокая подвижность электронов, хорошая прозрачность, широкая запрещенная зона, сильная люминесценция [1].

На данный момент много способов получения оксидов цинка, для варисторов.

В данной статье будет описан метод создания керамики, для варисторов, на основе оксида цинка, на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя. Основными преимуществами этого способа получения порошков являются высокая скорость процесса и высокая чистота выхода синтезированного продукта с требуемой структурой и размером частиц.

Свойства оксида цинка напрямую зависят от его структуры, морфологии, соотношения сторон, размера и ориентации частиц.

Кроме того, за исключением структуры материала, важным фактором является размер частиц. Для создания керамики с высокой плотностью необходимо ввести частицы меньшей фракции в микрон или субмикронный порошок.

Изучение плотности полученной керамики показало высокую плотность до 99%.

### Экспериментальная часть

В статье представлена схема и принцип работы коаксиального магнитоплазменного ускорителя с цинковыми электродами [2-3], в котором синтезирован нанодисперсный порошок оксида цинка.

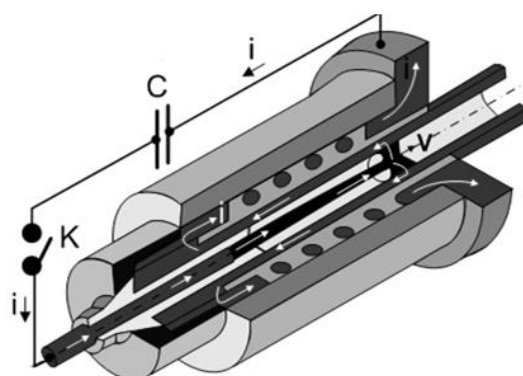


Рис. 1. Схема, устройство и принцип действия коаксиального магнитоплазменного укорителя

После сбора продукта плазмодинамического синтеза спекание проводилось на установке спекания искровой плазмы Advanced Technology SPS 10-4.

Полученные результаты

### 3.1. Исследование продукта динамическим методом плазмы

Экспериментально установлено, что почти чистый кристаллический оксид цинка ZnO в этих условиях образуется при объемной концентрации кислорода O<sub>2</sub> в газовой смеси более 80%. Об этом свидетельствует картина XRD исходного продукта, показанная на рисунке 2. Рентгеновский анализ показал близость синтезированного порошка к структурной модели ZnO пространственной группы гексагональной кристаллической системы P63mc.

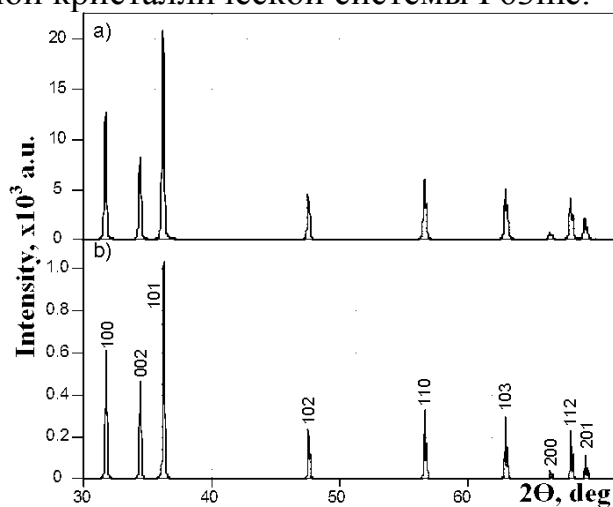


Рис. 2. Типичные рентгеновские дифрактограммы (XRD-картины) а) для продукта плазмодинамического синтеза Zn-O, б) структурная модель гексагонального оксида цинка

### 3.2 Исследование SPS-керамики на основе продукта плазмодинамического синтеза

Для получения качественной керамики с микронной и субмикронной структурой передовым методом искрового плазменного спекания (SPS) необходимо введение в основной микронный или субмикронный порошок более мелкой фракции в массовом количестве до 45%.

В порошках плазмодинамического синтеза это условие выполняется автоматически при равномерном распылении нанодисперсной фракции в общей

массе. При компактировании мелкая фракция заполняет пространство между более крупными частицами, обеспечивая получение высокоплотной керамики.

Измеренная гидростатическим методом плотность материала полученной прессовки составила  $\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$  (80%), что говорит о его высокой пористости. Приведенные на рисунке 6 SEM-снимки скола показывают высокую неоднородность структуры объемного материала (рисунок 6а).

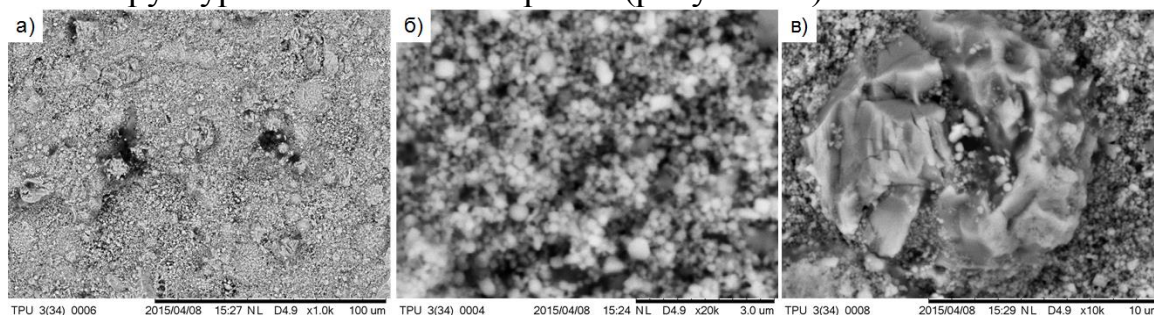


Рис. 6. SEM-снимки скола поверхности объемного материала  
а)  $\times 1.0\text{k}$ , б)  $\times 20.0\text{k}$ , с)  $\times 10.0\text{k}$

Анализ результатов первых экспериментов по SPS-компактированию ультрадисперсных порошков ZnO плазгодинамического синтеза показал необходимость их дезагломерации и оптимизации режима нагрева протекающего по прессовке тока. В связи с этим перед следующим экспериментом продукт плазгодинамического синтеза ZnO был подвергнут термической обработке в воздухе при температуре  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 1 часа с последующей обработкой в шаровой мельнице (корундовый тигель и шар) при 30 минутах. Процесс SPS также проведен в графитовой прессформе при постоянном давлении 50 МПа.

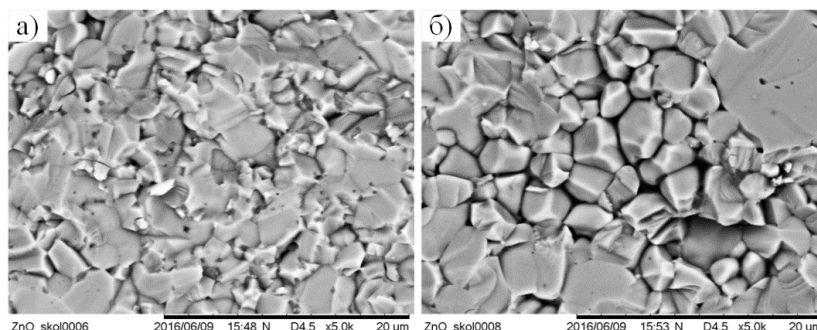


Рис. 7. SEM-снимки микроструктуры полученной SPS-керамики  
а, б) поперечный скол образца

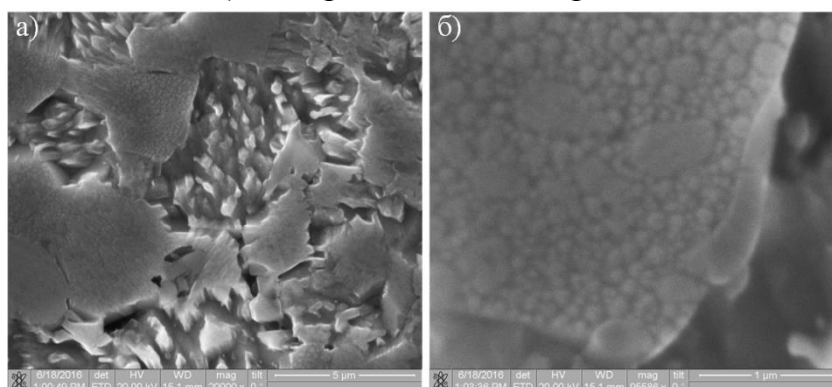


Рис. 8. SEM-снимки шлифа протравленной поверхности SPS-керамики

## Заключение

В ходе проделанной работы был получен оксид цинка, на основе которого была получена керамика, что в последствие, планируется применить для варисторов, используемых как ОПН.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Duong, T. T., Do, Q. N., Pham, A. T., & Nguyen, D. C. (2016). A facile nonaqueous solution approach to controlling the size of ZnO crystallites and predominant {0001} facets. *Journal of Alloys and Compounds*, 686, 854-858.
2. Sivkov, A., Pak, A., Shanenkov, I., Kolganova, Y., & Prosvirin, I. (2014). Effect of energy on plas-modynamic synthesis product in the carbon-nitrogen system. In *Advanced Materials Research* (Vol. 880, pp. 36-41). Trans Tech Publications.
3. Sivkov, A., Shanenkova, Y., Saigash, A., & Shanenkov, I. (2016). High-speed thermal plasma deposition of copper coating on aluminum surface with strong substrate adhesion and low transient resistivity. *Surface and Coatings Technology*, 292, 63-71.

Научный руководитель: А.А. Сивков, д.т.н., профессор каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА ДЛЯ ГОЛЫХ ПРОВОДНИКОВ

З.Б. Хужина, А.В. Варганова

Магнитогорский государственный технический университет

*Разработана методика для расчета величины экономической плотности тока, позволяющая учитывать фактор надежности электроснабжения. Получены новые значения экономической плотности тока для сталеалюминевых проводников напряжением 35 и 110 кВ.*

*Ключевые слова: экономическая плотность тока, выбор сечения, сталеалюминевые провода. (Ключевые слова)*

Самый выгодный вариант при выборе сечения проводников определяется по минимуму приведенных затрат. В формулу для расчета затрат включим среднегодовой ущерб из-за недоотпуска электрической энергии. Формула для расчета приведенных затрат будет выглядеть следующим образом:

$$Z = p_n \cdot K + И + У, \quad (1)$$

$$Z(F) = (a + bF) \cdot (a_a + p_n) \cdot l + 3I_{нб}^2 \cdot \frac{\rho \cdot l}{F} \cdot (\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi), \quad (2)$$

где  $p_n=0,12$  - нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, 1/год;  $K$  – единовременные капитальные вложения, необходимые для сооружения сети, руб.;  $I$  – ежегодные эксплуатационные расходы, руб./год;  $У$  – ущерб от перерыва в электроснабжении, руб.;  $a$  – капитальные вложения в 1 км линии, не зависящие от сечения, т.е. это затраты на подготовку просеки, на дороги, осушение болот и т.д., руб./км;  $b$  – часть удельных капитальных вложений, пропорциональная сечению провода, руб./(км·мм<sup>2</sup>) (стоимость металла, опор, арматуры);  $F$  - сечение проводника, мм<sup>2</sup>;  $a_a$  - ежегодные отчисления на амортизацию и текущий ремонт линии в относительных единицах, 1/год;  $l$  – длина линии, км;  $I_{нб}$  – наибольший рабочий ток линии, А;  $\rho = 0,0315$  Ом·мм<sup>2</sup>/м – удельное сопротивление материала провода (для алюминиевого);  $\beta=2,82$  руб./кВт·ч – стоимость потерь электроэнергии;  $\tau$  – время наибольших потерь, ч, т.е. время, за которое при работе с наибольшей нагрузкой потери электроэнергии за год те же, что и при работе по реальному графику нагрузок;  $y_0$  - удельный ущерб от перерыва электроснабжения,  $y_0 = 18,3$  руб./кВт·ч;  $T_B$  - среднее время восстановления, ч.;  $\cos\varphi=0,9$ .

Из этого выражения выводим сечение проводника:

$$F_{\text{ЭК}} = I_{\text{нб}} \sqrt{\frac{3(\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi) \cdot \rho}{b \cdot (a_a + p_n)}}. \quad (3)$$

Получим выражение для расчета экономической плотности тока с учетом фактора надежности, как отношение наибольшего протекающего в линии тока к экономическому сечению:

$$J_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{нб}}}{F_{\text{ЭК}}} = \sqrt{\frac{b \cdot (a_a + p_n)}{3(\tau \cdot \beta + y_0 \cdot T_B \cdot \cos \varphi) \cdot \rho}}. \quad (3)$$

В качестве примера приведем расчеты величин экономической плотности тока проводов АС для Западной Сибири с числом часов использования максимума нагрузки 2000 ч. В табл. 1 представлены результаты расчета величин экономической плотности тока.

Табл. 1.

Значение экономической плотности тока  $J_{\text{ЭК}}$  для проводников типа АС для Западной Сибири, А/мм<sup>2</sup>

Тип проводника	Число часов использования максимума нагрузки, ч		
	1000-3000	3000-5000	5000-8760
6-10 кВ			
- на металлических опорах	2,0	2,0	1,991
- на железобетонных опорах	1,853	1,847	1,836
35 кВ			
- на металлических опорах одноцепные	0,969	0,968	0,966
- на металлических опорах двухцепные (одна отключена)	1,288	1,286	1,281

Тип проводника	Число часов использования максимума нагрузки, ч		
- на металлических опорах двухцепные (две отключены)	0,928	0,927	0,926
- на железобетонных опорах одноцепные	0,937	0,936	0,934
- на железобетонных опорах двухцепные (одна отключена)	1,004	1,003	1,001
- на железобетонных опорах двухцепные (две отключены)	0,882	0,881	0,880
- на деревянных опорах одноцепные	1,026	1,025	1,023

На основании разработанного подхода по определению величин экономической плотности тока разработана методика, позволяющая определить экономически целесообразные сечения проводников, блок-схема которой приведена на рис. 1.

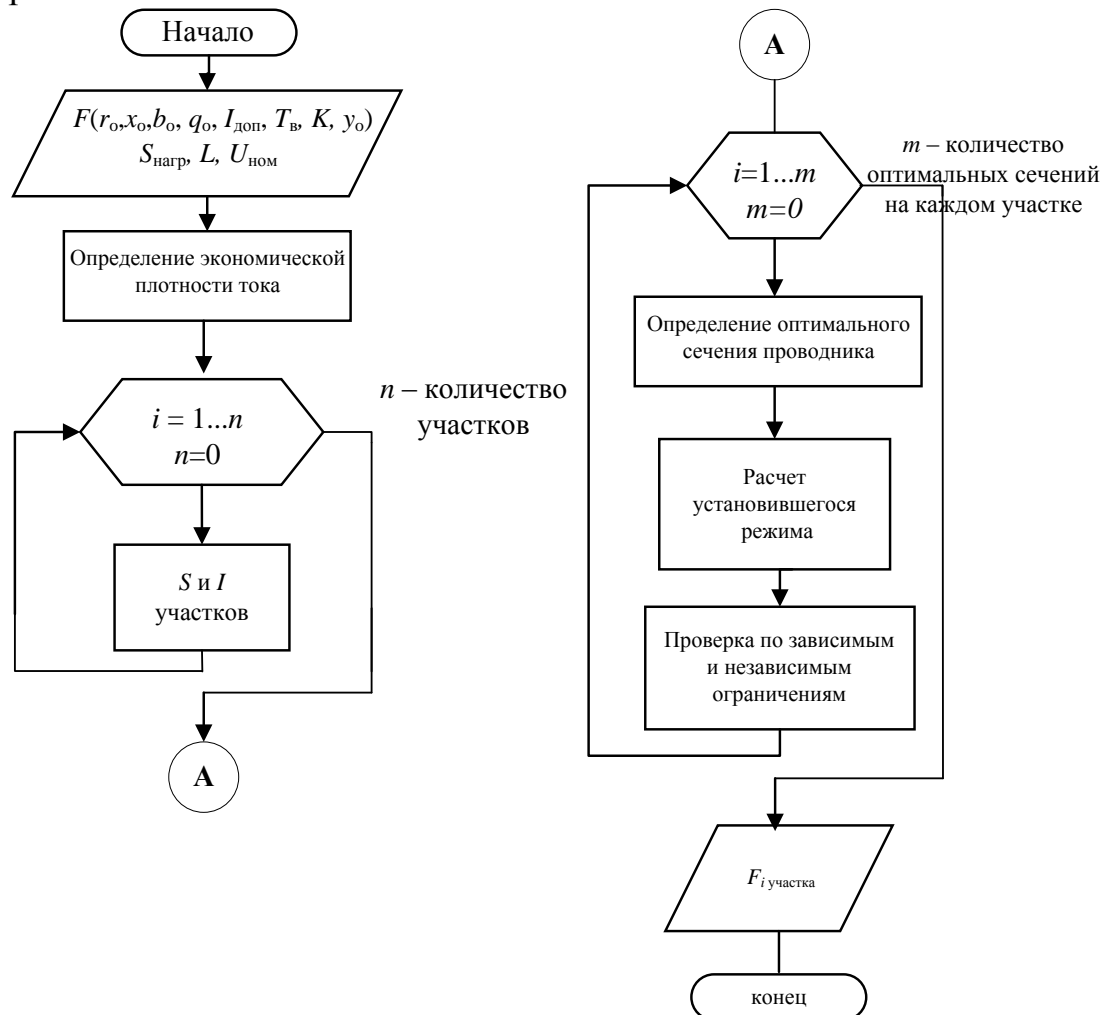


Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения экономически целесообразных сечений проводников

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
2. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). Электротехнический справочник. Производство, передача и распределение электрической энергии. 10-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 964 с.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 9-й выпуск. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-379-01452-0.
4. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети [Текст] / В.И. Идельчик // М.: Энергоатомиздат, -1989. -592с.

Научный руководитель: А.В. Варганова, к.т.н., доцент каф. ЭиАС МГТУ им. Г.И. Носова.

## ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ УСТАНОВОК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ю.Н. Булатов<sup>1</sup>, А.В. Крюков<sup>2,3</sup>, Нгуен Ван Хуан<sup>3</sup>

Братский государственный университет<sup>1</sup>

Иркутский государственный университет путей сообщения<sup>2</sup>

Иркутский национальный исследовательский технический университет<sup>3</sup>

**Введение.** Использование установок распределённой генерации (РГ) особенно актуально при модернизации систем электроснабжения (СЭС), удалённых от сетевой инфраструктуры. В централизованных СЭС применение установок РГ позволяет разгрузить основную сеть, повысить надёжность электроснабжения и улучшить качество электроэнергии [1, 2]. Большой интерес представляют установки РГ, работающие на основе синхронных турбо и гидрогенераторов. Однако внедрение таких установок требует решения задачи определения оптимальных настроек автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧВ), что связано с трудоёмкими расчётами большого числа взаимосвязанных параметров. Кроме этого повышение качества регулирования в значительной степени ограничивается инерционностью действующего объекта, изменить характеристики которого не представляется возможным. Однако повышение качества регулирования возможно путём совершенствования системы управления.

В условиях ускоренного ввода в эксплуатацию установок РГ, работающих на основе синхронных генераторов с АРВ и АРЧВ, возможен подход, обеспечивающий настройку регуляторов с помощью одного параметра. Для этого предлагается перейти от регулирования по текущему значению ошибки  $\varepsilon(t)$  к управлению, предполагающему вычисление прогноза  $\varepsilon(t + \Delta t)$ . Регулятор, управляющий объектом по величине  $\varepsilon(t + \Delta t)$ , назван в [3] прогностическим. В



данной работе в типовой линейный закон регулирования вводится дополнительное звено – элемент прогнозирования, что позволяет с минимальными затратами усовершенствовать существующие классические АРВ и АРЧВ и на этапе оперативного ввода в эксплуатацию отказаться от процедуры поиска оптимальных параметров этих регуляторов [4].

Ниже рассмотрены прогностические АРВ и АРЧВ синхронных генераторов установки РГ, работающей в системе электроснабжения железной дороги (СЭЖД) и исследовано их влияние на качество управления напряжением и частотой при изменении режима работы СЭС.

### **Прогностические регуляторы синхронных генераторов установок РГ.**

Прогностический регулятор включает в себя два сегмента [3, 4]: регулятор с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом регулирования и предвключенный элемент прогнозирования. Простой линейный прогноз может быть реализован по двум значениям регулируемой величины – текущему  $y(t)$  и предыдущему  $y(t - \Delta t)$ ; при этом передаточная функция прогнозирующего звена (ПЗ) определяется так [3, 4]:

$$W_{for}(s) = T_p s + 1, \quad (1)$$

где  $T_p$  – постоянная времени линейного прогнозирующего звена (время прогноза);  $s$  – оператор Лапласа.

Таким образом, возникает задача определения постоянной времени ПЗ для конкретного объекта регулирования. В работе [4] представлены структурные схемы прогностических АРВ и АРЧВ и описана методика их настройки, основанная на определении частоты собственных колебаний системы.

Принимая во внимание результаты выполненных исследований, а также то, что современные быстродействующие тиристорные системы возбуждения генераторов позволяют поддерживать в нормальных режимах работы напряжение у генератора практически неизменным, целесообразно в отличие от АРВ изменять постоянную времени прогнозирования АРЧВ при вариации режима работы генератора и получить автопрогностический АРЧВ.

**Моделирование и анализ результатов исследования.** Моделирование осуществлялось в среде MATLAB применительно к структурной схеме СЭЖД, показанной на рис. 1. Моделировался отдельный район электроснабжения нетяговых потребителей, включающий два параллельно работающих генератора, питающих группу нагрузок с суммарной мощностью 5,55 МВ·А, объединённых в сетевой кластер, выполненный на основе вставки постоянного тока (ВПТ). Мощность каждого генератора установки РГ равнялась 3 МВ·А.

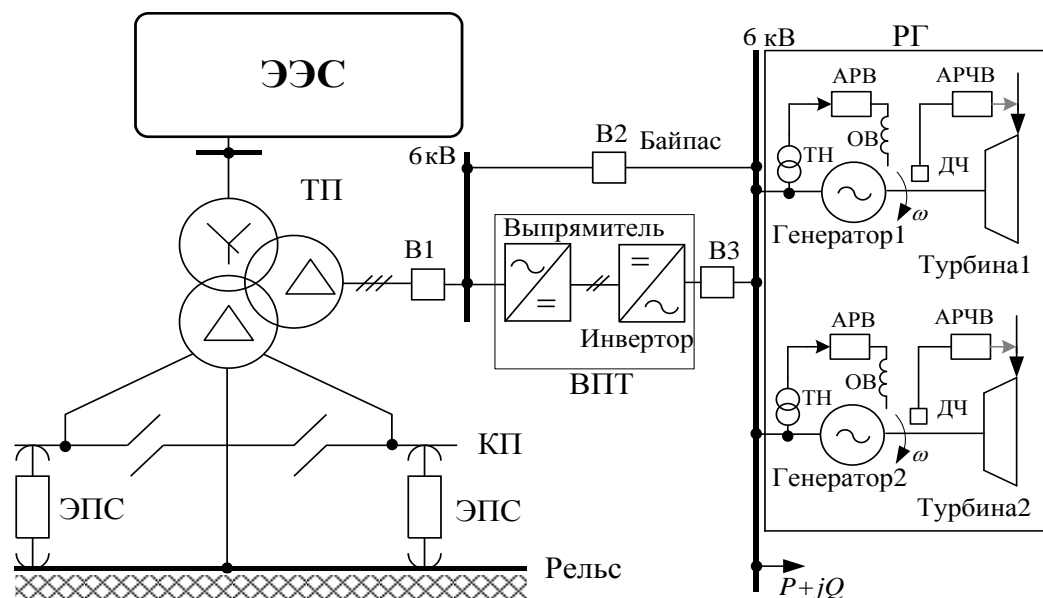


Рис. 1. Фрагмент системы электроснабжения железной дороги: ЭЭС – электроэнергетическая система; ТП – тяговая подстанция; ЭПС – электроподвижной состав; КП – контактный провод; ДЧ – датчик частоты вращения; ОВ – обмотка возбуждения; ТН – трансформатор напряжения; В – выключатель

Для определения эффективности предлагаемых регуляторов исследовались следующие режимы: подключение дополнительной нагрузки и возникновение кратковременного короткого замыкания на шинах нетягового потребителя. Рассматривались следующие регуляторы турбогенераторов установки РГ:

- несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы, настройка которых определялась из практических соображений);
- согласованно настроенные по представленной в [2] методике АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы);

согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы с прогнозирующим звеном); при этом время прогноза ПЗ АРЧВ подстраивалось автоматически.

Возмущения вносились в момент времени 8 с при работе системы в установившемся режиме. Начальная загрузка турбогенераторов составляла по 80 %. На рис. 2 и 3 представлены осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя и частоты вращения ротора генератора установки РГ для двух рассматриваемых режимов.

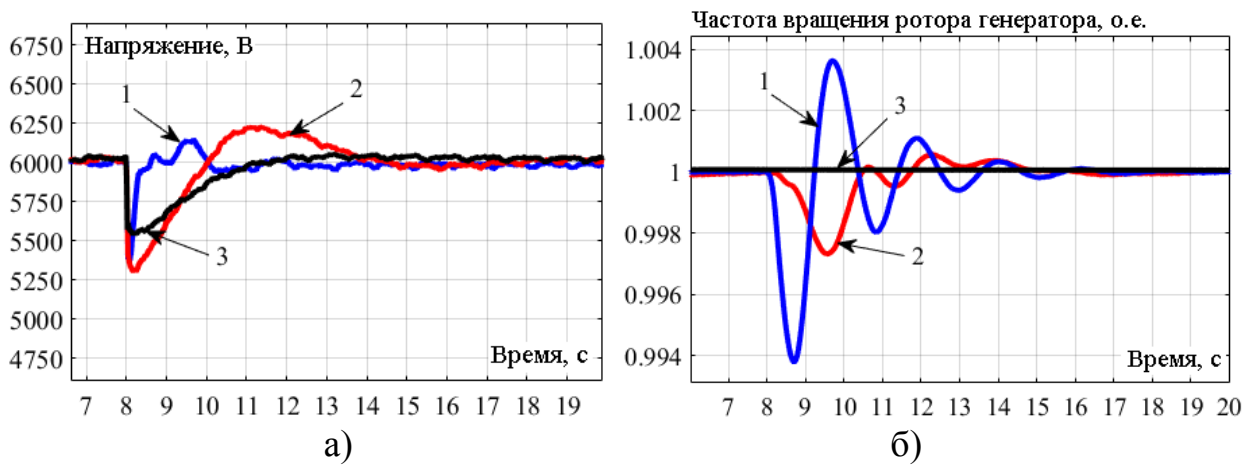


Рис. 2. Осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя (а) и частоты вращения ротора генератора (б) установки РГ при подключении дополнительной нагрузки: 1 – несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 2 – согласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 3 – согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ

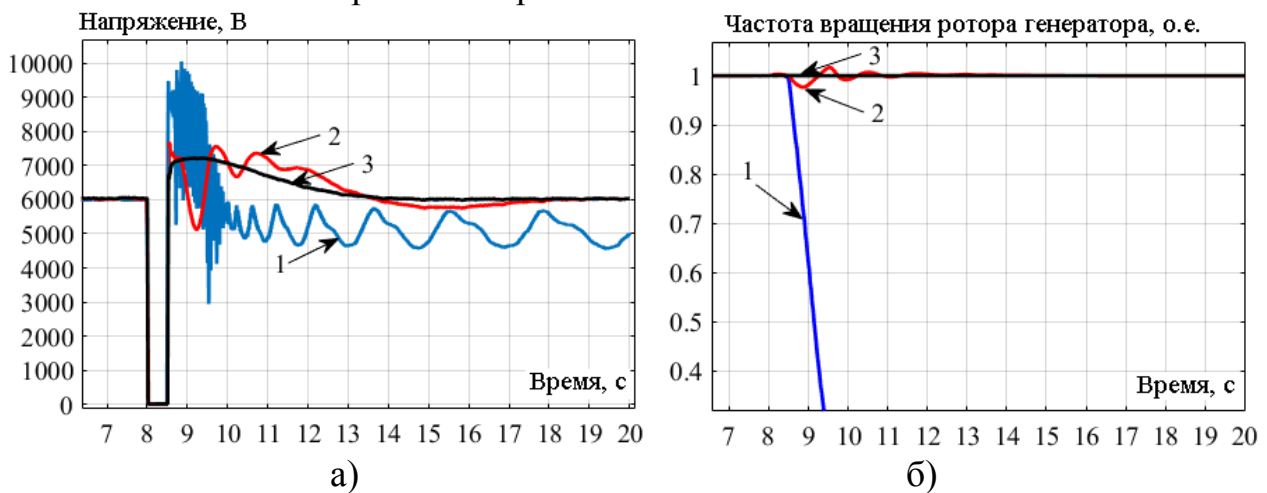


Рис. 3. Осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя (а) и частоты вращения ротора генератора (б) установки РГ при возникновении и отключении через 0,5 с короткого замыкания: 1 – несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 2 – согласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 3 – согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ

Из представленных осциллограмм видно, что согласованно настроенные АРВ и АРЧВ позволяют обеспечить необходимый запас устойчивости генераторов установки РГ, а также улучшают демпферные свойства электроэнергетической системы при электромеханических переходных процессах, вызванных различными изменениями режимов. Также снижается риск возникновения фликкера напряжения в узле присоединения генераторов установки РГ, наблюдаемом при большом возмущении в системе. Применение прогностических АРВ и АРЧВ позволяет улучшить эффект регуляторов, полученный от их согласованной настройки. При этом значительно улучшаются показатели качества управления, и компенсируется инерционность объекта.

**Заключение.** Результаты компьютерного моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. Согласованно настроенные АРВ и АРЧВ с прогнозирующим звеном обеспечивают необходимый запас устойчивости генераторов, улучшают демпферные свойства системы при электромеханических переходных процессах, вызванных различными изменениями режимов, а также снижают риск возникновения фликкера напряжения в узле присоединения генераторов установки РГ.

2. Прогностические регуляторы установок РГ позволяют улучшить качество управления и скомпенсировать инерционность объекта.

3. Прогностические АРВ и АРЧВ могут быть рекомендованы в использовании при оперативном вводе в эксплуатацию установок РГ, работающих на основе синхронных генераторов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Rugthaicharoencheep N., Auchariyamet S. Technical and Economic Impacts of Distributed Generation on Distribution System // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. – 2012. – Vol.6, No.4. – pp. 385-389.
2. Булатов Ю.Н. и др. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог / Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков, Чан Зюй Хынг. – Иркутск: ИрГУПС, 2015. – 205 с.
3. Пикина Г.А. Принцип управления по прогнозу и возможность настройки систем регулирования одним параметром // Новое в российской электроэнергетике. – 2014. – №3. – С.5-13.
4. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Методика настройки прогностических регуляторов установок распределенной генерации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 11-12. – С. 84-95.

Научный руководитель: А.В. Крюков, доктор техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутский национальный исследовательский технический университет.

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЁХФАЗНЫХ САМОКОМПЕНСИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В MATLAB\SIMULINK**

А.В. Проничев, Е.О. Солдусова  
Самарский государственный технический университет

Установки продольной компенсации являются неотъемлемым элементов сверхдальних передач переменного тока [3]. Одним из способов достижения цели продольной компенсации – уменьшения продольной индуктивности воздушной линии (ВЛ) – является настройка линии на резонанс напряжений или резонанс токов. Эта идея была предложена в работах И.И. Соловьёва и А.А. Вульфа [1] в первой половине XX века. Позднее, профессором Н.Ф. Ракушевым

в работе [2] был предложен способ реализации данной идеи – разомкнутая линия электропередачи, каждая фаза которой состоит из двух изолированных друг от друга проводников, один из которых (прямая составляющая) подключен к шинам передающей подстанции, а второй (встречная составляющая) – к шинам приёмной. При достаточной длине линии взаимная емкостная проводимость, созданная между прямой и обратной составляющей, могла бы полностью скомпенсировать собственную индуктивность линии.

В работе [5] авторами предложена усовершенствованная конструкция разомкнутой ВЛ, выполненная по принципу расщепления фазы. В такой линии прямая и встречная составляющая расщеплённой фазы подвешены на одной траверсе и отделены друг от друга диэлектрическими распорками. При этом на одной опоре могут располагаться все три фазы разомкнутой ВЛ.

В работе [4] рассматривался вопрос определения оптимальной конструкции расщепленной фазы разомкнутой воздушной линии, однако расчеты производились на однофазной модели.

Целью данного исследования является расчет и анализ режимов нагрузки предложенной в [5] конструкции трехфазной разомкнутой ВЛ.

Для анализа эффективности применения разомкнутых линий электропередачи используются методы математического моделирования в среде MATLAB/Simulink с использованием библиотеки элементов SimScare SimPowerSystems. Выполнен анализ режимов работы линий двух классов напряжения (500 и 750 кВ) и трех вариантов конструкций расщепленной фазы (рис. 1). Сведения об анализируемых линиях представлены в Таблице 1.

Табл. 1.

Класс напряжения, кВ	Конфигурация пролёта		
	Тип промежуточных опор	Высота подвеса фазы, м	Марка провода в фазе
500	Промежуточные опоры на оттяжках ПБ1	27.2	АС-700/86
750	Промежуточные опоры на оттяжках ПП750-1	35	АС-500/64

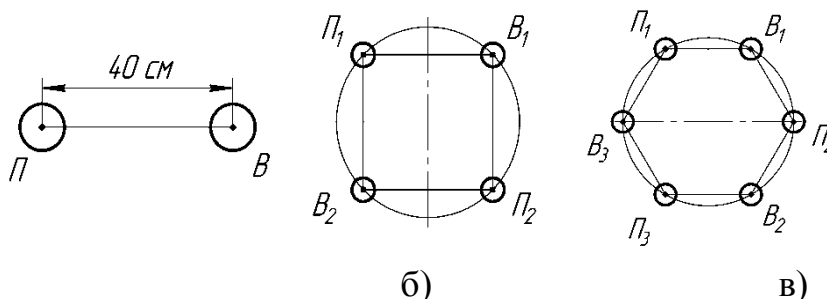


Рис. 1. Схема конструкции расщепленной фазы общего участка разомкнутой ВЛ: а – расщепление на 2 провода в фазе (класс напряжения 500 кВ); б – расщепление на 4 провода в фазе (класс напряжения 500 и 750 кВ); в – расщепление на 6 проводов в фазе (класс напряжения 750 кВ)

При помощи математической модели для анализа режима холостого хода [7] были рассчитаны длины общего участка, при которой в трехфазной разомкнутой ВЛ наблюдается явление полной самокомпенсации.

Была построена математическая модель для анализа режима под нагрузкой. Общий участок представлен схемой замещения с распределёнными параметрами, ко входу которой подключен трехфазный источник синусоидального напряжения, а к выходу трехфазная активно-индуктивная нагрузка с коэффициентом мощности 0,95. Сигналы с вольтметров в начале и в конце линии преобразуются, и в качестве расчёта режима принимаются значения установившегося отклонения напряжения на общем участке в процентах.

### Результаты

В таблице 2 представлены результаты расчета длины общего участка для 4-х рассматриваемых конфигураций. Полученные результаты, отличаются от опубликованных ранее в [7], поскольку использованная в данной работе математическая модель представлена в многофазной постановке и поэтому учитывает процессы, связанные с влиянием на режим взаимной индуктивности между проводниками разных фаз, для компенсации которой требуется дополнительная емкость.

Табл. 2.

Класс напряжения, кВ	Схема конструкции расщепленной фазы	Длина участка самокомпенсации, км
500	а	932
	б	705
750	б	697
	в	602

В таблице 3 представлены рассчитанные значения передаваемой мощности четырех рассматриваемых конфигураций для двух значений установившегося отклонения напряжения  $|\delta U|$  в конце ВЛ – 5 и 10 %.

Табл. 3.

Конфигурация	Передаваемая мощность, МВт	
	$ \delta U  = 5\%$	$ \delta U  = 10\%$
500 кВ – расщепление на 2 провода	1200	1900
500 кВ – расщепление на 4 провода	5000	6600
750 кВ – расщепление на 4 провода	7700	10400
750 кВ – расщепление на 6 проводов	15000	19000

На Рисунке 2 представлена зависимость установившегося отклонения напряжения от передаваемой активной мощности для четырех рассматриваемых конфигураций фазы ВЛ. При начальных значениях передаваемой мощности наблюдается положительное отклонение напряжения. Это объясняется тем, что данные режимы характеризуются явлением перекомпенсации: продольное емкостное сопротивление незначительно превышает индуктивное. При постепенном росте нагрузки, а именно ее индуктивной составляющей, в линии достигается состояние полной самокомпенсации, в котором отклонение напряжения становится равным нулю. При дальнейшем увеличении нагрузки ВЛ отрицательное отклонение напряжения будет постепенно увеличиваться.

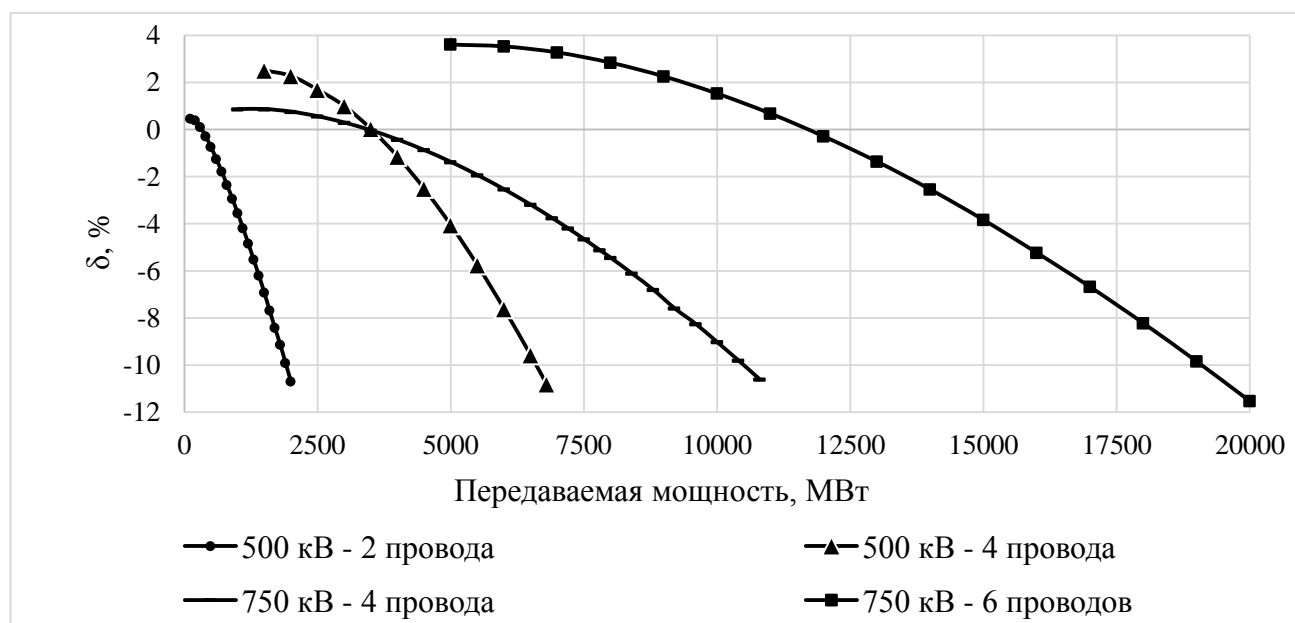


Рис. 2. График зависимости отклонения напряжения от передаваемой мощности

### Выводы

В работе построена математическая модель трехфазной разомкнутой ВЛ для расчета режимов нагрузки, учитывающая взаимное влияние фаз. При использовании трёхфазной модели для определения длины общего участка, при которой наблюдается явление полной самокомпенсации, полученные результаты показывают необходимую длину до 8% большую, чем при расчётах с использованием однолинейных моделей. Это объясняется появлением взаимной индуктивности между проводниками разных фаз;

Проведен расчет зависимости величины установившегося отклонения напряжения в конце линии от передаваемой мощности для 4 конфигураций трехфазной разомкнутой ВЛ. Величина предела передаваемой мощности может достигать 6600 МВт для разомкнутых ВЛ напряжением 500 кВ и 19000 МВт – для ВЛ напряжением 750 кВ, что является достаточным для использования разомкнутых ВЛ в качестве мощных межсистемных связей.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Вульф А.А. Проблема передачи электрической энергии на сверхдальние расстояния по компенсированным линиям. – М.: Госэнергоиздат, 1945. – 83 с.
2. Ракушев Н.Ф. Сверхдальняя передача энергии переменным током по разомкнутым линиям. М.: Госэнергоиздат, 1957. – 160 с.
3. Готман В.И., Глазачев А.В., Бацева Н.В. Продольная компенсация дальних электропередач с промежуточными системами // Известия Томского политехнического университета. Т. 319, №4, 2011, С. 68-75.
4. Проничев А.В., Кривихин И.Н., Шишков Е.М., Гольдштейн В.Г. Определение оптимальной конфигурации расщепленной фазы для самокомпенсированных разомкнутых линий электропередачи // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VII Международной научно-технической конференции, 19 – 23 сентября 2016, Казань. – В 3 т. Т 1. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2016. – С. 198-201.
5. Пат. 130458 РФ, МПК8 Н 02 J 3/20. Разомкнутая трёхфазная воздушная линия электропередачи переменного тока / В.Г. Гольдштейн, Е.М. Шишков; ФГБОУ "Самарский государственный технический университет". № 2013103649/07; заявл. 28.01.2013; опубл. 20.07.2013, Бюл. №20.

Научный руководитель: Е.М. Шишков, к.т.н., заместитель директора по науке, информатизации и инновациям СамГТУ в г. Новокуйбышевске.

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПОДСТАНЦИИ**

А.И. Тимофеева

Самарский государственный технический университет

Тенденция перехода на цифровые технологии в энергетике наметилась более 25 лет назад. В настоящее время системы автоматизации различных процессов становятся неотъемлемой частью энергосистем РФ. Растет количество автоматических цифровых устройств и IT-решений, появляются новые международные стандарты и образцы оборудования, в частности Международной электротехнической комиссией был принят стандарт МЭК 61850, определяющий построение унифицированных систем связи. А работы по реконструкции и перевооружению подстанций, а также строительство новых, предполагают применение новейших технологий в области автоматизированных систем управления технологическими процессами (далее АСУ ТП).

На данный момент существуют компании, работающие на рынке автоматизации, и их программно-технические комплексы (далее ПТК) допущены и



рекомендованы к применению при новом строительстве и реконструкции электросетевых объектов ПАО «Россети» [1]. К таким компаниям относятся:

1. АО «РТСофт», МО, г. Черноголовка / АО «РТСофт», г. Москва (ПТК «СМАРТ-КП2»)
2. ООО «НПП ЭКРА», г. Чебоксары (ПТК «ЭКРА»)
3. ООО «Прософт-Системы», г. Екатеринбург (ПТК «ARIS»)
4. ООО «НПП Микроника», Россия-Польша (ПТК «Syndis SO-5»)
5. ООО «Компания ДЭП», г. Москва (ПТК «ДЕКОНТ»)
6. ООО «ПиЭлСи Технолоджи», г. Москва (ПТК «ТОPAZ»)
7. ООО «Релематика», г. Чебоксары (ПТК «UniSCADA»)
8. ООО «НПФ «Механотроника РА», г. Санкт-Петербург (ПТК «Эгида»)

ПАО «Россети», занимаясь внедрением инноваций на своих сетях, в 2016 году разработало и ввело в действие ряд стандартов на базе международного стандарта МЭК 61850, которые предъявляют новые требования к ПТК АСУ ТП. Это привело к необходимости существенной переработки как существующих SCADA систем, так и оборудования, на базе которых функционируют ПТК АСУ ТП, под требования новых стандартов.

Как же связать технологическое оборудование подстанции разных производителей единой информационной сетью, по которой передаются не только данные от измерительных устройств к терминалам релейной защиты и автоматики, но и сигналы управления? Решив комплекс этих задач эффективно, можно будет говорить о новом поколении программно-технических комплексов в энергетике и принципиально новой системе управления.

Логическим продолжением широкого внедрения АСУ ТП на объектах ПАО «Россети» является создание полностью «цифровой» подстанции в рамках принятой концепции Smart Grid. Подтверждением этого факта являются объявленные в этом году тендеры, проводимые Министерством образования и науки РФ (лот: «Разработка базового программно-аппаратного комплекса цифровых подстанций для важных объектов электроэнергетики») и ПАО Россети (конкурс на выполнение научно-исследовательских работ по теме «Разработка типовых технических решений по реализации цифровой подстанции 110 кВ» для нужд ПАО «МРСК Волги») на разработку концепции цифровой подстанции.

Одним из важнейших факторов успешного внедрения и эксплуатации цифровой техники и АСУ ТП является готовность электротехнического персонала к эксплуатации нового оборудования и цифровой техники. Однако уровень подготовки электротехнического персонала в части эксплуатации цифровых устройств не всегда бывает достаточным. Проблема усугубляется еще и тем, что требуемые компетенции эксплуатирующего цифровую технику (включая АСУ ТП) персонала находятся на стыке трех передовых областей знаний, а именно: электроэнергетики, автоматизации технологических процессов, IT-технологий, поэтому ВУЗы пока не готовы к созданию программ подготовки кадров.

Учитывая все выше сказанное, а именно:

- введение в Россетях ряда новых стандартов для ПТК АСУ ТП на базе протоколов МЭК 61850;

- переход в ближайшем будущем к полностью «цифровым» подстанциям;
- а также необходимость учета квалификации эксплуатирующего цифровую технику персонала;

становиться актуальной задача разработки нового программно-технического комплекса АСУ ТП подстанций, учитывающего перечисленные требования.

Созданием программно-технического комплекса автоматизированной системы управления цифровой подстанцией занялась команда специалистов с привлечением ученых ведущих технических ВУЗов страны.

Помимо соответствия всем действующим протоколам и стандартам, комплекс будет иметь ряд дополнительных преимуществ:

1. Отечественная программная платформа SCADA-системы IntelSCADA, работающая под операционной системой Linux, имеющая высокую степень надежности и свободная от лицензионных соглашений;
2. ПТК имеет интеллектуальную систему поддержки принятия решений диспетчеров при возникновении аварийных ситуаций. При возникновении внештатной, критической или тревожной ситуации в режиме реального времени производится оповещение на объекте мониторинга, локализация и отображение на интерактивной карте (схеме) местоположения источника возникновения проблемной ситуации. На основе семантической базы знаний и онтологии при возникновении нештатной ситуации интеллектуальный модуль принятия решений предложит порядок действий персонала.
3. ПТК имеет встроенную систему сервисного обслуживания, основанную на технологиях дополненной реальности, существенно облегчающую эксплуатацию любого, в том числе самого современного оборудования, существующим персоналом заказчика без серьезных затрат на повышение квалификации. При наведении планшета на устройство с помощью поддержки функционала цифровой модели объекта он его распознает, выдает полную техническую информацию об объекте, регламент обслуживания и проводимые работы с оборудованием. Перед выездом на каждый конкретный объект информацию можно получить из общей базы данных. Все манипуляции с объектом постоянно заносятся в эту базу.
4. Встроенный редактор построения мнемосхемы электрических сетей, существенно упрощающий скорость настройки ПТК под конкретный объект.

Коммуникационная среда подстанции будет обеспечивать информационный обмен между всем оборудованием. Неструктурированные данные будут обработаны системой семантического анализа и в результате на верхнем уровне окажется релевантная информация, которая поможет принимать эффективные управленческие решения.

Реализация разрабатываемой АСУ ТП в полном объеме, т.е. оптимальное сочетание функций оперативного и автоматического управления, может быть

осуществлена в рамках интегрированных АСУ ТП, под которыми понимаются распределенные (территориально и функционально) управляющие вычислительные системы, обеспечивающие интеграцию как по информации, так и по функциям, выполненные на однотипных технических средствах.

Экономический эффект от внедрения АСУ ТП ПС будет получен за счет повышения устойчивости работы межсистемных и магистральных связей, надежности электроснабжения потребителей, уменьшения ошибок персонала, уменьшения затрат на монтажные и наладочные работы, предотвращения в ряде случаев повреждения основного электрооборудования, а также автоматического восстановления энергоснабжения после аварийных нарушений, уменьшения трудозатрат при эксплуатации вследствие автоматического выявления неисправностей электрооборудования и аппаратуры управления.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Оборудование, материалы и системы, допущенные к применению на объектах ПАО "Россети" (Раздел II. Вторичное оборудование)

Научный руководитель: Л.Г. Мигунова, к.т.н., доцент СамГТУ.

## КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

А.В. Смирнов

Сибирский федеральный университет

Критерии эффективности микропроцессорной релейной защиты (РЗ) определяются с учетом надежности несрабатывания при отсутствии повреждений. В данной работе для оценки эффективности РЗ используется наука о качестве, называемая квалиметрией. Объекты сравниваются между собой и с некоторым идеальным объектом по ряду свойств. Характеристики объекта характеризуются вектором критериальных свойств (КС)  $Y$ . Целевая функция  $E(Y)$  зависит от этого вектора и является комплексным показателем качества [1].

Эта целевая функция определяет меру эффективности, или меру приближения к эталону и ее значение определяется по следующей арифметической линейной формуле

$$E_{aj} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_{ij}, \quad (1)$$

где  $v_i$  – весомость  $i$ -го КС, о.е.;  $e_{ij}$  – эффективность  $j$ -го варианта по  $i$ -му КС, о.е.

Величины весомостей КС  $v_i$  определяются методами экспертных оценок (ЭО). Определение эффективности  $e_{ij}$  выполняется на основе показателей, измеренных у сравниваемых объектов или с помощью ЭО. Расчет комплексного

критерия качества начинается с определения перечня КС в данной задаче и подбора специалистов, знающих свойства объекта [1].

Табл. 1. Матрица рангов критериальных свойств.

Эксперт	Критериальные свойства			
	Максимум надежности работы микропроцессорных устройств РЗ	Минимум стоимости устройств РЗ	Минимум ущерба в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии	Максимум технического совершенства
1	1,5	3,5	3,5	1,5
2	1	3	2	4
3	1,5	3	4	1,5
4	1	3	2	4
5	1	4	3	2

Покажем применение метода квалиметрии на примере анализа эффективности различных вариантов микропроцессорной РЗ ЛЭП. Рассматриваем четыре КС: максимум надежности работы РЗ; минимум стоимости устройства РЗ; минимум ущерба в электроэнергетической сети (ЭЭС) от недоотпуска электроэнергии при отказах РЗ; максимум технического совершенства. Результаты опроса пяти специалистов в области РЗ приведены в таблице 1. При оценке весомостей КС используется метод ранговой корреляции. Всем КС каждый эксперт по мере убывания весомости присваивает оценку, называемую рангом [1].

Весомости КС определим по следующим выражениям

$$v_i = w_i \cdot \left( \sum_{i=1}^n w_i \right)^{-1}, \quad (2)$$

$$w_i = 1 - A_i \cdot (n \cdot N)^{-1} + n^{-1}, \quad (3)$$

$$A_i = \sum_{i=1}^n a_{ik}, \quad (4)$$

где  $N$  – число экспертов;  $w_i$  – коэффициент значимости;  $i$  – номер КС;  $n$  – число КС;  $A_i$  – сумма рангов  $i$ -го КС,  $a_{ik}$  – ранг  $i$ -го КС, заданный  $k$ -м экспертом.

Результаты расчета весомостей КС представлены в таблице 2.

Табл. 2. Коэффициенты весомости критериальных свойств.

Весомость	Критериальные свойства			
	Максимум надежности РЗ	Минимум стоимости микропроцессорных устройств РЗ	Минимум ущерба в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии	Максимум технического совершенства
$v_i$	0,378	0,171	0,211	0,239

Определение эффективности  $e_i$  в вариантах РЗ по каждому из КС производится при расчете показателей  $y_i$  у сравниваемых объектов, или экспертной

оценкой. Переход от численных показателей к относительным единицам выполняется с помощью линейного преобразования, по следующей формуле

$$e_i = \frac{y_i^{\max} - y_i}{y_i^{\max} - y_i^{\min}} \quad (5)$$

где  $y_i^{\max}$  - максимальное из всех вариантов значение показателя;  $y_i^{\min}$  - минимальное значение показателя;  $y_i$  - значение показателя в данном варианте.

Вычисления по формуле (5) проводятся при выполнении условия:  $y_i^{\min} \leq y_i \leq y_i^{\max}$ . Выполним оценку эффективности  $e_{ij}$  по каждому КС.

КС 1. При оценке надежности учитываем только ложные и неселективные срабатывания РЗ, так как они происходят чаще, чем отказы в срабатывании. Доля ложных и неселективных срабатываний равна около 70 % от общего количества нарушений в работе РЗ [2]. Рассмотрим варианты устройств РЗ.

Определим вероятность несрабатывания для первого варианта защиты на рисунке 1, а, относительно ложных и неселективных срабатываний

$$P_A(t) = e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

где  $\lambda$  - интенсивность отказа в функционировании РЗ.

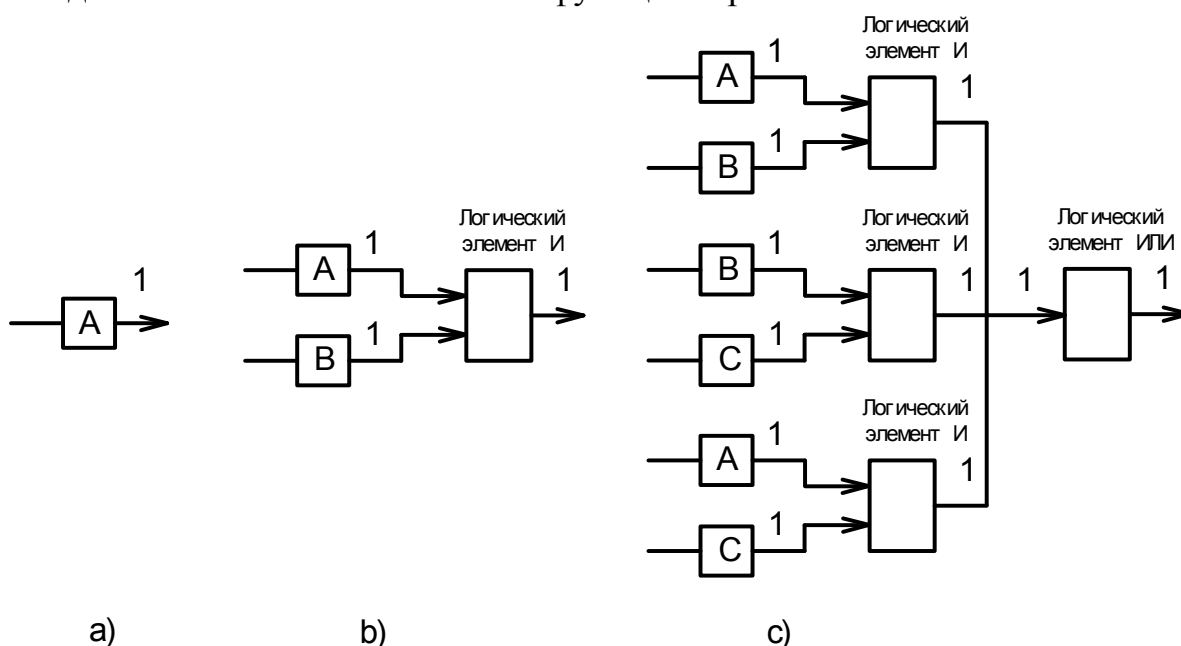


Рис. 1. Логические схемы вариантов устройств релейной защиты.

Время эксплуатации  $t = 1$  год, интенсивность излишних срабатываний  $\lambda = 0,07$  1/год [2],  $P_A(t) = 0,932$ , а вероятность излишнего срабатывания равна  $Q_A(t) = 1 - P_A(t)$ , (7)

Вероятность несрабатывания для варианта РЗ на рисунке 1, а равна  $Q_A(t) = 0,068$ . Вероятности для второго варианта РЗ, на рисунке 1, б, если используется только один блок, равны  $P_A(t) = P_B(t) = 0,932$  и  $Q_A(t) = Q_B(t) = 0,068$ . Определим вероятность излишнего срабатывания устройства РЗ с учетом обоих блоков А и В

$$Q_{рез}(t) = Q_A(t) \cdot Q_B(t). \quad (8)$$

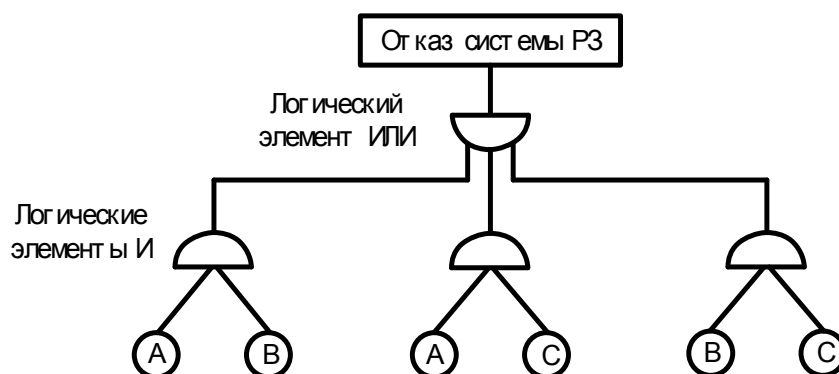


Рис. 2. Дерево отказов для третьего варианта релейной защиты.

Рассчитаем надежность для третьего варианта РЗ, в котором используется схема с голосованием «два из трех» и построим дерево отказов [3]

$$Q_{рез}(t) = Q_A(t) \cdot Q_B(t) + Q_B(t) \cdot Q_C(t) + Q_A(t) \cdot Q_C(t) \quad (9)$$

Относительную оценку первого КС для каждого варианта РЗ  $e_{1j}$  дадим с помощью вероятности излишнего срабатывания, используя выражение (5).

КС 2. Стоимость устройств РЗ определяется стоимостью терминалов и программного обеспечения. Рассчитаем относительную оценку  $e_{2j}$  второго КС

$$e_{ij} = 1 - B_{ji} \cdot (m \cdot N)^{-1} + m^{-1}, \quad (10)$$

где  $i$  – номер свойства;  $N$  – число экспертов;  $B_{ji}$  – сумма рангов  $j$ -го варианта.

КС 3. Ущерб в ЭЭС от недоотпуска электроэнергии для вариантов РЗ определяется при неселективных или ложных срабатываниях с учетом удельного ущерба  $y_0 = 3,6$  \$/кВт·ч [1], расчетной вероятности отказов  $Q_{РЗ}$  и заданной величине потерь мощности  $\Delta P = 160$  МВт, обусловленных отключением линии

$$Y = 8760 \cdot Y_0 \cdot Q_{РЗ} \cdot \Delta P. \quad (11)$$

Относительные оценки третьего свойства  $e_{3j}$  получим с помощью линейного преобразования по формуле (5) для каждого варианта РЗ.

КС 4. Релейная защита должна срабатывать, не нарушая работу остальной части энергосистемы [4]. Оценим  $e_{4j}$  четвертое свойство экспертным путем.

В таблице 3 приведена комплексная оценка эффективности вариантов РЗ.

Табл. 3. Комплексная оценка эффективности релейной защиты.

Варианты РЗ	$v_1 = 0,378$	$v_2 = 0,171$	$v_3 = 0,211$	$v_4 = 0,239$	$E_{aj} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot e_{ij}$
	Относительные оценки эффективности, $e_{ij}$				
1	0	1	0	1	0,410
2	1	0,667	1	0,667	0,862
3	0,841	0,333	0,841	0,333	0,632

Значение комплексного критерия эффективности является наибольшим для второго варианта РЗ, поэтому оптимальным является второй вариант.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. - Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1988. - 224 с.
2. Захаров О.Г. Надежность цифровых устройств релейной защиты. Показатели. Требования. Оценки. - М.: Инфра-инженерия, 2014. - 128 с.
3. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 384 с.
4. Нудельман Г.С. Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. // Новости электротехники. - 2008. - № 3(51). - С. 20-27.

Научный руководитель: В.А. Тремясов, к.т.н., проф. кафедры Электрические станции и электроэнергетические системы Сибирского федерального университета.

## **DEVELOPMENT OF ADVANCED TECHNOLOGY FOR HIGH VOLTAGE TRANSFORMER WINDING CONDITION CONTROL BASED ON PROBING IMPULSE OF NANOSECOND DURATION**

A.V. Lavrinovich<sup>1</sup>, A.V. Mytnikov  
TomskNIPIneft<sup>1</sup>

Institute of Power Engineering, National Research Tomsk Polytechnic University

### Abstract

The paper deals with the experimental research of the pulsed method of transformer winding control in comparison with FRA technology. A new approach to winding condition control technology is described. The proposed method is based on short (compared with a typical pulsed technology) probe pulse and front pulse durations. The experimental results of sensitivity growth at decreasing front pulse duration are shown. The experimental equipment and measurements are described. A comparison of the experimental results of the proposed technology and FRA is given. It is shown that shorter front of probe pulse duration allows upgrading sensitivity of the diagnostic procedure.

### INTRODUCTION

Smart power grid includes big amount of high voltage transformers of different types and power range. To provide a stable operation of any smart grid is necessary to control high voltage equipment condition, first of all, power transformers. At the same time, park of power transformers are old enough and have been working already 30-40 years and more. That is why the development of technologies of high voltage transformer condition control is an important task for any smart grids. The pulsed method to control a condition of transformer windings was proposed and described in 1966 [1]. The principle of the method consists in applying probing standard lighting impulse of 1.2/50 microsecond with the amplitude around 300 V to one of the windings. Other windings were short-circuited and the shunt which gave a re-

sponse to a probing impulse was installed in them. The response represents the signal corresponding to transient, arising in windings, as a reaction to a probing impulse. First of all, it was necessary to measure the so-called normogram – a response from the winding of the working transformer. The procedure of sounding was repeated at the next test. Comparison of normograms and current sounding (defectograms) allows making a conclusion about winding state. The difference in the normogram and defectograms represents the problem in the winding. Further, this method was recognized more than in 45 countries [2] and was called the Low-Voltage Impulses method (LVI). In the end of last century, the LVI method was modified and transformed into a method of measurement of amplitude-frequency characteristics. It has been practicing as main in North American and European smart grids. The principle of this method consists in measuring the amplitude-frequency characteristics from one of the transformer windings when applying to the other winding a sinusoidal signal with the amplitude around 10 V of various frequencies. Then the amplitude-frequency characteristics are compared with the normograms, received on the serviceable transformer. Nowadays this method is called a Frequency-Response Analysis method or a FRA Technology and it is widely used around the world [3-5]. The FRA interpretation that is based on the analysis of physical electrical parameters is not feasible since one of the most important parameters, the winding series capacitance, cannot be determined in transformer bulk [6]. Despite many advantages there is problem to reveal the winding faults in most initial stage. This drawback is for both technologies – FRA and LVI.

Main goal of this work is to upgrade sensitivity of the LVI method to find winding faults on the most initial stage. It could be achieved by means of a probing pulse using the frequency range up to 50 MHz. It can be implemented by applying to one of the transformer windings a rectangular probe pulse with the amplitude of 200 V and a front duration of 10 ns and pulse duration of 400 ns. A short probe impulse is a way to increase sensitivity of the diagnostic procedure.

#### EXPERIMENTAL RESEARCH

To prove the viability of the approach, a special generator of nanosecond impulses was developed. It allows forming unipolar pulses with the above mentioned parameters. The model of three-phase two-winding transformers has been developed. The model includes three low voltage coils inserted in high voltage ones. The total number of turns at the low voltage coil is 20, at the high voltage coil – 120 respectively. A nanosecond rectangular impulse with different front duration was supplied on entrance of the high voltage coil. The response signal was measured on exit of the low voltage coil. Oscilloscopes Tektronix TDS 2024 were used to control the form of a probe impulse and response signals.

The electric circuit of the experiment to define the influence of the front duration of a probing impulse on sensitivity of the LVI method is given in Figure 1.



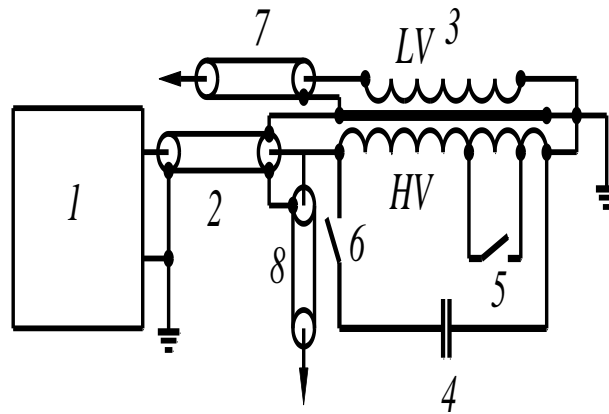


Fig. 1. Electric circuit of the experiment: 1 – the generator, 2 – the connecting coaxial cable with a wave resistance (impedance) of 75 Ohms and 2 meters length, 3 – the diagnosed transformer (HV—high voltage, LV – low voltage), 4 – the condenser for change of the front of a probing impulse, 5 – short-circuit of rounds (turns) 96...98 (common turn number is 120), 6 – the commutator (switch) for connection of the condenser 4;7, 8 – probes for connection to a multichannel oscilloscope TDS 2024.

The rectangular impulse created by the generator was applied to a high-voltage winding of the transformer, the impulse-response was measured on a low-voltage winding of the transformer. Windings had no loads (a case of completely switched-off transformer). On the high-voltage winding taps which can be connected among themselves for imitation of short circuits between certain turns have been made. Defect turn to turn short circuit between 96 and 98 turn number was organized at the high voltage area of phase A. A comparative experiment on the transformer model has been carried out to compare the sensitivity of FRA and our “nanosecond pulsed method”. Waveforms for the nanosecond pulsed condition control are given in Figure 2, a. Waveforms which are given in Figure 2, b are at the same situation, but for FRA technology. A comparative experiment on the transformer model has been carried out to compare the sensitivity of FRA and our “nanosecond pulsed method”. The experiment consisted in comparison of the normograms and responses at the same defect type – turn to turn short circuit of 96 – 98 turns of the high voltage winding for both technologies.

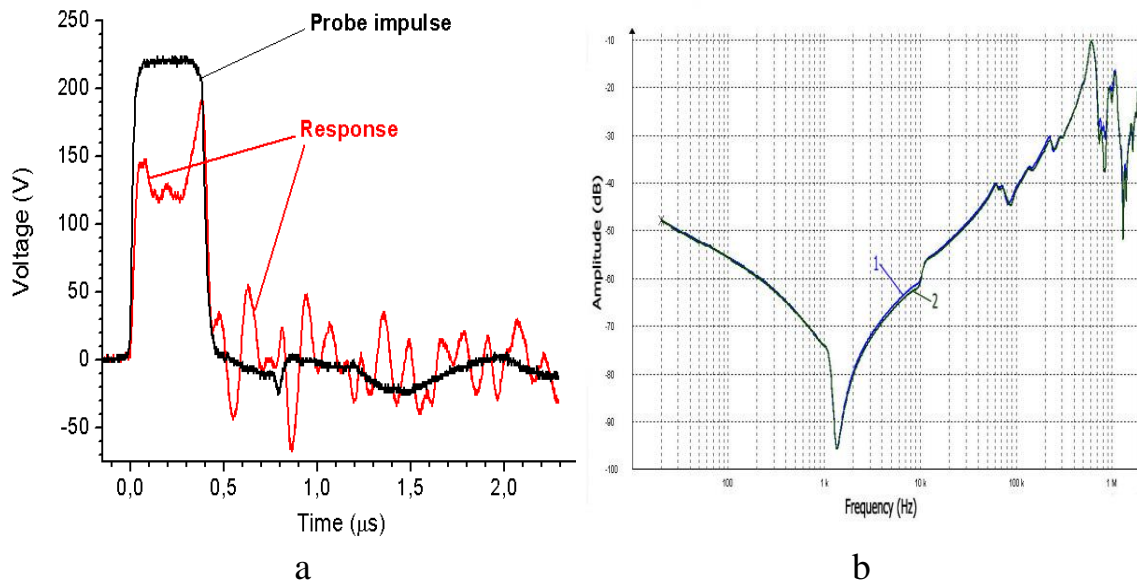


Fig. 2. a) Waveforms at short circuit between turns 96...98 of the high-voltage windings of the transformer at the front of a probing impulse of 25 nanoseconds: black curve – a form of a probing impulse on the entrance of the high-voltage winding, a red curve – a response pulse on the low-voltage winding.

b) Amplitude-frequency characteristics received by means of the FRAX-150 device on the transformer model: curve 1 is the normogram; curve 2 is the defectogram obtained at short circuit between turns of 96-98 of the high voltage winding. A signal is supplied to phase C, amplitude-frequency characteristics is fixed on exit of phase A.

As it is followed from figures, sensitivity of nanosecond pulsed technology is higher than FRA one.

## CONCLUSIONS

Despite many positive characteristics, in some cases sensitivity of FRA is not too appropriate and the percent of mistakes during the transformer diagnostics is high enough. One of the reasons for that is restriction of the upper boundary of the frequency range. It is around 2 – 3 MHz. A noise level in a common signal is too high and this restricts the top of working frequency range at FRA.

To overcome this problem a solution for using probe pulse with short duration and rapid front was proposed. Application of a probing pulse with pulse duration of 400 ns and a rise time of 25 ns allows an increase in the diagnostic sensitivity in comparison to the FRA testing under the same test conditions.

Proposed technology of winding condition control is high enough and looks prospective for smart grids.

## LITERATURE:

1. Lekh W., Tyminskiy L. New Method of Damage Reveal at the Transformer Test on Dynamic Durability // *Electrichestvo*. – 1966. – № 1. – p. 77–81.
2. Avetikov V.G., Levitsckaya E.A., Popov E.A. Pulsed Defect Detection of Transformers at the Tests for Electrodynamics Strength // *Electrotechnika*. – 1978. – № 4. – p. 53–57.

3. Pham D. A., Pham T. M., Borsi H., Gockenbach E. A New Method for Purposes of Failure Diagnostics and FRA Interpretation applicable to Power Transformers // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2013. – № 20 (6). – p. 2026–2034.
4. Lavrinovich V.A., Lavrinovich A.V., Mytnikov A.V. Development of Advanced Control State Technology of Transformer and Electric Motor Windings Based on Pulsed Method // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering. – 2012. - № 13. – pp. 149–153.
5. Lavrinovich V.A., Mytnikov A.V. Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse // IEEE Trans. Dielectric Electrical Insulation. – 2015. - № 22 (4). – p. 2041–2045.
6. Lavrinovich V.A., Mytnikov A.V., Hongda Li. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies. – 2016. – № 2. –p. 111–117.

Advisor: A.V. Mytnikov, Ph.D. in technical sciences, electrical engineering area, Associate Professor, Electrical Energy Systems Department, Power Engineering Institute, Tomsk Polytechnic University.

## **ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, ОСНОВАННОЙ НА РАСПОЗНАВАНИИ ВОЛНОВЫХ ПОРТРЕТОВ**

А.Л. Куликов, А.А. Лоскутов, П.С. Пелевин  
Нижегородский технический университет

Современные распределительные сети и системы электроснабжения характеризуются внедрением возобновляемых источников энергии (ВЭИ), виртуальных электростанций. Вероятностный режим работ ВЭИ, обусловленный нестабильностью энергоносителей, создает проблемы для устойчивой работы сети, для систем управления и автоматики и для релейной защиты (РЗ). Режим работы систем электроснабжения с ВЭИ постоянно меняется: изменяется конфигурация сети, изменяются потоки мощности по отдельно взятым ЛЭП, меняются токи КЗ и т.д. Все это приводит к усложнению схем защиты и автоматики, необходимости разработки и внедрения новых алгоритмов работы устройств защиты.

Можно выделить два подхода к решению данной проблемы.

Первым подходом является разработка гибких, адаптивных защит, подстраивающихся под изменяющийся режим работы сети. В данном направлении проводятся различные исследования, как за рубежом, так и в нашей стране и уже предложены различные методы. Например, предлагается использовать набор уставок для разных режимов работы и на основе работы алгоритма распознавания режимов выбирать тот или иной набор уставок. Еще можно использовать алгоритмы, в которых уставки будут непрерывно меняться в соответствии с определенными вероятностными закономерностями в зависимости от характера изменения параметров режима. [1]

Другим направлением развития является использование защит, принцип действия которых не зависит или слабо зависит от режима сети. К таким защитами можно отнести особый вид защит – волновые РЗ. Это защиты, принцип действия которых основан на оценке протекания волновых процессов при повреждениях.

Как известно КЗ сопровождается протеканием электромагнитного процесса, который можно разделить на две стадии резко разной продолжительности. Первая (короткая) стадия, которая нас и интересует, характеризуется распространением электромагнитных волн по электрической сети и носит название – волновой процесс. [2]

В момент КЗ происходит перераспределение волн, в результате чего от места КЗ начинает распространяться «новая» отраженная волна. Поэтому для удобства место КЗ можно рассматривать как источник волн. При распространении волны по эл. сети в точке, до которой волна доходит в данный момент времени, ток и напряжение резко (почти скачком) меняются, в результате чего в данный момент времени в сигнале появляются высокочастотные составляющие, которые, при отсечении низких и средних частот, при наложении имеют форму импульсов. Поэтому, применяя фильтр высоких частот или полосовой фильтр с достаточно широкой полосой пропускания, можно выделять т.н. переходные волновые составляющие, время появления которых соответствуют времени прибытия волны к месту наблюдения, а амплитуда – величине фронта волны. По соотношению волновых составляющих тока и напряжения можно судить о направлении распространения волны. [3]

Обычно действие релейной защиты и автоматики основывается на оценке параметров электромагнитного процесса, однако существенно увеличить быстродействие и достичь в конечном счете теоретического предела (время распространения волны по линии) можно лишь используя волновую РЗ. Также такая защита будет существенно меньше зависеть от параметров предшествующего режима и конфигурации сети.

Один из самых простых (с точки зрения сложности алгоритма действия) методов реализации волновой РЗ – это определение направления движения волны по двум концам линии, сравнивая полярности первых переходных волновых составляющих (первой волны) напряжения и тока, и обмен результатом сравнения между устройствами по концам линии с помощью канала связи. Этот принцип очень похож с классическими направленными высокочастотными защитами, выигрыш по времени здесь заключается в более быстром срабатывании релейной части защиты (ПО, ОНМ). Подобного рода подходы (основанные на двусторонних замерах) к выполнению защиты имеют как минимум один существенный недостаток – дороговизна реализации, поскольку необходимо не менее двух устройств (полукомплектов), а также надежный канал связи. [4]

В связи с этим очень перспективными являются методы, основанные на одностороннем замере, поскольку, используя в качестве объектов оценки защитой параметры волнового процесса принципиально возможно построение односторонней защиты с абсолютной селективностью или почти абсолютной селективностью (зона защиты 99,9% линии, например, для отстройки от КЗ на шинах

смежной ПС). В зависимости от того, на какой линии или на каком участке линии (например, воздушный участок кабельно-воздушной линии) произошло КЗ, волны по-разному распространяются по электрической сети, отражаясь и проходя через места резкой неоднородности (шины ПС, кабельно-воздушный переход, отпайка, КЗ и т.д.). Таким образом, волновые переходные составляющие, замеренные в определенной точке сети, за определенный промежуток времени формируют уникальный волновой портрет для данного места (участка) повреждения и точки измерения. В качестве примера на рисунке 1 приведены лестничная диаграмма распространения волн по ЛЭП, а также волновые портреты для переходных составляющих напряжения, замеренные на двух ПС (А и В) при КЗ на кабельном участке кабельно-воздушной ЛЭП.

Один из предлагаемых подходов к оценке волновых портретов основан на использовании корреляционных функций. Корреляционные функции используют для характеристики случайных процессов в качестве меры взаимной связи двух случайных функций, при этом различают автокорреляционную и взаимную корреляционную (кросскорреляционную) функции. [2]

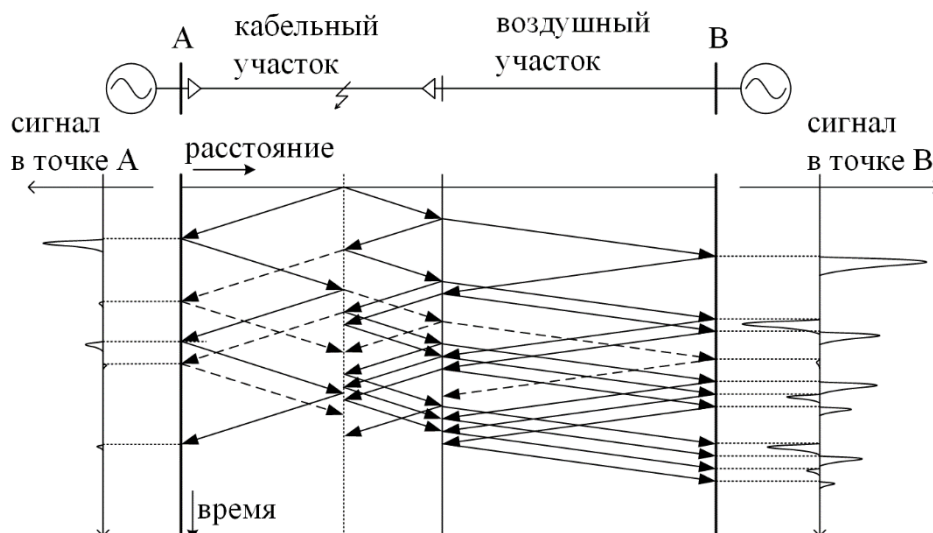


Рис. 1. Лестничная диаграмма и волновые портреты, замеренные на ПС А и В при КЗ на кабельном участке кабельно-воздушной ЛЭП

Для дискретных функций (сигналов) кросскорреляционную ( $R_{xy}$ ) функцию определяют в соответствии с уравнением (1). Автокорреляционная функция ( $R_{xx}$ ) получается, если в уравнение (1) вместо сигнала ( $y$ ) использовать тот же сигнал ( $x$ ). [5]

$$R_{xy}(n) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} [x(k) \cdot y(n+k)] \quad (1)$$

Используя кросскорреляционную функцию двух сигналов можно установить степень их соответствия или «похожести». В качестве примера на рисунке 2 (а) изображены три дискретных сигнала  $x$ ,  $y1$ ,  $y2$ , определим с помощью кросскорреляционной функции, какой из сигналов наиболее похож на сигнал  $x$ . Для этого вычислим корреляционные функции  $R_{xx}$ ,  $R_{xy1}$ ,  $R_{xy2}$  (рис. 2(б)).

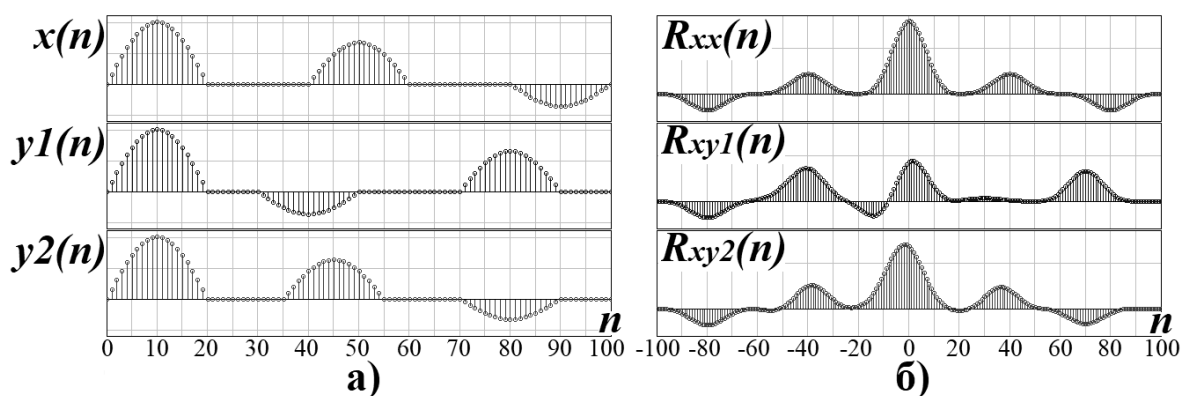


Рис. 2. Сравнимые сигналы (а) и корреляционные функции (б)

Как видно из рисунка 2(б), наибольшее значение максимума имеет корреляционная функция  $R_{xx}$ , чуть меньшее значение –  $R_{xy2}$ , а наименьшее значение –  $R_{xy1}$ . Результаты данных вычислений говорят следующее: наиболее похожим на сигнал ( $x$ ) является сам сигнал ( $x$ ) (что и следовало ожидать), из сигналов ( $y1$ ) и ( $y2$ ) наиболее похожим на сигнал ( $x$ ) является ( $y2$ ), что подтверждается зрительной оценкой.

Таким образом, на основе использования корреляционных функций можно построить алгоритм оценки волновых портретов, причем в качестве сравниваемого сигнала будет выступать «замеренный» волновой портрет, который будет сравниваться определенным образом с «эталонными» волновыми портретами, полученными ранее путем моделирования на ЭВМ.

Оцениваемый волновой портрет возможно получить путем цифровой фильтрации как сигнала напряжения, так и сигнала тока, снятого с вторичных цепей трансформаторов тока (в случае использования сигнала тока), трансформаторов напряжения (в случае использования сигнала напряжения) или ВЧ присоединения ЛЭП (фильтр присоединения, конденсатор отбора напряжения). Причем возможно использование комбинированного сигнала для выделения падающих или отраженных волн. Также вместо фазных величин возможно использовать модальные составляющие, выделив определенным образом, например, первую модальную составляющую возможно сократить количество измерительных систем до одной. Модальные составляющие являются аналогом симметричных составляющих, использующихся в теории электромагнитных процессов. [6]

Предлагаемые подходы по распознаванию волновых портретов, используя математический аппарат корреляционных функций, имеет хорошие перспективы в связи с развитием средств вычислительной техники и комплексов имитационного моделирования для энергетики и могут найти широкое применение не только для задач волновой релейной защиты, но и для задач волнового определения мест повреждения, автоматического повторного включения кабельно-воздушных линий электропередачи и др. [7]

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Sakis Meliopoulos A.P. and oth. Smart Grid Technologies for Autonomous Operation and Control. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, No. 1, 2011.-p. 1-10.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – 10-е изд. - М.: Гардарики, 2002. - 638 с.
3. Johns A.T., Salman. S.K. Digital protection for power systems. // Peter Pergrinus Ltd., on behalf of the Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1995.- 203 p.
4. Лачугин В.Ф. Релейная защита объектов электроэнергетических систем, основанная на использовании волновых методов: Диссертация, д.т.н., Москва, 2015. - 437 с.
5. Оппенгейм А., Шафер. Р. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ./ под ред. Ненашева А.С.- М.: Техно-сфера, 2006. - 856 с.
6. Микуцкий Г.В., Скитальцев В.С. Высокочастотная связь по линиям электропередачи: Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. - 448 с.
7. Моделирование волновых процессов на линиях электропередачи для повышения точности определения места повреждения / А.Л. Куликов, В.Ф. Лачугин, В.В. Ананьев, В.Ю. Вуколов, П.С. Платонов // Электрические станции. - 2015. - №7. - С.45-53.

Научный руководитель: А.Л. Куликов, д.т.н., профессор кафедры ЭССЭ ИНЭЛ НГТУ.

### **ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕТЕРМИНАЦИИ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАММ ОТКЛИКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ МЕТОДОМ НАНОСЕКУНДНЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Б.Л. Ковригин<sup>1</sup>, А.В. Лавринович<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1</sup>  
ЭНИН, ЭЭС  
ТОМСКНИПИНЕФТЬ<sup>2</sup>

#### **Введение**

Для того чтобы своевременно принять необходимые меры по предотвращению межвитковых замыканий и неконтролируемому выводу трансформатора из строя, крайне важно фиксировать изменения положения витков на раннем этапе. До настоящего времени не решена задача обнаружения таких изменений в обмотках трансформатора на стадии их зарождения. Известен метод наносекундных низковольтных импульсов (ННВИ), который считается наиболее чувствительным и перспективным методом обнаружения механического смещения витков [1–3]. Схема диагностики по методу ННВИ приведена на рисунке 1. Ос-

цилограммы отклика, полученные на заведомо исправном трансформаторе, принято называть «нормограммами». Осциллограммы, полученные при последующих диагностиках, принято называть «дефектограммами». Сравнение дефектограммы с нормограммой позволяет оценить текущее состояние испытуемого объекта [4, 5].



Рис. 1. Схема диагностики по методу ННВИ

Для служб диагностики и эксплуатации высоковольтных силовых трансформаторов необходим метод, который позволял бы, обработав результаты диагностики трансформатора по методике ННВИ, получить некий численный показатель, который позволял бы определять дальнейшую пригодность эксплуатации трансформатора по результатам диагностики методом ННВИ. По нашему мнению, одним из таких методов может быть применение коэффициента детерминации, который позволяет произвести количественный анализ данных, полученных в различных сериях экспериментов. Данный метод основан на сравнении двух осциллограмм посредством применения квадрата коэффициента корреляции Пирсона, суть которого заключается в корреляционно-регрессионном анализе, отражающем влияние вариации результативного признака  $Y$  (дефектограмма) на факторный признак  $X$  (нормограмма). Расчет коэффициента корреляции Пирсона производится по формуле:

$$R = \frac{\sum (N_i - N_{\text{средн.}}) \times (D_i - D_{\text{средн.}})}{\sqrt{\sum (N_i - N_{\text{средн.}})^2 \times \sum (D_i - D_{\text{средн.}})^2}} \quad (1)$$

Где:

$N_i$  – Значение  $i$ -ой точки построения нормограммы,

$D_i$  – Значение  $i$ -ой точки построения дефектограммы,

$N_{\text{средн.}}$  – Среднее значение точек построения нормограммы,

$D_{\text{средн.}}$  – Среднее значение точек построения дефектограммы.

Коэффициент детерминации « $R^2$ » в нашем случае характеризует величину, отражающую степень идентичности двух осциллограмм между собой. Он может изменяться в пределах от 0 (полное отсутствие идентичности) до +1 (полная идентичность) [6]. Детерминация отличий между двумя осциллограммами по всем точкам их построения позволяет получить значение коэффициента детерминации, который можно использовать как численный результат сравнения.



## Применение коэффициента парной корреляции

Для сравнения взяты осциллограммы испытаний, которые были проведены в цеху по ремонту оборудования Ишимского ТПО ОАО "Тюменьэнерго", г. Ишим, Тюменской области. Трансформатор ТМ-160/10-У1 производства 1993 г., ОАО «Алттранс», г. Барнаул, введенный в эксплуатацию в 1993 г., был испытан методом ННВИ, импульсом длиной 100 и 500 нс и фронтом 10...20 нс. Схема подключения установки к трансформатору соответствует схеме, представленной на рисунке 1. В рамках данного эксперимента, трансформатор ТМ160 был сначала испытан в полностью рабочем состоянии, со «здорового трансформатора» были сняты осциллограммы ННВИ. Далее, были исполнены характерные повреждения трансформатора такие как: замыкание 3х витков, смещение витков на фазе «Авн» в нижней части обмотки, смещение витков на фазе «Авн» в верхней и нижней частях обмотки. Всего было проведено порядка 100 различных измерений для каждого эксперимента. На каждый отдельный случай снималось по 3 осциллограммы отклика. Зондирующий импульс, а также измерительное оборудование были неизменны.

Для рассмотрения возможности применения коэффициента детерминации, мы взяли эксперименты, соответствующие подаче зондирующего импульса на ввод высшего напряжения трансформатора «Авн» и снятию отклика с ввода низшего напряжения трансформатора «Анн». Осциллограммы «здорового» трансформатора представлены на рисунке 2.

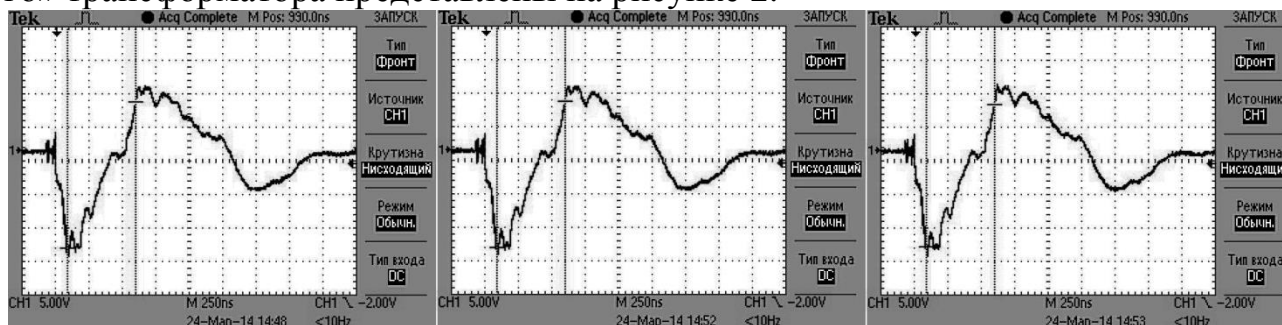


Рис. 2. Осциллограммы отклика «здорового» трансформатора ТМ-160/10-У1

Затем, данные осциллограммы были обработаны в программном комплексе Microsoft Excel. В одной координатной плоскости были построены все отклики «здорового» трансформатора. Значения коэффициентов детерминации для этих трёх осциллограмм изменяются в промежутке от 0,997 до 0,998. Для остальных экспериментов (межвитковое замыкание, смещение витков внизу обмотки, смещение витков внизу и вверху обмотки) были проделаны такие же действия, в каждом случае коэффициент детерминации находился в промежутке от 0,994 до 0,998. После проделанных вычислений, мы перешли к сравнению отклика «здорового» трансформатора с откликами повреждённого. Для более точного сравнения было решено использовать осциллограммы, построенные по средним (от трёх первичных осциллограмм) точкам. Сравнение откликов «здорового» и дефектного трансформатора проходило в одной координатной плоскости (рис. 3).

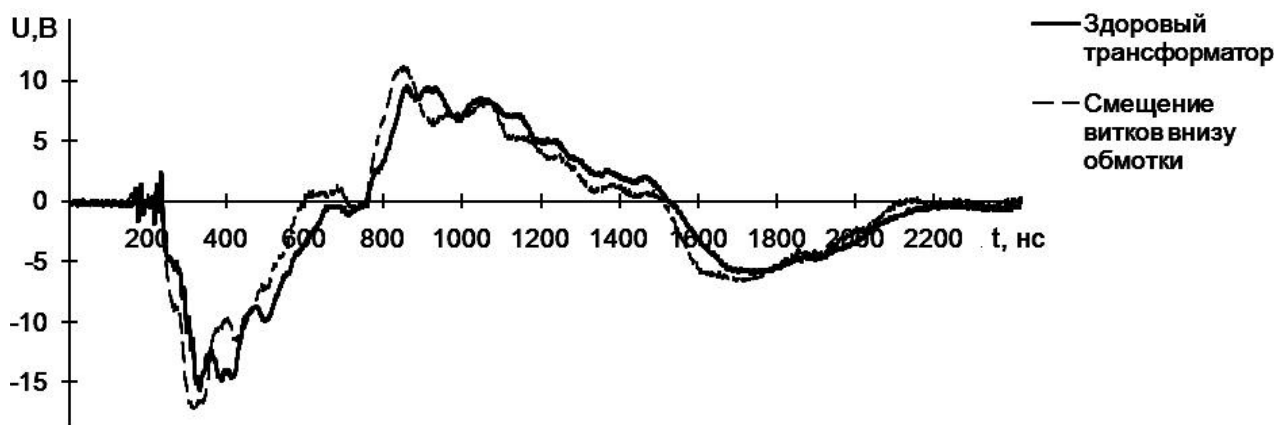


Рис. 3. Сравнение откликов «здорового» и дефектного трансформатора.

При сравнении, осциллограммы друг относительно друга дополнительно отстраиваем таким образом, чтобы по оси времени начало отклика одной осциллограммы, совпадало с откликом другой. Это необходимое условие для применения коэффициента детерминации. При сравнении откликов «здорового» и дефектного трансформатора был вычислен коэффициент детерминации. Получили значение 0,914. Результаты всех экспериментов были занесены в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты сравнения «здорового» и неисправного трансформатора

Вид повреждений трансформатора	Коэффициент детерминации $R^2$
Смещение витков вниз обмотки	0,914
Смещение витков вниз и вверх обмотки	0,910
Межвитковое замыкание 3-х витков	0,909
Отсутствие повреждений	0,997

### Заключение

Приведенные примеры обработки осциллограмм диагностики состояния обмоток трансформатора методом ННВИ для разных видов дефектов обмоток трансформатора позволяют утверждать, что предлагаемый подход применения коэффициента детерминации дает численное значение различия осциллограмм, полученных при испытании импульсным методом. Развитие данной методики является достаточно перспективной возможностью сделать импульсный метод диагностики более точным и понятным.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хренников А.Ю. Опыт обнаружения остаточных деформаций обмоток силовых трансформаторов // Энергетик. - N 7.- 2003.
2. Lavrinovich V.A. and Mytnikov A.V. Development of Pulsed Method for Diagnostics of Transformer Windings based on Short Probe Impulse. // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 22, No. 4, August 2015, pp. 2041-2045.
3. Lavrinovich V.A., Mytnikov A.V., Li Hongda. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies, Vol. 2, No. 3, September 2016, pp. 111-117.

4. Islam. A. Detection of Mechanical Deformation in Old Aged Power Transformer Using Cross Correlation Co-Efficient Analysis Method. – May 2012.
5. Количественная оценка результатов импульсного дефектографирования обмоток силовых трансформаторов // С.В. Аликин, А.А. Дробышевский, Е.И. Левицкая, М.А. Филатова // *Электротехника*. 1990. № 5.
6. Jay L. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences (8th ed.). *Cengage Learning*, Boston, 2011, pp. 508–510.

Научный руководитель: В.А. Лавринович, д.т.н., профессор каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## СЕКЦИЯ 9. УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

### РАЗРАБОТКА МАКЕТА ДИСКРЕТНОГО БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО ДРАЙВЕРА УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ GAN ТРАНЗИСТОРАМИ

Е.В. Ерофеев, И.В. Федин

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Появившись в середине 70-х годов прошлого века силовые MOSFET транзисторы на основе кремния (Si), благодаря большей скорости переключения и высокой эффективности, по сравнению с биполярными транзисторами, стали повсеместно использоваться в силовой электронике: источниках питания, DC-DC преобразователях, контроллерах двигателей и пр. Однако сейчас, после непрерывного развития в течение более чем трех десятилетий, производительность Si MOSFET транзисторов достигла своего теоретического предела. Следующим шагом в развитии силовой электроники стало появление мощных транзисторов на основе нитрида галлия (GaN) [1].

Уникальные физические характеристики нитрида галлия в сравнении с кремнием позволяют достигнуть значительных улучшений в производительности: понижение сопротивления открытого канала, рост скоростей переключения, сохранение надежности при высоких уровнях температуры и радиации, уменьшение размеров упаковки [2]. Возможность очень быстрого переключения практически без потерь, появляющаяся при использовании GaN транзисторов, означает возможность увеличить эффективность и уменьшить размер преобразователя, а также уменьшить себестоимость его изготовления за счет отказа от ряда дорогостоящих пассивных элементов (фильтров) схемы. Кроме того, GaN транзисторы характеризуются более высокой радиационной стойкостью и способностью работать при высоких рабочих температурах (до 300 °С), что является ключевым аспектом при создании электронной компонентной базы для военной и аэрокосмической техники следующего поколения.

Для применения в силовой электронике необходимы нормально закрытые GaN транзисторы, работающие в режиме обогащения [3]. Для создания нормально-закрытых GaN транзисторов чаще всего используют подзатворную область на основе GaN, легированного магнием (p-GaN) [4] – [5].

При этом пороговое напряжение отпираания GaN транзистора с подзатворной областью на основе p-GaN определяется главным образом толщиной эпитаксиального слоя p-GaN и уровнем его легирования. Оптимизация данных параметров позволяет добиться порогового напряжения отпираания GaN транзисторов близкого к  $U_{nop} = + 2$  В, что делает их не совместимыми с работой типовых микросхем драйверов управления кремниевых MOSFET, у которых порог отпираания варьируется от + 2 В до + 5,5 В. Низкий порог  $U_{nop}$  уменьшает стойкость транзистора к изменениям  $dV/dt$ , что уменьшает надежность и применимость в высоковольтных схемах. Кроме того, низкий порог отпираания в совокупности с низким максимально возможным прикладываемым к затвору

напряжением увеличивает ток, необходимый для быстрого перехода GaN транзистора в ключевой режим и потенциально ограничивает область увеличения скорости переключения таких транзисторов. Таким образом, для использования силовых GaN транзисторов в рабочих схемах преобразователей необходим специальный драйвер управления.

В настоящей работе представлены результаты разработки макета дискретного быстродействующего драйвера управления силовыми GaN транзисторами, полностью совместимого с их работой на высоких частотах преобразования.

Далее рассмотрим основные требования к разрабатываемому драйверу управления силовыми GaN транзисторами исходя из особенностей их работы.

Для обеспечения частотных, временных характеристик, позволяющих осуществить высокое быстродействие переключения GaN транзисторами драйвер управления должен обеспечивать время нарастания фронта управляющего импульса и спада фронта управляющего импульса не более 10 нс, а время задержки импульсов управления не более 30 нс. Для удобства применения драйвера управления требуется, чтобы напряжение питания схемы было в диапазоне от уровня КМОП логики до порядка +15 В ... +40 В, при этом выходное напряжение управляющих сигналов должно быть не больше +6 В. Уровень ограничения, принятый в мировой практике составляет +5 В. Конструкция и электрические цепи драйвера должны позволять изменять уровень напряжения и емкость цепи питания выходного каскада за счет пайки дополнительных компонентов, замены существующих, а также изменения сопротивления подстроечного резистора. Питание выходного каскада должно обеспечивать регулировку уровня напряжения на выходе в широком диапазоне, при этом уровень пульсаций напряжения в цепи питания при включении и выключении управляемого транзистора не должен превышать 10% от номинальной величины напряжения питания выходного каскада. Драйвер управления должен быть конструктивно законченным изделием в виде макета печатной платы с установленными с помощью пайки электронными компонентами. Макет должен быть разработан с применением современной зарубежной и/или отечественной элементной базы с использованием пассивных электронных компонентов и полупроводниковых приборов, а также должен предусматривать возможность соединения к элементам питания, контроля и управления макетом с помощью пайки на специальные контактные площадки или разъемного соединения. Кроме того, макет должен иметь защиту от переплюсовки входного напряжения питания схемы драйвера. При подаче отрицательного напряжения на входные выводы макета драйвера, схема не должна потреблять энергию и не должна выходить из строя.

На рис. 1 представлена электрическая схема разработанного макета дискретного драйвера управления силовыми GaN транзисторами. Макет драйвера управления был спроектирован на базе зарубежных кремниевых транзисторов 2N2369A.

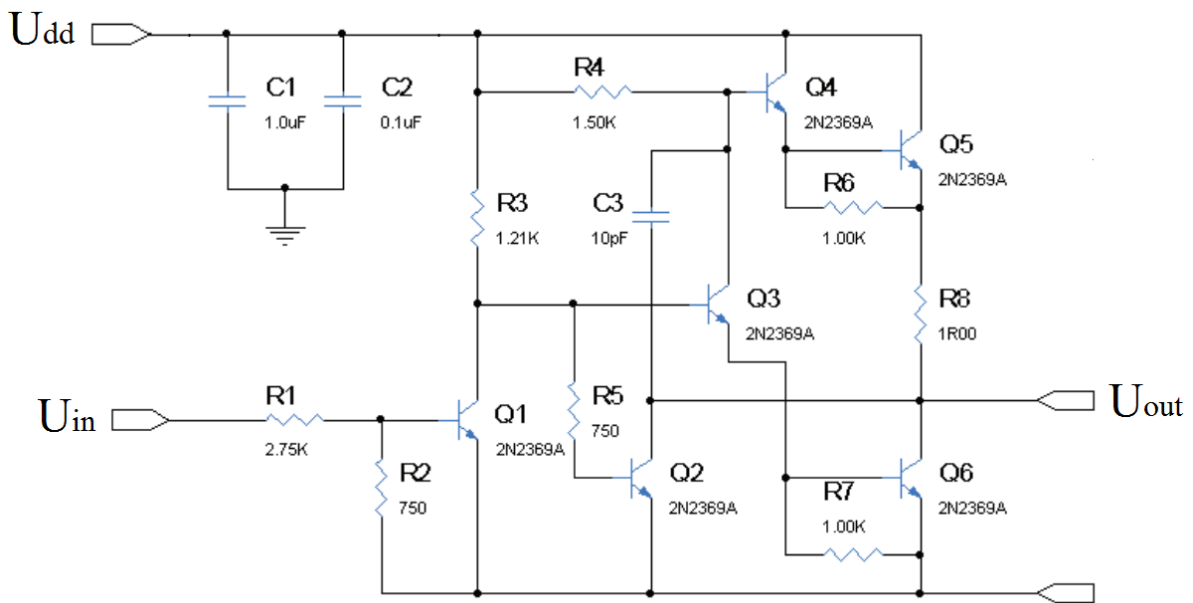


Рис. 1. Электрическая схема разработанного макета дискретного быстродействующего драйвера управления силовыми GaN транзисторами

На рис. 2 представлена передаточная характеристика ( $U_{out}=f(U_{in})$ ) разработанного макета дискретного драйвера управления силовыми GaN транзисторами.

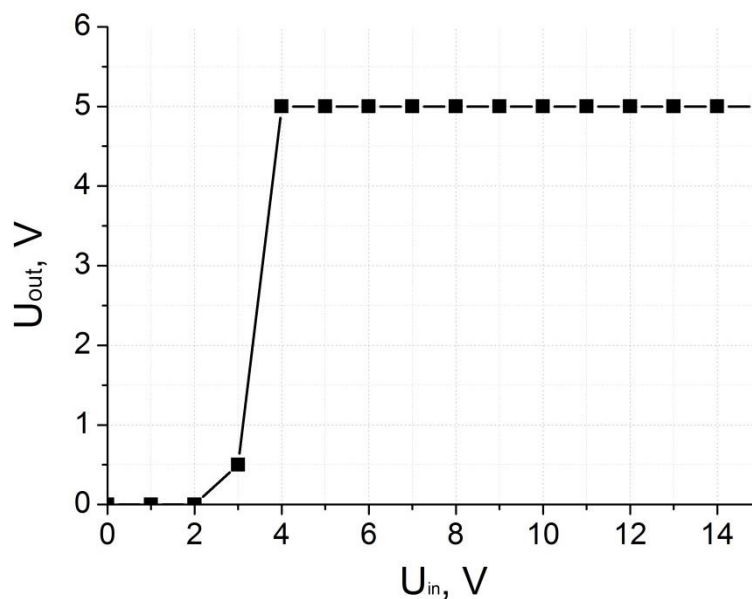


Рис. 2. Передаточная характеристика ( $U_{out}=f(U_{in})$ ) разработанного макета дискретного быстродействующего драйвера управления силовыми GaN транзисторами

Как видно из результатов, представленных на рис. 2, разработанный драйвер управления в большом диапазоне управляющего напряжения на входе  $U_{in}$  от 4 до 15 В позволяет сформировать постоянный уровень напряжения на выходе  $U_{out} = 5$  В, что позволяет его использовать для безопасного управления силовыми коммутационными GaN транзисторами в составе преобразователей напряжения высокой эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках соглашения №14.577.21.0204 от 27.10.15, уникальный идентификатор проекта RFMEFI57715X0204.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Briere M. GaN-based Power Device Platform. The arrival of a new paradigm in conversion technology. – URL: <http://www.powersystemdesign.com>.
2. GaN-on-Silicon wafers: the enabler of GaN power electronics. – Power Devices. 2012. N. 4. PP. 6-9.
3. J. Würfl, O. Hilt, E. Bahat-Treidel, R. Zhytnytska, K. Klein, P. Kotara, F. Brunner, A. Knauer, O. Krüger, M. Weyers, G. Tränkle. Technological approaches towards high voltage, fast switching GaN power transistors // ECS Trans. 2013. V. 52. N. 1. PP. 979-989.
4. Y. Uemoto, M. Hikita, H. Ueno, H. Matsuo, H. Ishida, M. Yanagihara, T. Ueda, T. Tanaka and D. Ueda. Gate injection transistor (GIT) – A normally-off AlGaIn/GaN power transistor using conductivity modulation // IEEE Trans. On Electron devices. 2007. V. 54. N. 12. PP. 3393-3395
5. Finella Lee, Lian-Yu Su, Chih-Hao Wang, Yuh-Renn Wu. Impact of gate metal on the performance of p-GaN/AlGaIn/GaN high electron mobility transistors // IEEE Electron Device Letters. 2015. V. 36. N. 3. PP. 232-234.

Научный руководитель: Е.В. Ерофеев, к.т.н, младший научный сотрудник, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

С.Н. Федорович  
Томский политехнический университет  
ЭНИН ЭПП, группа 5АМ6Е

**Ключевые слова:** режимы работы электрической сети, расчет режимов, потери мощности, снижение потерь мощности, распределительная сеть.

#### Реферат

Объектом исследования является участок городской распределительной сети 10/0,4 кВ города Томск. Целью исследования является поиск и разработка технических решений для оптимизации режимов работы городской питающей электрической сети с помощью использования современных прикладных средств расчета. Область применения: городские и сельские распределительные сети 10/0,4 кВ. Экономический эффект: результаты исследования помогут снизить реальный уровень потерь мощности и энергии. В ходе исследования были рассчитаны различные режимы работы электрических сетей в программном комплексе.

## Введение

Россия является одной из наиболее энергоемких экономик в мире. Это связано с климатическими условиями, а также с расположением промышленности и населения на своей обширной территории. Согласно проведенным исследованиям, существует значительный потенциал для энергосбережения в России, и это сократит потребление электроэнергии наполовину [1]. Существует проблема неэффективного использования энергетического оборудования в распределительных сетях в результате несбалансированной фазовой нагрузки и т.д.

Таким образом, основной задачей данного исследования является поиск и расчет оптимальных режимов работы электрической сети, а также разработка мероприятий для снижения потерь мощности.

Существуют различные методы снижения потерь мощности, которые можно разделить на три основные группы: организационные, технические и методы совершенствования систем учета электроэнергии [2]. Организационные мероприятия включают в себя:

1. поиск мест размыкания сети с двухсторонним питанием;
2. снижение несимметрии;
3. оптимизация загрузки оборудования (кабельных линий и трансформаторов).

Технические мероприятия, как правило, подразумевают установку специального оборудования. Например, для снижения потерь мощности может быть установлена конденсаторная батарея. Также для снижения влияния высших гармоник может быть использовано фильтрокомпенсирующее устройство [3]. Установка данного оборудования требует значительных инвестиций, а срок окупаемости, зачастую, не оправдывает вложения, поэтому в данной работе применялись, в основном, организационные мероприятия. Так, в работе И.И. Елфимов [4] рассмотрел возможность установки конденсаторных батарей и замены трансформаторов на зигзагообразные трансформаторы. В результате было сообщено об уменьшении текущей асимметрии и потерь мощности, но этот результат невелик.

Особенностью рассматриваемого участка распределительной сети является низкий уровень загрузки оборудования, в частности трансформаторов. Из результатов расчета режима максимальных нагрузок следует, что большая часть трансформаторов имеет значение коэффициента загрузки менее 45% (таблица 1).

Табл. 1.

Загрузка трансформаторов на подстанциях в режиме максимальных нагрузок

ТП	481	459	457	351	585	587	768	784	786	788	395	145	343	347	327
T1, %	28	36	44,5	6,4	28,7	28,9	44,3	13,5	13,8	18,8	23,1	37,9	31,0	10,8	28,5
T2, %	28	11,6	5,1	-	-	-	7,7	18,6	8,3	12,4	19,4	37,9	20,8	24,1	14,7

## Отключение части оборудования

Так как основная особенность рассматриваемого участка – низкая загрузка оборудования, следует рассмотреть возможность отключения части оборуду-



дования и оценить эффект от этих мероприятий [5]. Так как кабельные линии имеют только нагрузочные потери, следует рассмотреть отключение трансформаторов с целью снижения потерь холостого хода.

В трансформаторе есть нагрузочные потери (зависящие от напряжения) и потери холостого хода (постоянные потери, независимые от напряжения). Потери холостого хода зависят от номинальной мощности трансформатора – чем больше номинальная мощность, тем больше потери холостого хода (XX). Потери мощности для трансформатора могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \Delta P_{\text{XX}} + \Delta P_{\text{нагр}} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \quad (1)$$

В основном на подстанциях установлено два параллельно или отдельно работающих трансформатора, так как они недогружены, отключение одного из двух работающих трансформаторов приведет к снижению потерь. Для двух параллельно работающих трансформаторов суммарные потери мощности могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{ТР}} = \Delta P_{\text{XX}} \cdot n + \frac{1}{n} \cdot \Delta P_{\text{нагр}} \cdot \frac{S^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \quad (2)$$

Для определения величины мощности нагрузки, при которой работа одного трансформатора экономически более осуществима, чем параллельная работа двух трансформаторов, мы можем использовать следующую формулу:

$$S_{\text{ОПТ}} \geq S_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{\text{нагр}}}{\Delta P_{\text{XX}}}} \quad (3)$$

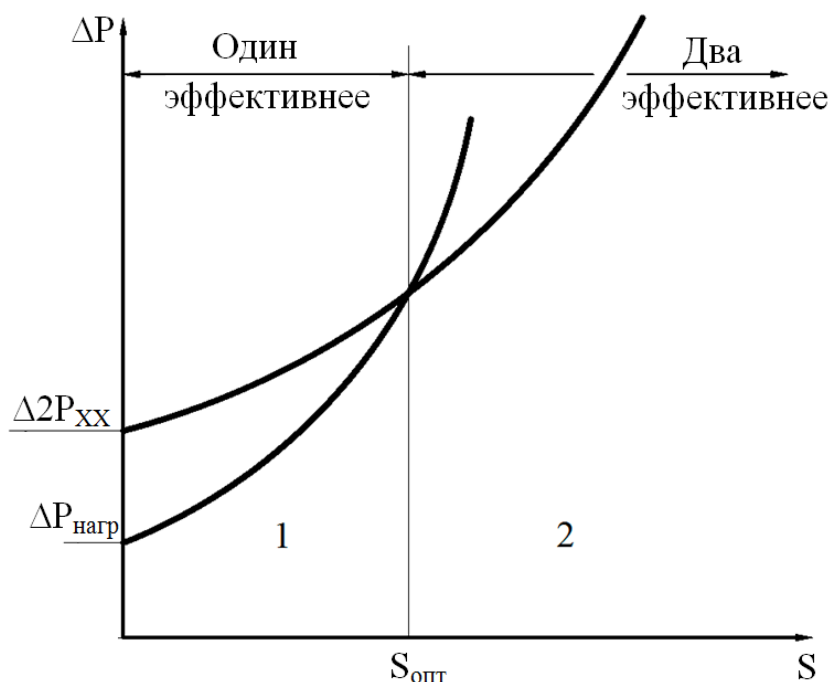


Рис. 1. Динамика изменения потерь при различных режимах работы трансформаторов

Исходя из результатов ручного расчета, использование одного трансформатора является наиболее эффективным по сравнению с параллельной работой (рисунок 1, область 1). Однако расчет с помощью прикладных программных средств показал обратное – уровень потерь не изменился, однако напряжение в некоторых узлах значительно снизилось (увеличение нагрузочных потерь в кабельных линиях скомпенсировало снижение потерь в трансформаторах). Таким образом, отключение трансформаторов оказалось неэффективным методом для данного участка сети.

Проанализировав результаты, был сделан вывод о том, что трансформаторы работают практически на холостом ходу. Так как максимальный КПД трансформатора наблюдается при равенстве нагрузочных потерь и потерь ХХ (рисунок 2), а в результатах расчета нагрузочные потери меньше, чем потери холостого хода, для определения оптимальной загрузки трансформаторов было произведено увеличение мощности нагрузки.

На данном этапе выяснилось, что система имеет значительный потенциал роста нагрузки. Трансформаторы на подстанциях устанавливались с перспективой роста нагрузки промышленности, но промышленность переехала в пригород или на окраины города с целью экономии на аренде. Таким образом, рост нагрузки приведет к снижению удельного уровня потерь, однако рост нагрузки коммунально-бытовой зоны не высок и на достижение определенных уровней нагрузки уйдет не одно десятилетие. Для снижения потерь функционирующего участка распределительной сети, в настоящее время рассматриваются вопросы размыкания сети с двухсторонним питанием, а также снижение уровня фазной несимметрии.

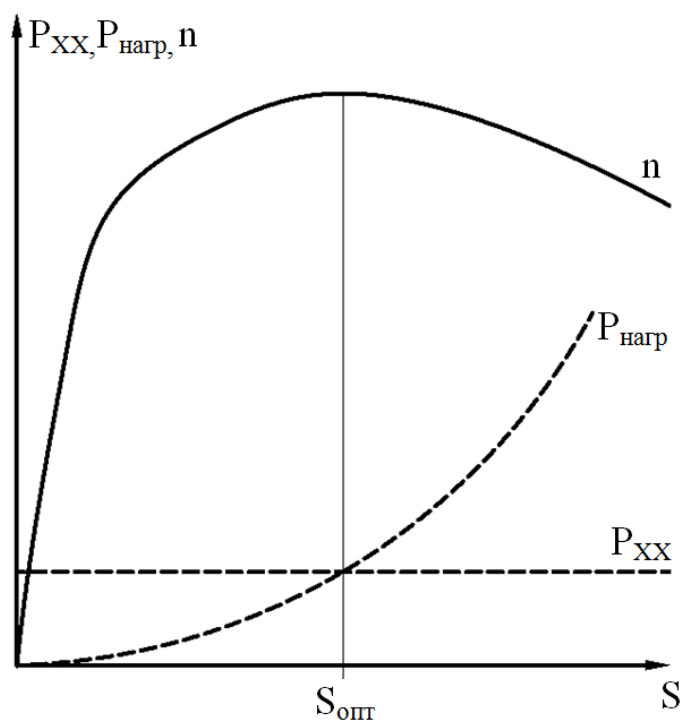


Рис. 2. Изменение КПД в зависимости от загрузки трансформаторов

## ЛИТЕРАТУРА:

1. М.И. Фурсанов, Оптимальные уровни потерь в распределительных электрических сетях. Журнал «Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ», 2014, 15-26.
2. Г.Н. Климова, Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 180 с.
3. Д.Е. Дулепов, Т.Е. Тюдина, Расчет несимметрии напряжений СЭС. Журнал «Вестник НГИЭИ», 2015, 35-36.
4. И.И. Елфимов, Е. А. Шутов, Оптимизация режимов работы электрических сетей, ТПУ 2016.
5. А.Л. Трушников, В. Н. Радкевич, Выбор рациональных режимов работы силовых трансформаторов по условию минимума потерь активной мощности. Журнал «Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О.Сухого», 2006.

Научный руководитель: Е.А. Шутов, к.т.н., доцент каф. ЭПП ЭНИН ТПУ.

## USING CLUSTERING METHODS FOR VOLTAGE STEADY-STATE LOAD CHARACTERISTICS IDENTIFICATION

М.А. Kondrashov<sup>1</sup>, А.У. Smirnova<sup>2</sup>

National Research Tomsk Polytechnic University<sup>1,2</sup>

Institute of Power Engineering, Department of Power Grids and Electrical Engineering, group 5AM6D<sup>1</sup>

Institute of Natural Resources, Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Land Management, group 2UM71<sup>2</sup>

At present, the electric power industry has shifted to the new information standards IEC 61970 and 61968, collectively called the "Common Information Model" (CIM). These standards define a semantic model that describes the elements of the energy system in the form of objects of specified classes, their properties and connections.

In this regard, the problem of the correct description of one of the most important elements of the power system - the electric load - was most acute for the power engineers. The most reliable way of describing the load is the static load characteristics.

The voltage steady-state load characteristics are the dependences of the active and reactive load power on the applied voltage in the steady state, at a constant (as a rule, nominal) frequency. For the majority of large nodes of the power system, the voltage steady-state load characteristics are approximately described by a polynomial of the second degree:

$$\begin{aligned}
 P(U) &= P_{BAS} \cdot \left( a_0 + a_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + a_2 \cdot \left( \frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right), \\
 Q(U) &= Q_{BAS} \cdot \left( b_0 + b_1 \cdot \frac{U}{U_{BAS}} + b_2 \cdot \left( \frac{U}{U_{BAS}} \right)^2 \right).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Methods of identification the voltage steady-state load characteristics are conducting passive or active experiments [1].

In the passive experiment, the information about the object is collected by passive observation, that is, information obtained in conditions of normal operation of the object. An active experiment is conducted with the use of artificial impact on the object under a special program.

Both methods have their advantages and disadvantages, however, in favor of a passive experiment tells its simplicity and the possibility of implementing for any host load, especially in the presence of telemetry.

Goal: to evaluate the effectiveness of different methods of cluster analysis when solving problems in processing telemetry.

Some of the largest consumers of electrical energy are metallurgical plants. This is due to the technological process and the equipment used, for example, an electric arc furnace (EAF) (fig. 1).

The electric arc furnace is a furnace in which the thermal effect of an electric arc is used for melting metals and other materials.

In this paper we used telemetry data from an electric arc furnace with a capacity of 100 tons (fig. 2).

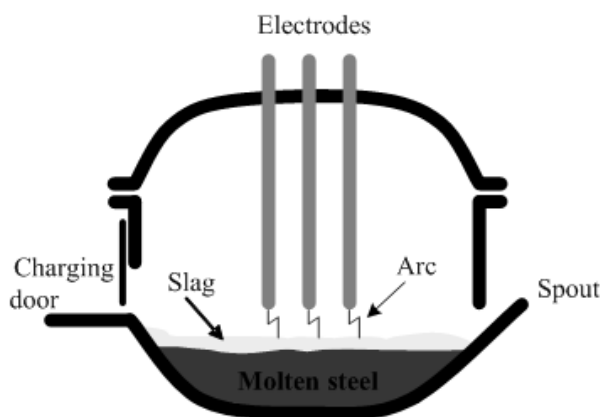


Fig. 1. Scheme of an electric arc furnace

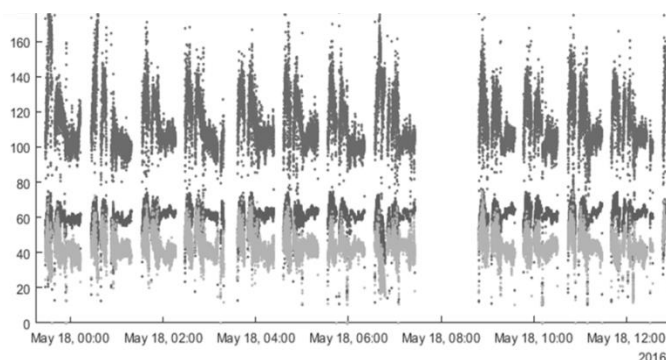


Fig. 2. Telemetry data of active, reactive power and voltage

Clustering (or cluster analysis) is the task of splitting a set of objects into groups, called clusters. Within each group there should be "similar" objects, and the objects of different groups should be as different as possible. The main difference between clustering and classification is that the list of groups is not clearly defined and is determined in the course of the algorithm [3,4].

The application of cluster analysis in its general form reduces to the following stages:

- • Selecting a selection of objects for clustering.
- • Define the set of variables by which objects in the sample will be evaluated. If necessary - the normalization of the values of variables.
- • Calculate the values of the measure of similarity between objects.
- • Apply the cluster analysis method to create groups of similar objects (clusters).
- • Presentation of the analysis results.

### **Hierarchical clustering**

The essence of this method is that at the first stage the similarity or difference between each pair of objects in the data set is determined using different metrics; Further, a hierarchical tree of binary clusters is formed using different algorithms, and then clusters are formed using the results of the second stage.

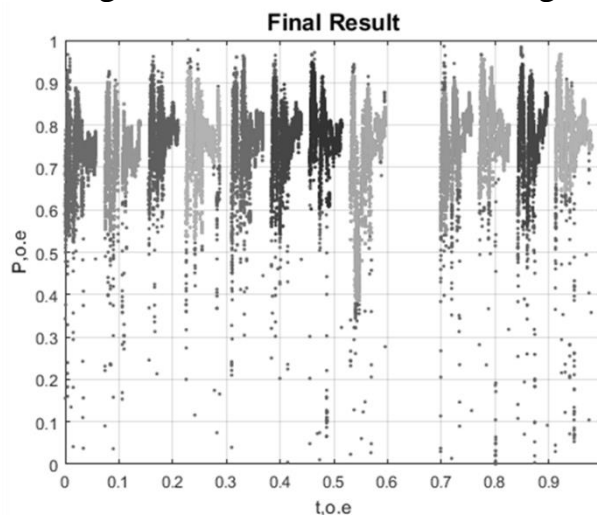


Fig. 3. The final result obtained by hierarchical clustering

Advantages of the method: there is no need to perform additional operations; sufficient quality of clustering; simplicity of implementation.

Disadvantages: the need for several iterations, the sensitivity to the number of clusters.

Other methods will be compared with the results of hierarchical clustering.

### **Gaussian mixture method**

When clustering based on this method, it is assumed that the data is generated by a mixture of probability distributions in which each component represents another cluster. Generative models are usually solved using the EM algorithm, which is the most widely used method for estimating the probability density of a finite mixture. The EM algorithm starts with random or heuristic initialization, and then iteratively uses two steps to solve the roundness in the calculation:

E-Step. Determine the expected probability of assigning data points to clusters using the current model parameters.

M-Step. Determine the optimal parameters for the model of each mixture, using the probability of distribution as a weight.

Advantages: sufficient quality of clustering; there is no need for several iterations.

Disadvantages: the need for an additional unification operation; sensitivity to the number of clusters.

#### **The method of K-means (K-means)**

The method of K-means uses an iterative algorithm to minimize the intracluster sum of distances of cluster objects to its centroid across all k clusters, consisting of two stages:

The first phase is designed to search for the approximate value of centroids of clusters and preliminary grouping of objects into clusters.

The second phase is designed to find an exact and final solution.

Advantages: ease of implementation.

Disadvantages: insufficient accuracy; the need for iterations and additional join operations, the sensitivity to the number of clusters.

#### **The method of self-organizing maps of Kohonen**

Self-organizing maps Kohonen designed to visualize the multidimensional properties of objects on a two-dimensional map. Kohonen maps produce a mapping of high-dimensional input data to elements of a regular array of small dimension. [5]

Advantages: increased accuracy in determining clusters; there is no need to iterate; visibility, there is no sensitivity to the number of clusters.

Disadvantages: dependence on the number of epochs; need for a join operation.

The result is presented in figure 4:

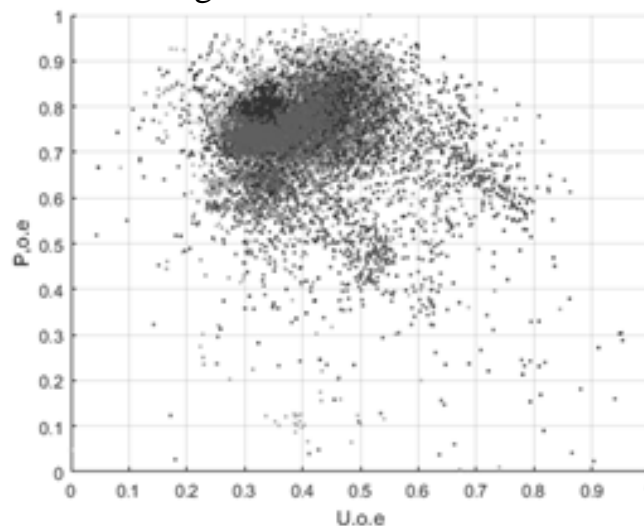


Fig. 4. The Dependence  $P(U)$

Obtained in this study result will be used to identify voltage steady-state load characteristics using regression analysis techniques.

#### **Conclusion**

The analysis showed that the most convenient, simple and fast method of cluster analysis from the above is the method of hierarchical clustering. At the same time, the most accurate method is the method of Kohonen maps. The results obtained make

it possible to extract clusters belonging to the same load states from all measurement data for further processing by filtration methods and regression analysis. Thus, the static characteristics of the load can be obtained from the data of a single passive experiment.

#### REFERENCES:

1. Gurevich, Yu.E. Application of mathematical models of electrical load in the calculation of power systems and reliability of power supply to industrial consumers / Yu.E. Gurevich, L.E. Libov. - Moscow: ELEKS-KM, 2008. - 248 p.
2. Svenchansky A.D., Smelyansky M.Ya. Electric industrial furnaces. Part 2. Arc furnaces Textbook for high schools. M.: Energia, 1970. - 264 p.
3. Mandel I.D. Cluster analysis. - Moscow: Finance and Statistics, 1988
4. Vorontsov K.V. Algorithms for clustering and multidimensional scaling. Lecture course. MSU, 2007
5. T. Kohonen. Self-organizing maps. - Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2008. - 655 p.

Research supervisor: A.V. Pankratov, PhD, Institute of Power Engineering, Department of Power Grids and Electrical Engineering.

### **ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАГРУЗКИ**

М.А. Кондрашов<sup>1</sup>, А.Ю. Смирнова<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ6Д<sup>1</sup>  
ИПР, группа 2УМ71<sup>2</sup>

Актуализация фактических статических характеристик нагрузки по напряжению (СХН) крупных потребителей энергосистемы России является одной из приоритетных задач совершенствования средств и деятельности по расчету, анализу и планированию текущих и перспективных электроэнергетических режимов согласно Программе инновационного развития АО «Системный оператор Единой энергетической системы». Решается эта задача, как правило, организацией экспериментальных испытаний с изменением напряжения на шинах потребителя. Такие испытания принято называть «активным экспериментом». Другим способом идентификации СХН является накопление и обработка результатов измерений параметров режима без вмешательства в естественный процесс функционирования потребителя, или «пассивный эксперимент».

Как в случае активного, так и в случае пассивного эксперимента одной из задач обработки данных является кластеризация результатов. Это связано с тем, что параметры режима изменяются под воздействием двух причин: как вследствие изменения напряжения, так и вследствие изменения состояния самой

нагрузки [1]. Задачей кластеризации в этом случае будет являться разделение измеренных значений на кластеры, соответствующие одному и тому же состоянию нагрузки.

Обзор и сопоставление существующих методов кластерного анализа [2-4], таких как иерархическая кластеризация, метод Гауссовой смеси, метод K-means (K-средних), метод самоорганизующихся карт Кохонена и др. показал, что наиболее удовлетворительные результаты дает метод иерархической кластеризации. Рассмотрим его применение в задаче обработки данных телеизмерений, фиксировавших напряжение и потребляемую реактивную мощность одного из алюминиевых заводов. Измеренные значения напряжения  $U$  и реактивной мощности  $Q$  в зависимости от времени представлены на рисунке 1.

Для реализации поставленной задачи было написано прикладное программное обеспечение на языке программирования С# позволяющее производить кластерный анализ методом иерархической кластеризации и использовать результаты в регрессионном анализе для получения коэффициентов статической характеристики нагрузки. В качестве СХН в данном случае была принята линейная функция

$$Q(U) = Q_{bas} \cdot \left( a_0 + a_1 \cdot \frac{U}{U_{bas}} \right) \quad (1)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  – коэффициенты СХН в относительных единицах;  $U_{bas}$  и  $Q_{bas}$  – базисные значения напряжения и реактивной мощности соответственно.

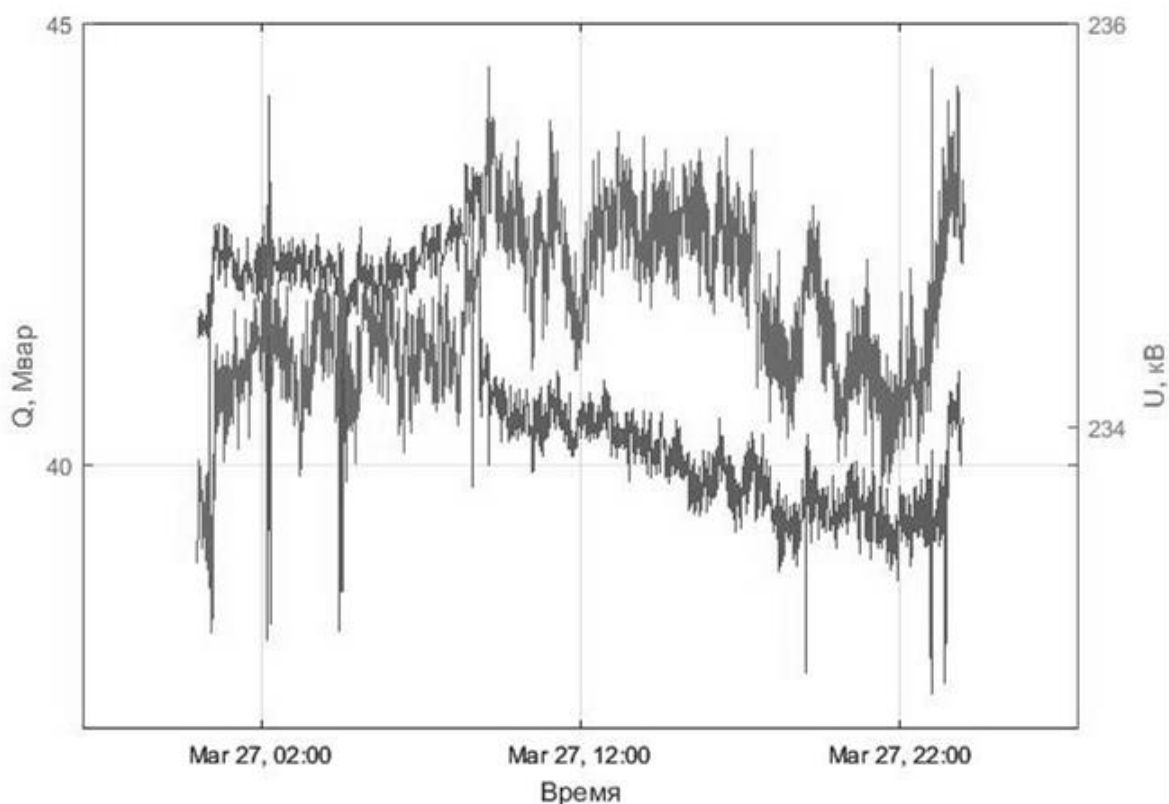


Рис. 1. Зависимости реактивной мощностей и напряжения от времени

Поставленную системную задачу можно разбить на несколько подзадач, которые решаются определенными модулями разработанного программного



обеспечения: построение временных зависимостей; дискретизация с заданной частотой; кластеризация и регрессионный анализ.

Результаты кластерного анализа представлены на рисунке 2. Как можно видеть на данном рисунке весь массив значений зависимости  $Q(U)$  разбит на три кластера, соответствующие трем состояниям исследуемой нагрузки. Для каждого состояния нагрузки определена своя СХН, показанная в именованных единицах на рисунке 2 прямой линией. При этом в качестве базисного напряжения принято математическое ожидание всех измеренных значений напряжения  $U_{bas} = 233,5$  кВ. Полученные базисные значения реактивной мощности и коэффициенты СХН для каждого из кластеров приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты кластерного и регрессионного анализа

	$Q_{bas}$ , Мвар	$a_0$ , о.е.	$a_1$ , о.е.
Кластер 1	39,4	-2,75	3,74
Кластер 2	43,7	-2,04	3,04
Кластер 3	41,8	-3,7	4,7

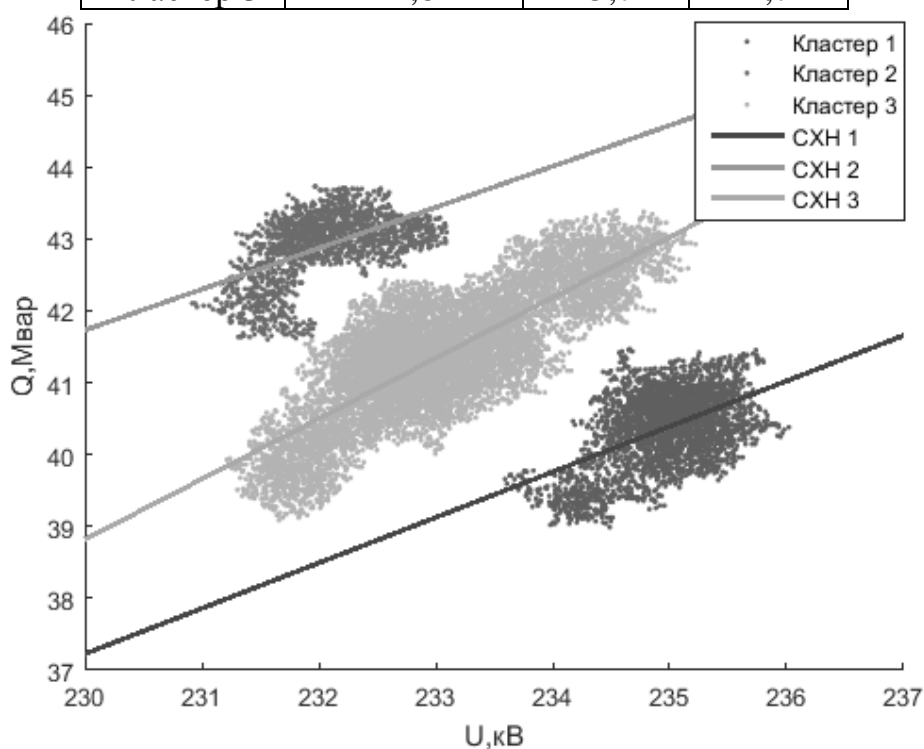


Рис. 2. Полученные кластеры и линейные СХН в именованных единицах

Физический смысл коэффициента  $a_1$  – это регулирующий эффект нагрузки по напряжению. Как видим, для всех трех кластеров этот параметр лежит в пределах 3 – 4,7. Малый разброс значений позволяет сделать вывод о том, что полученные результаты имеют статистическую достоверность. То же можно наблюдать и при построении СХН в относительных единицах, рисунок 3.

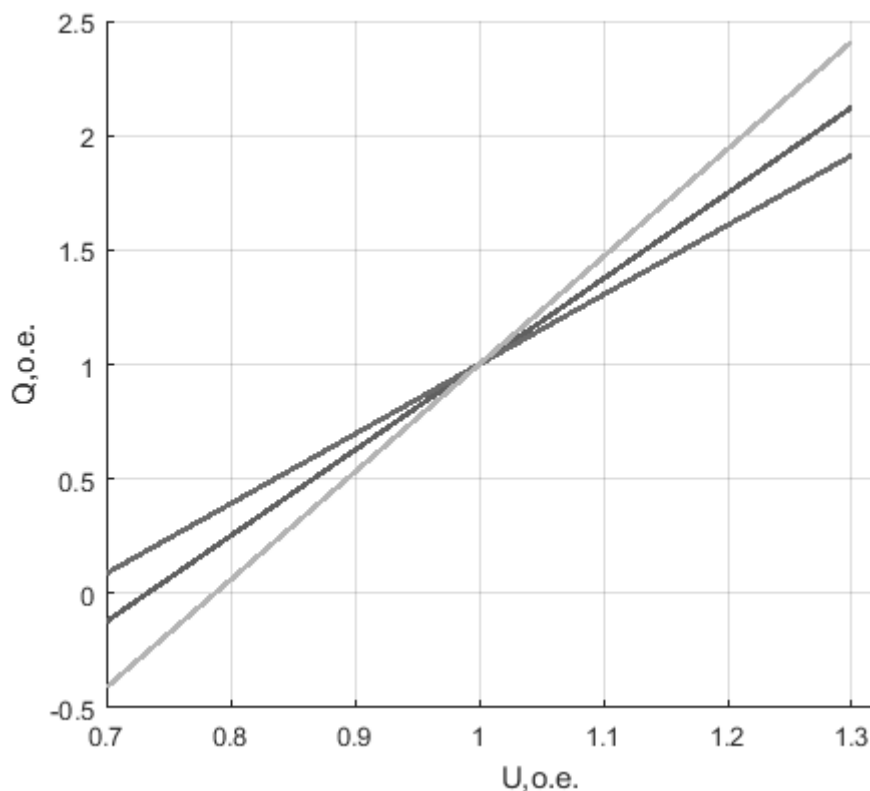


Рис. 3. Статические характеристики нагрузки в относительных единицах

В заключении можно сделать несколько выводов:

1. При получении статических характеристик нагрузки по напряжению кроме результатов активного эксперимента могут быть также использованы данные пассивных наблюдений;
2. При обработке данных пассивных наблюдений необходимо решить задачу кластеризации по состояниям нагрузки;
3. Для этой цели с успехом может быть использован метод иерархической кластеризации;
4. В ряде случаев данные пассивных наблюдений позволяют определить значение регулирующего эффекта нагрузки;
5. Сопоставление характеристик, полученных для разных кластеров, позволяет оценить достоверность полученных результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тавлинцев А.С., Суворов А.А. Статистически равновесные состояния нагрузки в задаче идентификации статических характеристик нагрузки / Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17. № 2. С. 23-28.
2. Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и Статистика, 1988.
3. Воронцов К.В. Алгоритмы кластеризации и многомерного шкалирования. Курс лекций. МГУ, 2007.

4. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 655 с.

Научный руководитель: А.В. Панкратов, к.т.н., доцент каф. ЭСиЭ ЭНИН ТПУ.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ В РАМКАХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ**

Ф.С. Непша, В.М. Ефременко

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

В процессе эксплуатации систем электроснабжения (СЭС) угольных шахт возникает необходимость в расчете и анализе электрических режимов. При этом расчет электрических режимов необходим для решения задачи оптимизации режима работы СЭС по различным критериям (минимум потерь (потребления) активной мощности, обеспечение нормативных показателей качества электроэнергии), а также определения критических уровней напряжения, при которых возможно нарушение устойчивости работы двигательной нагрузки.

Для выполнения расчета электрического режима необходимо создать модель СЭС угольной шахты, которая должна быть представлена в виде графа, состоящего из узлов и ветвей.

В состав модели СЭС угольной шахты входят следующие типы узлов:

1. *Нагрузочные узлы*, которые представляют характеристики электроприемников или групп электроприемников.
2. *Базисный узел*, в котором задаются параметры питающей сети и относительно которого выполняется расчет режимов. Как правило, устанавливается на границе раздела между угольной шахтой и энергоснабжающей организацией.
3. *Генераторные узлы*, представляют объекты генерации, которые могут входить в состав СЭС угольной шахты.

Также в состав модели входят различные типы ветвей:

4. *Трансформаторные ветви*, которые представляют характеристики трансформаторов главных понизительных подстанций (ГПП), передвижных участковых подземных подстанций (ПУПП).
5. *Ветви линий*, которые представляют характеристики линий, образующих СЭС угольной шахты.
6. *Ветви выключателей*, представляют выключатели, с помощью которых выполняется изменение топологии СЭС.

На основании созданной модели выполняется формирование уравнений установившегося режима (УУР). Существует большое количество численных методов, с помощью которых они могут быть обработаны для получения данных о модулях и фазах напряжения в узлах, однако точных методов для решения этих уравнений не существует. Методы решения нелинейных УУР подробно рассмотрены в работах [1-7].

Методы решения нелинейных УУР можно классифицировать следующим образом:

- I. Традиционные методы
  1. Метод покоординатного спуска (градиентный метод).
  2. Методы зейделевского типа (методы Зейделя и Гаусса-Зейделя).
  3. Метод узловых напряжений.
  4. Методы Ньютоновского типа (классический метод Ньютона; методы по параметру; методы, основанные на изменении точки линеаризации по ходу формирования матрицы Якоби и ее треугольного разложения (методы К.М. Брауна, Н.И. Бартоломея)).
- II. Нетрадиционные методы (метод нечеткой логики; метод на базе искусственных нейронных сетей, прочие методы (на базе генетических алгоритмов и др.)).

В [2] рассмотрено применение для решения УУР метода наискорейшего спуска. Показано, что скорость сходимости метода наискорейшего спуска принципиально не изменится, если УУР будут записаны в любой другой форме и полярных координатах. При этом выполнялось изменение других параметров схемы замещения: количество узлов, класс напряжений, степень неоднородности пассивных параметров, величины нагрузок и др., но улучшения сходимости при этом не наблюдалось.

Решение УУР методами зейделевского типа подробно рассмотрено в работах [2-3]. Итерационная схема метода Зейделя проста, но может сходиться медленно или расходиться. Тем не менее, методы зейделевского типа обладают лучшей сходимостью и часто применяются для определения начальных приближений при решении нелинейных УУР методами ньютоновского типа. Кроме того, методы зейделевского типа предъявляют минимальные требования к памяти ЭВМ т.к. при их использовании нет нужды в хранении матриц большого размера. Также стоит отметить получивший на начальных этапах применения ЭВМ для решения УУР метод Гаусса-Зейделя. В нем для улучшения сходимости процесса итераций вводится специальный ускоряющий коэффициент. Однако, несмотря на введение коэффициентов ускорения, метод Зейделя – Гаусса ненамного лучше метода Зейделя.

В [2-3] рассмотрено применение метода узловых потенциалов для решения нелинейных УУР. Основным преимуществом этого метода является то, что число итераций не зависит от числа переменных. Метод заключается в последовательном уточнении значений узловых напряжений путем решения системы линейных алгебраических уравнений. Для улучшения сходимости метода узловых потенциалов итерационный процесс может регулироваться путем умножения поправки по напряжению на определенный коэффициент демпфирования. Метод получил распространение для выполнения предварительных вычислений потокораспределения в сетях с классом напряжения 110 кВ и выше.

Методы ньютоновского типа включают в себе классический метод Ньютона и его модификации, связанные с введением коэффициента ускорения – параметра (метод «по параметру»). В настоящее время методы ньютоновского типа широко применяются для реализации программных комплексов для расче-

та режимов. Классический метод Ньютона подробно описан в работах [1-3]. Различные вариации метода «по параметру» описаны в работах [4-6]. Классический метод Ньютона чувствителен к выбору начальных приближений, если начальные приближения далеки от искомого решения, то классический метод Ньютона может сходиться медленно или не сходиться вообще. В случае монотонности функции метод обеспечивает получение решения с любого приближения. Если функция немонотонная, то получение решения существенно зависит от начального приближения. Метод может пропустить правильное решение и выйти к другому решению, или вообще разойтись.

Все методы ньютоновского типа заключаются в формировании матрицы Якоби и последующим определением поправок к искомым переменным. Формирование матрицы Якоби производится на каждой итерации до момента, когда точность расчетов достигнет заданной. При этом решение системы УУР методом Ньютона имеет более высокую надежность с точки зрения сходимости по сравнению с методами зейделевского типа. Методы Ньютоновского типа позволяют получить решение, когда градиентный метод и методы Зейделевского типа расходятся при решении УУР.

Сущность классического метода Ньютона заключается в определении на каждой итерации вектора поправок  $\Delta X^{(k+1)}$  и в прибавлении его к вектору независимых переменных  $X^{(k)}$ . Итерационный процесс при этом имеет вид:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \Delta X^{(k+1)} \quad (1)$$

Классический метод Ньютона обладает плохой сходимостью в системах УУР с плохо обусловленной матрицей Якоби или при плохих начальных приближениях. Поэтому классический метод Ньютона не пригоден для анализа предельных режимов, а также анализа нормальных режимов близких к предельным режимам. В таком случае рекомендуется применять метод Ньютона «по параметру».

В отличие классического метода Ньютона, методы по параметру предусматривают расчет переменных на каждой итерации  $k$  по следующей формуле:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + \lambda^{(k)} \cdot \Delta X^{(k+1)} \quad (2)$$

где  $\lambda^{(k)}$  - коэффициент демпфирования или коэффициент корректировки длины шага, определяемый на каждой итерации.

Цель введения параметра  $\lambda^{(k)}$  состоит в предупреждении расходимости процесса итераций. Сходимость метода Ньютона можно оценить по изменению различных норм вектора небалансов  $\|W_{нб}\|$ . Монотонное снижение любой из этих норм в процессе итераций является достаточным условием сходимости процесса.

Одним из первых методов по параметру, называемый метод последовательных интервалов, был предложен Л. А. Круммом [3]. Этот метод фактически соответствует утяжелению режима и решению на каждом шаге утяжеления уравнений УР. Здесь величина параметра определяется длиной выбираемых интервалов, которые выбираются случайным образом. Таким образом, скорость схо-

димости простейшего метода по параметру зависит от длины выбираемых интервалов.

В настоящее время, в программах для расчета электрических режимов наибольшее распространение получило вычисление коэффициента демпфирования по схеме Энеева-Матвеева [4]. Такая схема обладает высокой надежностью и окупает некоторые дополнительные затраты времени по сравнению с классическим методом Ньютона. Дополнительные затраты вызываются необходимостью вычисления величины шага, а также некоторым увеличением числа итераций вследствие ограничения шага.

В методе Брауна предложено выполнять линеаризацию каждого отдельного уравнения по мере выполнения процедуры исключения Гаусса. Метод Брауна рекомендуется как особо надежный, специально ориентированный на решение задач с плохо обусловленной матрицей Якоби. Метод П.И. Бартоломея также подразумевает изменение точки линеаризации от одного уравнения к другому. Тем не менее, у вышеуказанных методов нет явных преимуществ перед методами ньютоновского типа.

Также стоит выделить нетрадиционные методы решения УУР, подробный анализ которых, выполнен в работе [7].

В целом нетрадиционные методы решения УУР показали себя достаточно хорошо, в частности в некоторых работах было достигнуто сокращение времени решения УУР по сравнению с традиционными методами.

Тем не менее, по причине отсутствия свидетельств подтверждающих явные преимущества нетрадиционных методов решения УУР над традиционными методами, возможность их применения в рамках СЭС угольной шахты не рассматривается.

Проведенный анализ показывает, что наиболее эффективным среди рассмотренных методов является метод Ньютона с расчетом коэффициента демпфирования по схеме Энеева-Матвеева. Указанный метод обладает достаточной точностью, а также обладает хорошей сходимостью в СЭС любой конфигурации. Отметим, что современные программные средства позволяют эффективно реализовать вышеуказанный метод на ЭВМ.

Таким образом, в рамках алгоритма оптимизации уровня напряжения в СЭС угольной шахты по критерию минимума потребления активной мощности, целесообразно рассматривать метод Ньютона с расчетом коэффициента демпфирования по схеме Энеева - Матвеева.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Деннис Д., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. - М: Мир, 1988. – 440 с.
2. Грунин О.М., Савицкий Л.В. Математические задачи энергетики: учеб. пособие. – Чита: ЗабГУ, 2014. - 260 с.
3. Идельчик, В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. - М.: Энергоатомиздат, 1988

4. Матвеев В.А. Метод приближенного решения систем нелинейных уравнений - Журнал вычислительной математики и математической физики, 1964. - Том 4. №6. - С. 983 - 994.
5. Тарасов В.И. Нелинейные методы минимизации для расчета установившихся режимов электроэнергетических систем. - Новосибирск: Наука, 2001. - 214 с.
6. Тарасов В.И. Теоретические основы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем. — Новосибирск: Наука, 2002. — 344 с.
7. Bhowmik, D. V. Rajan, S. P. Bose. Load Flow Analysis: An Overview - World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:6, No:3, 2012.

Научный руководитель: В.М. Ефременко к.т.н., профессор кафедры горных машин и комплексов Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева.

## **АНАЛИЗ НАБЛЮДАЕМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО «МЭС»**

О.А. Губина, А.В. Малафеев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

При управлении режимами электроэнергетических систем исходная информация для принятия решений поступает в основном от телеизмерений. Канал телеизмерения—обеспечивает необходимую для надежного управления обратную связь. Телеизмерения позволяют не только судить о текущих значениях параметров режимов. На основе уравнений электрической сети, связывающих отдельные измеряемые величины, в принципе можно: дорассчитать неизмеренные параметры; выявить и устранить грубые ошибки и снизить обычные ”нормальные” ошибки измерений; определить тенденции изменения режима и по этой информации дать прогноз режима на определенное время упреждения; определить качество функционирования каналов сбора данных [1].

Наблюдаемость как одно из информационных свойств электроэнергетических систем (ЭЭС), если в понятие ЭЭС включить и ее измерительное обеспечение, которое определяется как возможность системы предоставлять необходимую для управления информацию о текущем ее состоянии.

Повышение управляемости и наблюдаемости электроэнергетических систем, повышение надёжности управления являются сегодня актуальными задачами. Актуальность определяется:

- необходимостью предотвращения системных аварий, вероятность которых, как показывает практика, существует.
- изменяющимися отношениями между субъектами, взаимодействующими на рынке электроэнергии. Реформирование отрасли порождает новые реалии и новое разграничение обязанностей и ответственности.

- общим физическим и моральным старением существующих систем управления [2].

Объектом исследования работы является оборудование телемеханики на подстанциях ПО «МЭС». Телемеханика – это комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают возможность приема и передачи информации, сигналов от различных объектов, а также позволяют управлять оборудованием данных объектов. Телемеханика включает в себя телеизмерения, телесигнализацию и телеуправление. Телеуправления, телерегулирования РПН на исследуемом объекте нет.

В качестве программного обеспечения сервера телемеханики ПО «МЭС» используется программный комплекс «ОИК Диспетчер NT». «ОИК Диспетчер NT» (альтернативное название ARIS SCADA) — это программный комплекс, предназначенный для создания информационно-управляющих (SCADA) систем для автоматизации технологического процесса передачи и распределения электрической энергии. Применяется на предприятиях электрических сетей, в районах предприятий электрических сетей, на крупных энергообъектах с круглосуточно работающим оперативным обслуживающим персоналом.

Комплекс опрашивает устройства телемеханики, сохраняет собранную информацию в базе данных, позволяет диспетчерам просматривать на экранах рабочих станций оперативные схемы с реальными значениями телесигналов и телеизмерений. Администратор комплекса может создавать, редактировать и удалять мнемосхемы, бланки переключений, оперативные журналы, текстовые документы [3].

Данный комплекс включает в себя программные модули и драйвера для приёма телеинформации от различных типов устройств телемеханики, терминалов релейных защит, цифровых преобразователей и счётчиков электрической энергии по специфическим и унифицированным международным протоколам информационного обмена через различную физическую среду передачи.

Функционально комплекс делится на две основные подсистемы — серверную часть и рабочие станции. Серверная часть отвечает за функции сбора, обработки и хранения данных телеметрии, а также обеспечивает доступ к базам данных, необходимым для работы персонала управления энергосистемой.

Программное обеспечение рабочих станций устанавливается на компьютерах рабочих мест диспетчера, обеспечивая визуальное отображение данных телеметрии и информации из баз данных.

Мнемосхемы подстанций, отображаемые в Клиенте «ОИК Диспетчер NT» возможно заносить и отображать из базы данных двумя способами: с помощью встроенного псевдографического редактора и с помощью графического редактора «Модус».

Общее количество телемеханизированных ПС 26 штук:

- 9 ПС с КП «ИСЕТЬ»;
- 4 ПС с КП «ИСЕТЬ-GPRS»;
- 8 ПС с КП «ИСЕТЬ-микро»;
- 3 ПС с КП «УКТУС»;



- 1 ПС с КП «ССПИ»;
- 1 ПС с КП «ЭКОМ-ТМ».

Межсерверный обмен информацией осуществляется с ООО «Башкир-энерго» (ПО «Белорецкие электрические сети»), Восточными электрическими сетями (Оренбургэнерго), Челябинским РДУ и ЦУС Челябэнерго.

Проведем анализ всех телемеханизированных ПС ПО «МЭС» на предмет объема передаваемых данных.

На ПС 110/35/10 кВ «Северная» по стороне НН:

- величина напряжения на 1 и 2 секциях шин;
- ток, активная и реактивная мощность трансформатора.

На стороне СН:

- величина напряжения на 1 и 2 секциях шин;
- ток, активная и реактивная мощность трансформаторов.
- ток, активная и реактивная мощность ВЛ 35 кВ Северная – Березинская,
- ВЛ 35 кВ Северная – Заезжая.

Не отображаются параметры режима по стороне 110 кВ.

Данные сведены в таблицу 1.

Табл.1. Передаваемые по каналам телемеханики данные

Наименование ПС	Трансформатор, сторона ВН	Трансформатор, сторона НН	Секции шин ВН	Отходящие ВЛ 35-110 кВ
Ближняя	-	$U, I_{\phi}, P, Q, S$	$U$	$U, I_{\phi}$
Городская	$U, I_{\phi}, P, Q, S$	$I, P, S$	$U$	$U, I_{\phi}, P, Q, S$
Зеленая	$U, I_{\phi}, P, Q, S$	$U, I_{\phi}, P, Q, S$	$U$	$U, I_{\phi}, P, Q, S$
Рудная	-	$I, S$	$U$	$U, I_{\phi}, P, Q, S$
Оранжевая	-	$U, I, P, Q$	$U$	$I, P, Q$
Олеговская	-	-	$U$	$I, P, Q$
Екатерининская	$I, P, Q$	$I, P$	-	$P, Q$
Речная	-	-	-	$I, P, Q$
Сельская	-	$I$	-	$I, P, Q$
Петровская	-	$I, P$	$U$	$I, P$
Центральная	$I, P$	$I$	$U$	$I, P, Q$
Польская	-	-	-	$P$
Тройка	-	$I, P$	-	-
Поселковая	-	$I, P$	-	-
Рабочая	-	$I, P$	-	-
Ненастная		$U, I, P, Q, S$		

Параметры установившегося режима по остальным семи подстанциям не передаются. Мнемосхемы данных подстанций отображают только положения коммутационных аппаратов.

Проведя анализ всех телемеханизированных ПС на предмет объема передаваемых данных, очевидно, что на некоторых подстанциях передается недостаточное количество информации, например, только данные по активной

мощности и току. В первую очередь недостаточно данных по параметрам установившегося режима на границах со смежными сетями. Кроме того, большая информативность о протекающих мощностях и токах на транзитных ВЛ 35-110 кВ позволила бы более качественно проводить анализ наиболее часто отключающихся ВЛ. На других подстанциях, напротив, есть объекты, по режиму работы которых передается избыточная информация: полная, реактивная, активная мощности, ток и напряжение.

Малая информативность не дает достаточной информации для оптимально быстрых и точных действий при ликвидации аварий и других отклонений в работе энергооборудования, для управления электрическими сетями с целью надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей при экономичной работе электрических сетей. Кроме того, отсутствие телеуправления не позволяет ускорить процесс вывода в ремонт оборудования и ввода его в работу.

Кроме того, низкая наблюдаемость ЭЭС влечет за собой сложности выбора оптимального режима работы сетей в нормальном, послеаварийном режимах, низкий уровень контроля работы за оборудованием со стороны оперативного персонала и минимизации локализации аварий в сети.

Избыточная информативность, несомненно, не несет за собой столько осложнений, как недостаточная, кроме как перегрузка схем, усложнение восприятия. При необходимости по известным формулам можно легко определить любую из мощностей, имея данные по двум другим. Однако, избыточная информативность имеет одно несомненное достоинство: легко позволяет выявить недостоверные данные.

Для обеспечения высокой надежности и качества электроснабжения потребителей необходимо осуществлять непрерывный контроль и управление режимами электроэнергетической системы. Оценивание состояния электрической системы имеет важное значение для ее рациональной эксплуатации, оперативного управления, прогнозирования и оптимизации ее работы.

В дальнейшей работе также будет произведена оценка точности передаваемых данных, их достоверизация. Будут также выявлены наиболее нуждающиеся в телемеханизации объекты, что позволит значительно повысить уровень наблюдаемости сетей.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гамм А.З., Голуб И.И. Наблюдаемость электроэнергетических систем. М.: Наука, 1990. – 220 с.
2. Чичёв С.И. и др. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций/ С.И. Чичёв, В.Ф. Калинин, Е. И. Глинкин – М.: Издательский дом «Спектр», 2011. – 140 с.
3. Руководство пользователя и администратора «Клиент ОИК Диспетчер НТ»: Екб.: ООО НТК Интерфейс, 2009. – 142с.

Научный руководитель: А.В. Малафеев, к.т.н., доцент кафедры ЭПП МГТУ им. Носова.

# ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

А.В. Кортунков

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Современный этап развития производства оборудования для электростанций характеризуется ускоренными темпами научно-технического прогресса, разработкой и внедрением новых технических решений, ростом производственных мощностей, усложнением логистики производства. Рост производственных сил вызвал потребность разработки и внедрения научных методов организации и, как следствие, совершенствования системы управления производством. Как известно, в энергетике оптимальность решений определяется эффективностью производства, поэтому одной из важнейших задач планирования ремонтов является распределение объемов профилактических работ на основном оборудовании электростанций в течение года в пределах заданного резерва мощности предприятий. Планирование вывода в ремонт оборудования электрических станций определяет изменение режима работы всей системы электроснабжения. Следствием вывода агрегатов в ремонт является перераспределение нагрузки между работающими агрегатами, дополнительным притоком мощности по линиям электропередачи, увеличению расхода топлива по системе электроснабжения в целом. Нерациональное планирование ремонтов приводит к снижению мощности резервов и перерыву в электроснабжении потребителей, снижению надежности работы системы в целом и, как следствие, к серьезному ущербу. Неравномерное распределение объемов ремонта в течение года сбивает ритмичность работы ремонтных предприятий и вызывает простой специализированного персонала. Вышеназванные факторы снижают эффективность работы системы электроснабжения. Таким образом, критерием оптимальности планирования ремонтов основного оборудования электрических станций будет являться минимизация затрат, включающих издержки на перерасход топлива, ущерб от перерывов в электроснабжении потребителей и траты вследствие снижения производительности ремонтного персонала. Практика эксплуатации систем электроснабжения показывает, что в настоящее время недостаточно учитывать отдельные критерии, так как затраты вследствие снижения производительности ремонтного персонала и ожидаемые ущербы от перерывов электроснабжения в сумме соизмеримы с затратами на перерасход топлива [1].

Оптимизация плана ремонтов без учета указанных факторов дает частичное решение проблемы и не удовлетворяет существующим требованиям. Использование известных оптимизационных математических методов для планирования ремонтов является весьма затруднительным из-за больших затрат машинного времени и высокой сложности практической реализации алгоритмов. В связи с этим актуальной задачей является анализ методов и разработка алгоритмов оптимального планирования ремонтов по указанным критериям, рентабельных в плане реализации и требующих минимум времени ЭВМ.

Для решения поставленной задачи мною было проанализировано несколько источников информации. Всего было найдено пятнадцать программных продуктов разных производителей. Предлагаю ознакомиться с некоторыми из них подробнее.

Первый программный комплекс, который я обнаружил в сети – это продукт ООО «СМС Информационные технологии» под названием «АСУРЭО» с подсистемой «Планы ремонтов» [2]. Автоматизированная система работы с графиками ремонтов формируется в следующие типы:

1. график ремонтов для энергетического оборудования;
2. график ремонтов для электротехнического оборудования и ЛЭП;
3. график технического обслуживания для устройств РЗА;
4. график технического обслуживания для устройств СДТУ.

Периоды планирования данного продукта – год и месяц, также возможно создание предварительного годового графика для энергетического оборудования и создание месячного графика на основе годового.

Данной программой пользуется ОАО «Системный оператор». Недостатком данного продукта является то, что она не учитывает большого количества факторов состояния энергетического оборудования, которые влияют на планирование ремонтов. Достоинством данной программы является обеспечение полного автоматизированного обмена графиков ремонтов между энергетическими предприятиями в рамках единой информационной среды.

В 2008 году отечественная компания ООО «РСМ-системы» зарегистрировала в Федеральной службе по интеллектуальной собственности программный комплекс под названием «RealMaint» – это система управления эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом оборудования [3]. Компания «РСМ-системы» одна из первых начала внедрять в программные продукты самую популярную в теории обслуживания методiku обслуживания по надежности, которая эффективно реализована во многих западных энергетических компаниях. Методика известна во всем мире как Reliability-centered Maintenance, или RCM (обслуживание по надежности). Также в «RealMaint» осуществлены следующие современные и продуктивные методологии в области управления надежностью и ремонтами оборудования. RCA – Root Cause Analysis (анализ основных причин), RBI — Risk Based Inspection (инспектирование оборудования с учетом факторов риска).

Как утверждают создатели программного продукта, их система имеет ряд существенных отличий от имеющихся на рынке конкурентов:

- Система предназначена не столько для поиска того, на чем можно сэкономить (классическое предназначение систем технического обслуживания и ремонтов (ТОиР)), сколько на принятие лучшего в сложившихся условиях решения – во что вкладывать деньги, что и когда конкретно надо делать с учетом существующих ограничений, каковы риски и как их компенсировать.
- В системе сделан акцент на решения задач планирования воздействий на оборудование с целью достижения требуемого уровня надежности. Автоматизация этой задачи приносит максимальный эффект, т.к. влия-

ет непосредственно на точность и обоснованность принимаемых решений в вопросах выделения денег на замены и ремонты.

- В нашем решении естественным образом учтен тот факт, что эксплуатация и ремонт оборудования ведется не само для себя, а в рамках более крупных процессов – производства, добычи, транспортировки, в которые вовлечены многие участники: поставщики, потребители, внешние подрядчики. Все решения в области ТОиР принимаются с учетом требований обеспечения надежности общего производственного процесса.

К недостаткам данной программы необходимо отнести то, что программный продукт не учитывает перетоки мощности по линиям электропередачи, увеличение расхода топлива по системе электроснабжения в целом и т.д. Также к недостаткам следует отнести тот факт, что программный продукт «RealMaint» занимает большой объем оперативной памяти в операционной системе.

Еще одним интересным продуктом компании «Бизнес Технологии» является программный комплекс Global-EAM [4], который предназначен:

1. для автоматизации планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования;
2. для обеспечения административного, оперативного и ремонтного персонала оперативной и ретроспективной информацией, необходимой для принятия решений при проведении работ по ТО и ремонту оборудования;
3. для накопления полученных от специалистов сведений об оборудовании, его истории и особенностях его эксплуатации, а также для систематизации, наглядного представления и централизованного хранения таких сведений;
4. для автоматизации получения аналитических отчетов и типовых документов по принятым формам;
5. для хранения и предоставления данных с целью оценки и прогноза технического состояния оборудования;
6. для накопления информационной базы, содержащей сведения об оборудовании и его истории, с целью последующего перехода к ремонтам оборудования с учетом его состояния.

Данная программа планирует ремонты оборудования по генетическому алгоритму, но не учитывает перетоки мощности по линиям электропередачи, увеличение расхода топлива по системе электроснабжения в целом и т.д.

Современные программные продукты позволяют комплексно учесть факторы, влияющие на работу оборудования электростанций и позволяющие определять их экономически целесообразные режимы работы.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Усачев С.С. Оптимизация плана ремонтов основного оборудования электрических станций: дис. канд. тех. наук.: 05.14.02. – Ташкент, 1984.

2. Единая система для планирования ремонтов на всех уровнях оперативно-диспетчерского и оперативно-технологического управления // URL: <http://www.asureo.ru/p/repair-planning.html> (дата обращения 10.08.2017).
3. Программный Комплекс «RealMaint» // URL: <http://www.rcm-systems.ru/solutions/1216/> (дата обращения 10.08.2017).
4. GLOBAL-EAM. Система управления техническим обслуживанием и ремонтами // URL: <http://global-eam.ru/> (дата обращения 10.08.2017).

Научный руководитель: А.В. Варганова, к.т.н., доцент, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

## **ВЫБОР СПОСОБА ЭКВИВАЛЕНТИРОВАНИЯ РАЗОМКНУТОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ УСЛОВИИ НЕИЗМЕННОСТИ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ**

Ю.С. Иманова, А.В. Малафеев

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Для выбора мероприятий по управлению режимами в разомкнутых сетях 3–10 кВ промышленных предприятий, имеющих значительную протяженность, несколько ступеней распределения и трансформации, зачастую удобно пользоваться расчетными эквивалентами. Это целесообразно при большом количестве возможных оперативных состояний схемы и позволяет обойтись без применения специализированных программ расчета режимов, имеющих высокую стоимость, вследствие чего даже на крупных предприятиях количество рабочих мест с такими программами – одно-два. Критерии неизменности напряжений и токов в узлах примыкания обеспечиваются за счет применения распространенных способов эквивалентирования (см., например, [1]). Эквивалентирование же при инвариантности потерь мощности вызывает определенные сложности, что для разомкнутых сетей обусловлено зависимостью эквивалентной проводимости от распределения нагрузок в непреобразованной схеме.

Наметим два способа получения эквивалентов сети низшего напряжения:

1. схема группами «эквивалентная кабельная линия»-«эквивалентный трансформатор»;
  2. полное эквивалентирование на основе Г-образной схемы замещения.
- Для реализации первого способа выделим три типа присоединений:
3. кабельная линия (КЛ) до распределительной подстанции;
  4. КЛ, питающая трансформатор 10/6 кВ;
  5. КЛ, питающая трансформатор 10/3 кВ.

Рассмотрим результаты эквивалентирования на примере одной из подстанций крупного металлургического предприятия (рис. 1).

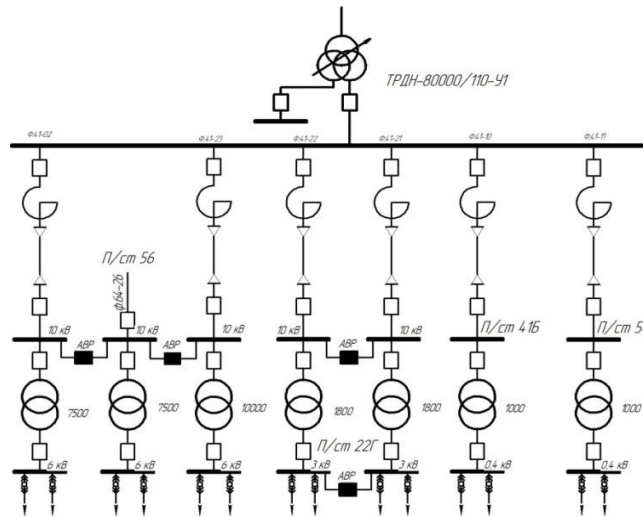


Рис. 3. Исходная схема распределительной сети

**1 способ.** Параметры эквивалентной схемы замещения, согласно п. 2, в виде кабельных линий перед трансформаторами, определяются путем сложения эквивалентов одного класса напряжения, связанных с трансформаторами с одинаковыми вторичными напряжениями (рис. 2).

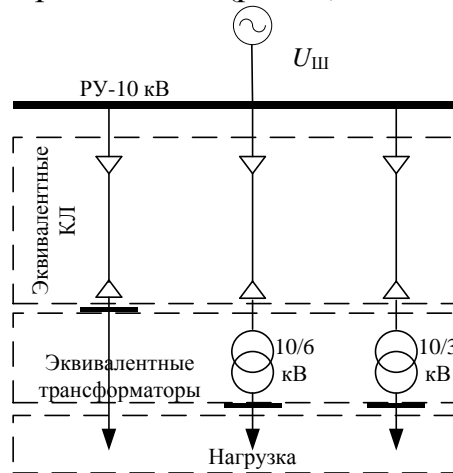


Рис. 4. Схема замещения группами «эквивалентная КЛ»-«эквивалентный трансформатор»

Параметры эквивалентных трансформаторов определяются по табл. 1.

Табл. 1. Параметры эквивалентных трансформаторов

Формулы	Принятые обозначения
$S_{\text{ЭКВ}} = \sum_{i=1}^N S_i ;$	$S_{\text{ЭКВ}}, S_i$ – номинальные мощности эквивалентного и $i$ -го трансформаторов, кВА;
$\Delta P_{\text{Х,ЭКВ}} = \sum_{i=1}^N \Delta P_{\text{Х},i} ;$	$\Delta P_{\text{Х,ЭКВ}}, \Delta P_{\text{Х},i}$ – потери холостого хода, кВт;
$I_{\text{Х,ЭКВ}} \% = \left( \frac{\sum_{i=1}^N I_{\text{Х},i} I_{\text{НОМ},i}}{\sum_{i=1}^N I_{\text{НОМ},i}} \right) \cdot 100\% ;$	$I_{\text{Х,ЭКВ}} (\%), I_{\text{Х},i}$ (о.е.) – токи холостого хода; $I_{\text{НОМ},i}$ – номинальный ток $i$ -го трансформатора, А;
$\Delta P_{\text{К,ЭКВ}} = \sum_{i=1}^N \Delta P_{\text{К},i} ;$	$\Delta P_{\text{К,ЭКВ}}, \Delta P_{\text{К},i}$ – потери холостого хода, кВт;
$u_{\text{К,ЭКВ}} \% = \left( \frac{\sum_{i=1}^N u_{\text{К},i} U_{\text{НОМ},i}}{\sum_{i=1}^N U_{\text{НОМ},i}} \right) \cdot 100\%$	$u_{\text{К,ЭКВ}} (\%), u_{\text{К},i}$ (о.е.) – напряжения короткого замыкания; $U_{\text{НОМ},i}$ – номинальное напряжение $i$ -го трансформатора, кВ

Эквивалентирование сопротивлений ( $R_{\text{ЭКВ}}$ ) кабелей производится с учетом параметров режима, полученных на основе реальных замеров в рассматриваемом оперативном состоянии схемы:

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 \left( \frac{I_1}{I_{\text{ЭКВ}}} \right)^2 + R_2 \left( \frac{I_2}{I_{\text{ЭКВ}}} \right)^2 + \dots + R_n \left( \frac{I_n}{I_{\text{ЭКВ}}} \right)^2, \quad (1)$$

где 1, 2, ..., n – номера присоединений эквивалентируемой группы;

$I_{\text{ЭКВ}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  – эквивалентный ток.

**2 способ.** На основе известных технических данных линий и трансформаторов сети НН может быть получена эквивалентная схема замещения сети в виде эквивалентных продольной и поперечной ветви (рис. 3), где сопротивление поперечной ветви  $\dot{Z}_{\text{х,ЭКВ}}$  определяется потерями холостого хода; к сопротивлению продольной ветви  $\dot{Z}_{\text{пр,ЭКВ}}$  присоединена эквивалентная нагрузка  $\dot{S}_{\text{нагр,ЭКВ}}$ .

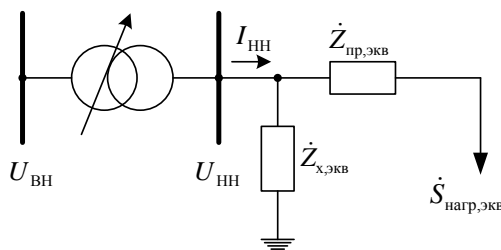


Рис. 5. Эквивалентная схема замещения в виде эквивалентных продольной и поперечной ветвей

В практических расчетах можно сделать допущение, что  $\dot{Z}_{\text{х,ЭКВ}}$  включает в себя только ветви холостого хода трансформаторов,  $\dot{Z}_{\text{пр,ЭКВ}}$  – сопротивления линий, трансформаторов и реакторов. Параметры эквивалентных продольной и поперечной ветвей определяются по формулам, приведенным, например, в [2]. Эквивалентирование продольных ветвей ( $\dot{Z}_{\text{пр,ЭКВ}}$ ) выполняется по (1).

Оценим погрешность эквивалентирования по рассмотренным способам при помощи метода Монте-Карло. Для каждого случая выполним 60 вычислительных экспериментов при одинаковом питающем напряжении 11 кВ и неизменной суммарной мощности нагрузки. Мощность нагрузки определяется генератором случайных чисел с одинаковым коэффициентом вариации по активной и реактивной мощности, равным 0,2. Для генерации случайных чисел принят нормальный закон распределения. Расчеты выполнялись в Excel 2013. Полученные средние значения суммарных потерь приведены в табл. 2.

Табл. 2. Математическое ожидание потерь мощности

Схема	Исходная (рис. 1)	«Экв. КЛ»- «Экв. трансформатор» (рис. 2)	Полное эквивалентирование (рис. 3)
Потери мощности, кВт	130,41	129,94	141



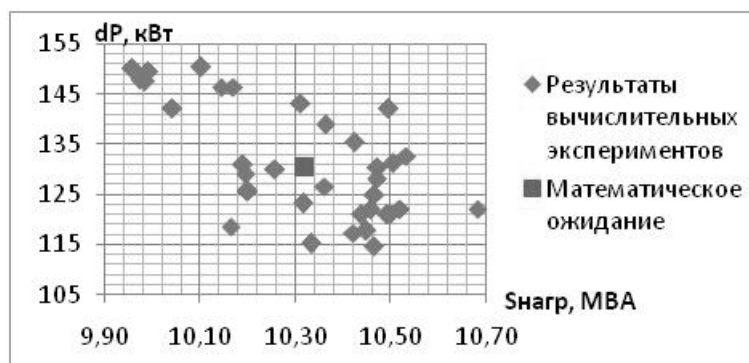


Рис. 6. Область рассеяния потерь в исходной схеме

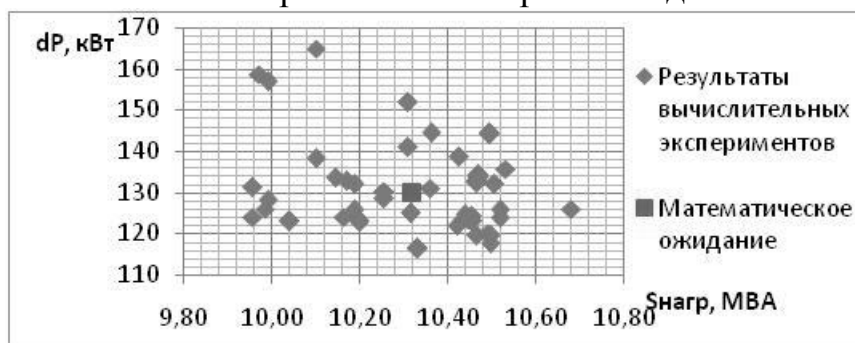


Рис. 7. Область рассеяния потерь в схеме группами «эквивалентная КЛ» - «эквивалентный трансформатор»

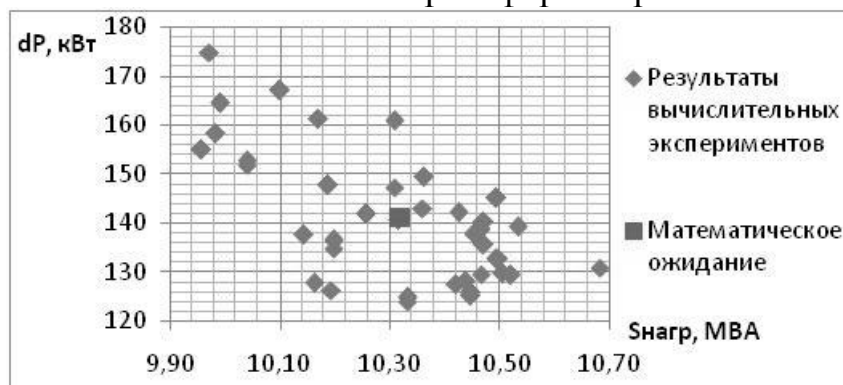


Рис. 8. Область рассеяния потерь в эквивалентной схеме с Г-образным замещением

Математическое ожидание потерь активной мощности при номинальном напряжении и нормальной схеме подстанции составляет 130,4 кВт. Отклонения математических ожиданий: для схемы по рис. 2 – 0,08%; для схемы по рис. 3 – 8% по отношению к непреобразованной схеме.

Таким образом, значения потерь мощности, полученные на основе двух рассмотренных способов эквивалентирования, близки к значениям, полученным по исходной расчетной схеме подстанции. Следовательно, оба способа можно применять для практических расчетов, предпочтение по возможности следует отдавать первому. Общим недостатком является зависимость параметров эквивалентной схемы от параметров режима.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Жуков Л.А., Стратан И.П. Установившиеся режимы сложных расчетов электрических сетей и систем: Методы расчета. – М.: Энергия, 1979. – 416 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.

Научный руководитель: А.В. Малафеев, к.т.н., доцент кафедры ЭПП МГТУ им. Г.И. Носова.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

К.М. Чубаров, Н.В. Сенько  
Самарский государственный технический университет

В настоящее время актуальность вопросов, связанных с аппроксимацией областей статической апериодической устойчивости в пространстве регулируемых параметров, существенно возросла. Это вызвано широким внедрением в электроэнергетических системах (ЭЭС) новых информационно-вычислительных комплексов для решения задач оперативного диспетчерского и противоаварийного управления. Использование математического аппарата, построенного на уравнениях предельных режимов (УПР), дает ряд преимуществ перед другими методами аппроксимации границ области устойчивости.

Для аппроксимации областей устойчивости используют несколько различных методов:

- метод кусочно-линейной аппроксимации;
- метод кусочно-линейной аппроксимации путём ограничения области существования режимов отрезками прямых;
- метод аппроксимации области устойчивости (ОУ) на основе решения УПР.

Метод аппроксимации на основе решения УПР имеет более общий подход к решению поставленной задачи. В работе [1] предложен оригинальный метод, основанный на применении УПР. Исходя из решения этих уравнений, можно определить значение вектора независимых параметров  $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_i]^T$ . Регулируемые параметры  $y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_i]^T$  находятся из УПР и соответствуют найденным значениям  $x$ . Известно, что границы ОУ  $L_w$  – это гиперповерхности в многомерном пространстве  $y$  и лишены наглядности. Для того, чтобы обеспечить наглядность границ ОУ, используем методику аппроксимации, которая базируется на замене  $L_w$  выпуклым многоугольником [2]. Решением УПР являются координаты вектора  $R$ , который совпадает с направлением нормали к  $L_w$  (рис. 1). В случае составления подобных уравнений для ряда точек  $L_w$  можно получить кусочно-линейную аппроксимацию границы ОУ для вершины  $M$ :

$$\begin{cases} r_i^{(1)} (y_i - y_i^{(1)}) + r_j^{(1)} (y_j - y_j^{(1)}) = 0 \\ r_i^{(2)} (y_i - y_i^{(2)}) + r_j^{(2)} (y_j - y_j^{(2)}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

откуда  $y_i = \frac{\Delta_i}{\Delta_0}$ ;  $y_j = \frac{\Delta_j}{\Delta_0}$

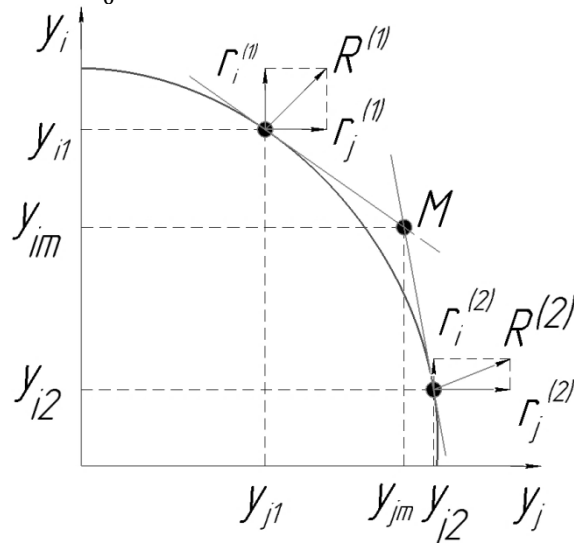


Рис. 1. Кусочно-линейная аппроксимация границ области устойчивости

Наиболее распространённым методом нахождения границ ОУ является методика аппроксимации сечений гиперповерхности квадриками, относящимися к кривым второго порядка [3], которые описываются математическим уравнением:

$$\varphi(Y) = a_{11}y_i^2 + a_{22}y_j^2 + 2a_{12}y_iy_j + c = 0 \quad (2)$$

Используя необходимый математический аппарат, можем представить итоговый результат в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} a_{11}y_i^0 + a_{12}y_j^0 = r_i^0 \\ a_{22}y_j^0 + a_{12}y_i^0 = r_j^0 \\ -(r_i^0y_i^0 + r_j^0y_j^0) = c \end{cases} \quad (3)$$

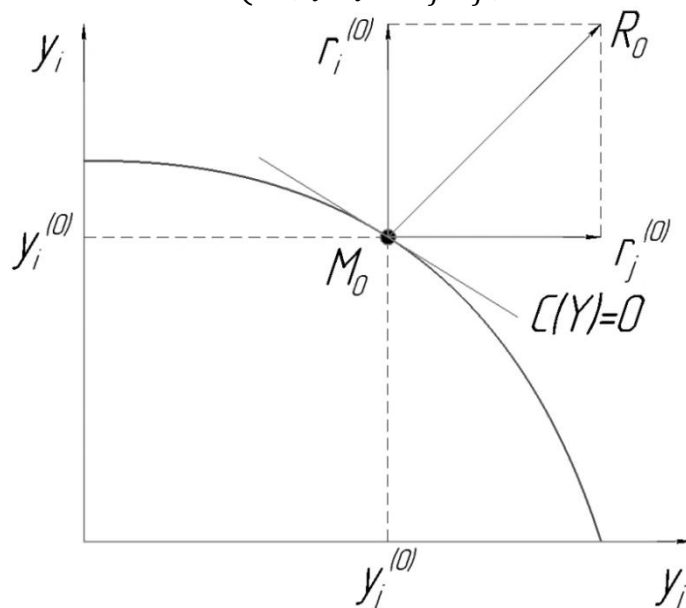


Рис. 2. Аппроксимация сечения  $L_w$

Подобные уравнения составляются для других точек  $L_w$ , относительно неизвестных коэффициентов которой получаем расширенную систему уравнений, которая записывается в упрощённом виде как:

$$C A = B, \quad \text{где } A = [a_{11} \ a_{22} \ a_{12} \ c]^T \quad (4)$$

Для подтверждения теоретических аспектов практическими результатами была рассмотрена 12 узловая схема ЭЭС, где были сравнены результаты аппроксимации сечения при количестве исходных точек: 2, 5 и 11. Результаты расчётов неизвестных коэффициентов матрицы сведены в таблицу 1.

Табл. 1.

Коэффициент	Значения при заданном количестве определённых точек		
	2 точки	5 точек	11 точек
$A_{11}$	0,0000223	0,0000195	0,0000239
$A_{12}$	0,00000781	0,00000815	0,00000792
$A_{22}$	0,0000561	0,0000559	0,0000582
$C$	-16875,1	-16797,5	-18764,2

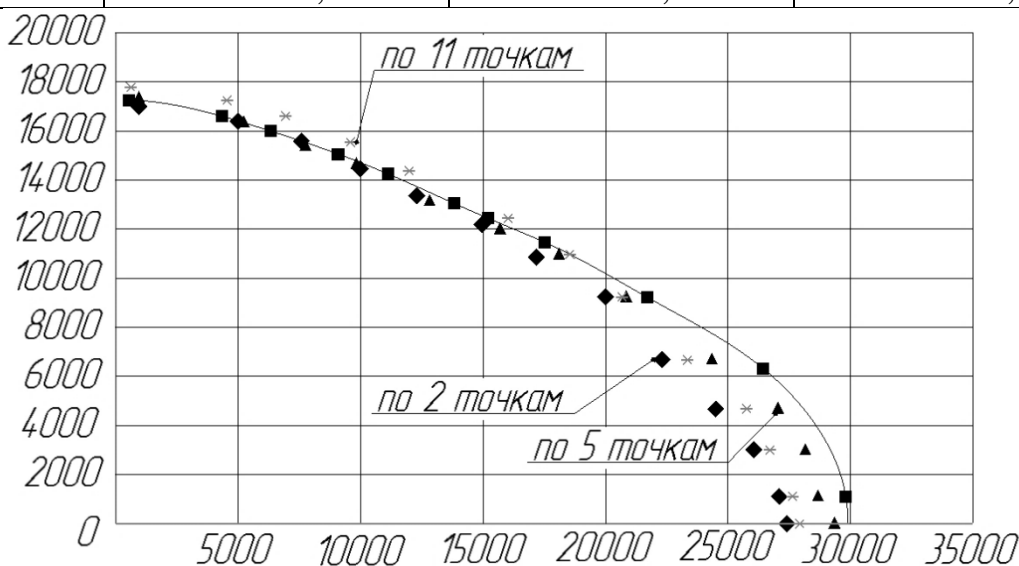


Рис. 3. Аппроксимация сечения  $L_w$  12 узловой схемы

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. точность аппроксимации зависит от количества точек и их расположения [4];
2. максимальный избыток ОУ при подобной записи исходных данных не превышает 10% от истинной;
3. данная методика может быть успешно применена для решения актуальных практических задач оперативного управления режимами сложных энергосистем.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Конторович А.М., Лукина М.К. Уравнения предельных режимов и построение областей устойчивости// Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт - 1988, N1. – С. 13-15.

2. Конторович А.М., Крюков А.В. Предельные режимы энергосистем. // М.: Вост.-Сиб. технол. ин-т, 1985. -72с.
3. Арзамасцев Д.А. и др. Аппроксимация областей устойчивости сложных электроэнергетических систем. Ч.II. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.1984. - N2. - С.33-41.
4. Крюков А.В., Намогуруев Б.Б. Выбор рациональных мероприятий по повышению устойчивости сложных энергосистем//Сб. науч. тр. ВСТИ. Сер.: техн. науки. - Вып.1. -Улан-Удэ. 1994. -6с.

Научный руководитель: В.В. Сенько, к.т.н., доцент СамГТУ.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

А.В. Аришин  
Сибирский федеральный университет

В 2015 году установленная мощность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире выросла на 8,3% или на 152 ГВт [1]. Такой рост является устойчивым в течение последних шести лет во всём мире, который показывает сильную заинтересованность к отрасли возобновляемой энергетики в мире. Мотивирующими факторами развития данной отрасли являются, как экологические проблемы, так и энергетические проблемы, связанные с запасами, транспортировкой и эксплуатацией топливно-энергетических ресурсов. В последние годы возобновляемая энергетика становится всё более конкурентоспособной, однако, остаётся зависимой от рыночных отношений и экономической политики в отдельно взятых странах.

В России темпы развития возобновляемых источников энергии на сегодняшний день значительно отстают от среднего мирового показателя. Слабое развитие транспортной системы, низкая плотность населения в различных районах страны, определяют актуальность и конкурентоспособность применения возобновляемых источников энергии. Широкое использование ВИЭ позволит решить проблемы надежного электроснабжения отдаленных, труднодоступных регионов, обеспечить экономию углеводородного топлива, а также снизить объем вредных выбросов в окружающую среду.

Обеспечить гарантированное электроснабжение энергоудаленных потребителей позволяет комбинированное использование разнородных источников энергии и накопителей электроэнергии. Необходимым условием эффективной работы такой системы генерирования электроэнергии является успешное решение двух проблем — интеграции разнородных источников и выбора параметров комбинированного электротехнического комплекса на основе ВИЭ.

Проблема интеграции возобновляемых источников энергии связана с необходимостью приведения параметров ВИЭ к стандартным параметрам электрической сети. В России и за рубежом распространены технологии совместного использования одного типа ВИЭ. Разработки, позволяющие эффективно

объединять несколько ВИЭ с различным характером выходного напряжения (постоянное, переменное) пока не достигли высокого уровня.

Вопросам выбора генерирующих энергоустановок на возобновляемых источниках энергии посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых. Основными критериями при выборе ВИЭ, как правило, являются экономические показатели проекта и технические характеристики энергоустановок.

Целью работы является исследование и анализ эффективности интеграции возобновляемых источников энергии с активной распределительной сетью в России и в зарубежных странах.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие научные и практические задачи:

- исследование нормативно-правовой базы на подключение генерирующих мощностей на основе ВИЭ в Российской Федерации и в зарубежных странах;
- исследование технологических препятствий в подключении генерирующих мощностей на основе ВИЭ;
- исследование влияния подключения генерирующих мощностей на основе ВИЭ к электроэнергетической системе;
- предложить комплексные меры для эффективного внедрения возобновляемых источников энергии в активную распределительную сеть в России.

Исследовав нормативы на подключение генерирующих мощностей на основе источников возобновляемой энергии в России, были выявлены основные трудности в реализации интеграции ВИЭ, которые описаны ниже.

Россия расположена на довольно большой территории, поэтому региональная политика образования тарифов на покупку электроэнергии в различных частях страны отличаются друг от друга. Территориально Россия разделена на пять ценовых зон, показанных на рисунке 1 [2]. На большей части территории страны потребители получают электроэнергию с оптового рынка. Различают ценовые – это первая и вторая зоны, отмеченные на рисунке 1 соответствующими цифрами, и неценовые – это третья и четвёртая зоны оптового рынка. В пятой зоне оптового рынка существуют лишь локальные энергосистемы, несвязанные с Единой энергетической системой страны. На территории ценовых зон оптового рынка промышленные предприятия покупают электроэнергию по нерегулируемым ценам, кроме тех, на которых устанавливаются особенности функционирования оптового и розничного рынков, эти зоны на рисунке заштрихованы. В неценовых зонах конкурентное рыночное образование цен является невозможным на данный момент, поэтому в таких зонах ценообразование на оптовом рынке регулируется государством, следовательно, регулируется и цена, за которую конечный потребитель покупает электроэнергию.



Рис. 9. Ценовые и неценовые зоны России

При этом путём развития возобновляемых источников в России принята «локализация», которая направлена на развитие производства отечественного оборудования, на создание научно-исследовательских центров и на рост инноваций в отрасли возобновляемой энергетики страны. Целью является создание конкурентоспособного отечественного производства оборудования, используемого при создании установок возобновляемой энергетики. В Распоряжении Правительства представлены целевые показатели степени локализации до 2024 года, которые представлены в таблице 1.

Табл. 1.

Виды генерирующих объектов	Год ввода в эксплуатацию	Целевой показатель степени локализации, %
Генерирующие объекты, функционирующие на основе энергии ветра	с 2015 по 2016 год	25
	2017 год	40
	2018 год	55
	с 2019 по 2024 год	65
Генерирующие объекты, функционирующие на основе фотоэлектрического преобразования энергии солнца	с 2014 по 2015 год	50
	с 2016 по 2024 год	70
Генерирующие объекты установленной мощностью менее 25 МВт, функционирующие на основе энергии вод	с 2014 по 2015 год	20
	с 2016 по 2017 год	45
	с 2018 по 2024 год	65

На начальных этапах степень локализации для инвесторов может стать барьером, так как инвестору необходимо будет искать организации, которые могут реализовывать проекты с учётом запрашиваемой степени локализации оборудования.

Энергоснабжение около 65% территории страны является автономным. Такое электроснабжение основано на использовании дизельных электростанций (ДЭС), состоящих из одной или нескольких дизель-генераторных установок (ДГУ). Количество таких установок, используемых в зонах автономного энергоснабжения России, составляет около 50 тыс. штук суммарной мощно-

стью более 500 МВт. Дизельные электростанции генерируют электроэнергию около 2,5 млрд. кВт·ч, на которую затрачивается около 1 млн. тонн дизельного топлива в год [3]. В некоторых регионах существует перекрестное субсидирование и не отработаны механизмы покрытия разницы между экономически обусловленным тарифом 15-150 руб./кВт·ч и реальным тарифом у населения 2-3 руб./кВт·ч.

Изолированные территории в России на данный момент имеют слабую нормативно-правовую базу, которая с одной стороны является существенным недостатком, но с другой стороны имеется возможность создания конкурентной среды.

На сегодняшний день имеющиеся методики определения тарифа на электроэнергию в розничном рынке не имеют возможности корректного применения к механизму образования тарифа в изолированных зонах, так как не ясен принцип возвращения капитала инвестору. Это обусловлено тем, что изначально нормативно-правовая документация была направлена на регулирование отношений в оптовом рынке, из-за чего пострадал рынок розничный.

Согласно оценке экспертов, возобновляемая энергетика – это высокий риск, который может привести к возрастанию цен на электроэнергию в первой и второй ценовых зонах. Кроме этого, не разработаны системы управления возобновляемой генерацией. При вводе ВИЭ требуется 100% резерва традиционной генерацией. При существовании такой генерации, сетевые компании всегда имеют возможность получать энергию по более низким ценам, при этом установки возобновляемой энергетике будут простаивать.

Одним из существенных препятствий развития возобновляемой энергетике в России часто отмечают логистические и инфраструктурные трудности. При малом количестве заводов и производственных мощностей, разбросанных по территории страны, доставка оборудования для установок возобновляемой энергетике является барьером и сложной логистической задачей. На данный момент достаточных нет возможностей в логистике у России, особенно это сильно проявляется в изолированных регионах страны, имеющих слабо развитую инфраструктуру.

Между тем экономический потенциал возобновляемых источников страны довольно велик и, по некоторым оценкам, составляет 270 миллионов тонн условного топлива в год. Поэтому, эффективное стимулирование данной отрасли на государственном уровне крайне необходимо

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Renewable energy capacity statistics // A Adrian Whiteman, Tobias Rinke, Javier Esparrago, Samah Elsayed. - © IRENA, 2016.- 56 с.
2. Электроэнергетика России: основные показатели функционирования и тенденции развития // И.А. Долматов, Е.В. Яркин, И.Ю. Золотова, М.А. Панова, В.С. Минкова, В.А. Карле, И.И. Дробыш, В.В. Дворкин. – Москва, 2015. - 100 с.



3. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика – 3-е изд., доп. – СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2016. – 424 с.

Научный руководитель: И.В. Коваленко, к.т.н., доцент, Сибирский федеральный университет.

## **АНАЛИЗ РЕАЛИЗОВАННОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЫНКА В РОССИИ**

В.А. Корнев  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭЭС

В настоящее время происходит реструктуризация и переход от плановой к рыночной экономике энергетики в России. Проблема состоит в том, что «глубокая либерализация рыночных отношений себя не оправдала; для создания конкурентного рынка электроэнергии необходим резерв по генерации мощности не менее 40 % и по перетокам мощности – не менее 30%» [3, 7]. В современной России условия по такому принципу не выполняются.

Цель статьи – произвести анализ существующей модели электроэнергетического рынка в России и рассмотреть пути решения выявленных проблем.

Нобелевский лауреат Пётр Леонидович Капица отмечал: «В начале развивается энергетика, а затем, как следствие, экономика» [6]. Но вводя в современную энергетику первичность экономики произошла замена приоритетов, где в первую очередь рассматривается экономическая эффективность для собственников и компаний, но не уделяется должное внимание экономическому росту и безопасности в рамках всей страны, что ограничивает потенциал её развития.

Одной из основных целей дерегулирования электроэнергетического сектора в России, является переход к конкурентным отношениям, побуждающие к минимизации затрат лучше, чем тарифное управление, организованное на экономически обоснованных затратах производителей электроэнергии с учётом нормативной рентабельности их деятельности [1].

В противоположность рыночной признаётся плановая экономика, организованная на абсолютизации государственного планирования экономических процессов.

В действительности план и рынок – это не взаимоисключающие друг друга понятия, а взаимодополняющие, образующие цельную экономику. Рационально одновременно организовать государственное регулирование образования цен, и конкурентный рынок в электроэнергетике.

Управление необходимо осуществлять целостно, а именно, с применением плана, как цели, и рынка, как инструмента для достижения цели [5]. И как результат, в перспективе, экономика может стать плановой, с хорошо настроенным на выполнение рыночным механизмом.

В настоящее время принято различать четыре главные модели организации электроэнергетического рынка [2]:

1. Регулируемая монополия. Конкуренция отсутствует.
2. Единственный покупатель (компания закупочное агентство (КЗА)). Между собой конкурируют лишь производители электроэнергии.
3. Конкуренция на оптовом рынке. В данной модели существуют ряд производителей и распределительно-сбытовых компаний, покупающие электроэнергию. Последние, в свою очередь, монопольно распределяют (перепродают) электроэнергию потребителям на закрепленной за ними территории.
4. Конкуренция на оптовом и розничных рынках. Конкуренция происходит между производителями и потребителями электроэнергии.

Данные модели характеризуются обладанием увеличенных возможностей и сфер конкуренции, именно поэтому они могут представлять собой стадии перехода в электроэнергетике от монополии к свободному рынку.

В настоящее время в России реализуется концепция реформирования электроэнергетики согласно 4 модели организации рынка электроэнергии, а именно «Конкуренция на оптовом и розничном рынках» [2].

Эта модель построена на неолиберальной теории М. Фридмена: государство должно уйти из экономики, рынок сам всё расставит по местам.

Заметна аналогия с реформами 90-х годов прошлого века. Тогда член-корреспондент РАН Р. С. Гринберг говорил: порок наших реформ в инфантильно-провинциальной философии рыночного фундаментализма, овладевшей властными российскими кругами, “твердо усвоившими одно: рынок сам все отрегулирует. Он и отрегулировал: все, что не обещало немедленного обогащения, оказалось закрыто или заброшено” [8].

В данной модели сбыт и распределение электроэнергии разделяются: образуются регулируемые распределительные (сетевые) компании и множество независимых сбытовых компаний (СК). Создаются розничные рынки электроэнергии со свободными ценами. Потребители получают право выбора поставщика, включая непосредственный выход на оптовый рынок, минуя сбытовую компанию, или даже заключение договоров с генерирующими компаниями [7].

Речь идёт о рынке электроэнергии, у которого, в силу особенностей, отсутствуют признаки рыночного товара. Физическая однородность электроэнергии не позволяет определить у потребителя энергию, выработанную конкретным производителем. Признаком рыночного товара является взаимозаменяемость. У электроэнергии, в настоящее время, нет товара замещения, нет возможности запастись в промышленных масштабах; на территории одной страны электроэнергии необходимо иметь конкретные, определённые заданные характеристики, такие, например, как частота (исключение - Япония) и другие. Однако, нужно отметить что электроэнергию нельзя классифицировать по классу и качеству, как разные товары. То есть потребитель не может выбрать другой продукт на рынке электроэнергии, так как его нет в чистом виде.

Важно отметить, что при дерегулировании рынков электроэнергии, возникает много проблем. Основными можно считать:

1. повышение оптовых цен;
2. трудности с финансированием строительства новых электростанций. Данный пункт является вопросом стратегического развития и безопасности страны.

В частности, к недостаткам существующей модели можно отнести [2]:

3. нарушение целостности ЕЭС;
4. повышение оптовых цен электроэнергии до уровня маргинальных;
5. раздробление АО-энерго на множество компаний.

В России, дополнительно к недостаткам существующей модели рынка электроэнергетики можно отнести важный момент, а именно, прибыль одной электростанции может являться убытком для другой. Таким примером является взаимосвязь между ГЭС и КЭС, когда с половодьем ГЭС будут вырабатывать больше электроэнергии, чем КЭС. И наоборот, в года с низким уровнем воды ГЭС будут вырабатывать меньше электроэнергии, чем КЭС. Эти станции связаны обратно пропорционально друг с другом и прибыль одного из них является убытком для другого. Данный эффект явно заметен в ОЭС Сибири, где ГЭС вырабатывает практически половину мощности (ГЭС – 47,5 %, КЭС – 52,5 %) [4].

В современной рыночной экономике в сфере энергетики отсутствует эффект синергии и развития энергетики на уровне 60-х – 80-х годов прошлого века, в то время в год строили 6 – 8 ГВт электроэнергии [9]. Такой результат был виден и в числе стран, где были организованы рынки электроэнергии по данной модели — это страны Западной Европы, треть штатов США, две провинции Канады, Австралия. Во всех этих странах прекратилось строительство капиталоемких КЭС на угле, ГЭС и АЭС, строятся только ПГУ и ГТУ на дешёвом природном газе. Резко сократилось сетевое строительство [7].

В свою очередь, имеются положительные примеры эффективной работы регулируемых рынков электроэнергии на примере Китая, который реализовывает модель «единый покупатель». Однако, основополагающей стала советская модель, оказавшая влияние на формирование двух других: модель строительства социализма в соответствии с леворадикальными идеями Мао Цзэдуна и теорию Дэн Сяопина о «строительстве социализма с китайской спецификой». Китай и Вьетнам оказались единственными социалистическими странами, которые фактически выбрали конвергенцию двух социально-экономических систем: директивно-плановой и рыночной [10].

Модель «Единый покупатель» представляет собой довольно трудную и многогранную модель несовершенной конкуренции. Она сочетает в себе элементы монополии, олигополии и монополии. Данной организационной структуре электроэнергетики необходимо государственное регулирование, чтобы уменьшить (или смягчить) последствия несовершенной конкуренции и повысить эффективность функционирования рынка.

Одним из главных элементов регулирования является возложение ответственности за надёжное электроснабжение потребителей на компанию закупочное агентство. В этом случае компания отвечает за надёжное электроснабжение потребителей, при этом исключается возможность манипулирования

объёмами продаж и закупок ее у генерирующих компаний. КЗА необходимо закупать и продавать столько электроэнергии, сколько нужно потребителям. Управление деятельностью и тарифами ограничивает получение компаниями неоправданных прибылей. Важно, что при таком регулировании будет происходить необходимое развитие ЭЭС, благодаря отнесениям на тарифы инвестиций в новые электростанции и линии электропередач. В свою очередь для новых электростанций в долгосрочных контрактах будут закладываться повышенные цены на электроэнергию по сравнению с другими электрогенерирующими компаниями. Конечно, при таком регулировании нужно обеспечивать «нормальную» рентабельность (прибыль) КЗА.

Создание олигополии и дефицита электроэнергии, в модели 2, ограничивается благодаря заключению долгосрочных контрактов на увеличение производства электроэнергии (на строительство новых электростанций).

При этом КЗА будет обеспечиваться осреднение цен на покупаемую электроэнергию, а не закупка ее по маргинальным ценам, как это происходит в моделях 3 и 4. В тоже время обеспечивается необходимое развитие ЭЭС и сглаживание последствий несовершенной конкуренции.

Россия имеет все возможности перейти от модели 4, «Конкуренция на оптовом и розничных рынках», к модели 2, «Единственный покупатель». Согласно Российской специфике и опыту плановой экономики. Как результат государственное регулирование цен на электроэнергию, возвращение административно-хозяйственной целостности и управляемости ЭЭС и другие положительные эффекты, являющиеся основополагающими и развитию безопасности страны.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аюев Б.И. Методы и модели эффективного управления режимами электроэнергетической системы России. - Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, Екатеринбург, 2008 г.
2. Проблемы электроэнергетического рынка // Л.С. Беляев, монография; отв. ред. Н.И. Воропай; Российская акад. наук, Сибирское отделение, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. Новосибирск, 2009.
3. Highlights of the 21st World Energy Congress, Montreal 2010/ Addendum Edition to World Energy Insight 2010 Official Publication of the World Energy Council, [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB\\_World-Energy-Insight\\_2010\\_Addendum\\_WEC.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/10/PUB_World-Energy-Insight_2010_Addendum_WEC.pdf).
4. Грабчак Е.П. О подготовке к прохождению субъектами электроэнергетики осенне-зимнего периода 2015-2016 годов в Сибирском федеральном округе, Новосибирск, 2015.
5. Ефимов В.А., Экономическая азбука, Издательство «общественная инициатива», Санкт-Петербург, 2003 г.

6. Капица П.Л., Энергия и Физика, Доклад на научной сессии, посвященной 250-летию Академии наук СССР, Москва, 8 октября 1975 г., См.: Вестник АН СССР. 1976. № 1. С. 34-43.
7. ПРОТОКОЛ Совместного заседания Бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Научного совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики и Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС» по теме: «Оценка состояния рынка электроэнергии и пути его совершенствования» № 3/13 от «18» апреля 2013 года, г. Москва.
8. У России еще остается шанс стать развитой страной. Что можно взять из опыта Китая? // Кива А.В. Социологические исследования. 2017. № 3. С. 134-143.
9. Фортов В.Е., Энергетика России: проблемы и перспективы // Видео лекция «Эксперт» // 2013г., <https://www.youtube.com/watch?v=9LZaZpAnce0>.
10. Экономические реформы в Китае, их отличие от реформирования в России // Романова Г.Н. Россия и АТР. 2008. № 4. С. 69-83.

Научный руководитель: А.О. Сулайманов, к.т.н., зав. каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

**СЕКЦИЯ 10.  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ДИСКУРС «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»**

**METHODS OF DESALINATION AT NUCLEAR POWER PLANT**

V. Zhdanova  
Tomsk polytechnic university  
Institute of power engineering, group 5042

In connection with the Globe increasing population and rapid development of industrial complex the depletion of natural resources is observed. That entails the scientific research in the area of alternative sources of energy. But the problem with energy being solved by engineers and scientists is one of the solutions. However, it is necessary to bear in mind one more important natural resource – water, the source of Life on our planet. It is well-known fact that our body is composed of this liquid. It seems that there is no problem with water since it takes about 70 %. But this is a misleading vision. The vast majority of the world's oceans is salty water (99,687%). No doubt that it is a high time to stop wasting fresh water and think of some new ways of its desalination. Our research is directly focused on this problem.

Looking ahead, two main resource problems can be solved, e.g. energy and water. They are presented in the symbiosis of nuclear power plant and desalination unit. First attempts were made by soviet engineers in 1973 in the city of Shevchenko (now Aktau) where the first nuclear power reactor BN-350 with desalination plants was commissioned.

The Aktau nuclear power plant (NPP) installed electric capacity was 350 MW. At the time of its operation it was the only nuclear desalination plant in the world supplying fresh water for the city of Shevchenko in the volume of 120,000 cubic meters per day. The BN-350 fast reactor at Aktau, in Kazakhstan, successfully supplied up to 135 MWe of electric power while producing 80,000 m<sup>3</sup>/day of potable water over some 27 years, about 60% of its power was used for heat and desalination.

The desalination process is carried out in several ways:

1. the multi stage flash (MSF)
2. reverse Osmosis Technology
3. the multi-stage distillation (MED).

In the MSF process, the seawater is heated to the maximum brine temperature in the brine heater and fed to another container known as a "stage", where the surrounding pressure is below the saturated vapor pressure of the brine at that temperature. The sudden lower pressure causes the brine to boil so quickly as to flash into steam. Although a small portion of this water converts into steam, the remaining water is sent through a series of additional stages, each of them having a lower pressure than the previous stage. The vapor in each stage is condensed on the outer surface of the feed stream tubes, giving its latent heat to the incoming seawater flowing inside the tubes. Thus the feed stream is heated progressively in each stage before passing through the brine heater used to feed the first stage. The hot condensate also passes

through all the stages and cools itself while flashing a portion into steam, then it is collected as final product - fresh water.

In the MED process, the seawater is boiled in the first vessel, as the boiling point of water decreases pressure decreases. After that the vapor from the first vessel is condensed in the second one and its heat is used to boil the seawater in the second evaporator, which has a lower pressure than the previous. The seawater passes to the next section and the vapor from the previous one boils it, repeating the process. Increasing the number of stages leads to the increase of water production, but also causes a higher investment, so an optimum number must be determined depending on the plant specifications.

A semipermeable membrane is located between two compartments. The membrane allows the solvent to flow through it, but does not allow the solute to move from one compartment to the other. To obtain the equilibrium, the solvent from areas of low solute concentration moves to areas of high solute concentration. Areas with low concentration become more concentrated and areas with high concentration decrease the solute concentration. This process is called osmosis. In the reverse osmosis process, a pressure commonly ranging from 55 to 68 bar, is applied to the compartment with high concentration of solute, part of the seawater 30 to 40% passes through the membrane producing freshwater. The remaining concentrated water is sent back to the sea.

The most vivid problem is salt. This problem was also solved. Technical brine contains lots of valuable chemicals widely used in industry.

When dealing with the NPP advantages with a desalination unit, it is necessary to point out its disadvantages over typical desalination plant. It is, of course, the need for a large quantity of energy resources that makes it very expensive for supplying the population with fresh water. Energy, generated at NPP is enough to supply any desalination unit.

#### REFERENCES:

1. <http://atomicexpert-old.com/magazine>
2. <http://atomicexpert-old.com/content/yadernoe-opresnenie-ne-presnyy-plan-rosatoma>
3. <http://rosatom.ru/journalist/news/sverdniikhimmash-predstavil-na-forumendexpo-2016-sovremennye-tehnologii-vodopodgotovki-i-opresneni/>
4. <http://slavyanskaya-kultura.ru/blogs/poisk-ponimaniya/atomnyi-opresnitel-v-shevchenko.html>
5. <http://energionews.kz/?p=2572>

# REACTORS OF THE FOURTH GENERATION AND THEIR COMPARISON WITH THE REACTORS OF THE THIRD GENERATION

B.S. Dubikovskaya  
Tomsk polytechnic university  
ATES, 5041

Over the past few decades, the nuclear fission reaction has successfully proved the importance of its role as a source of energy. With that nuclear power will retain its role in the reduction of hydrocarbon resources.

Reactors of the third generation were first developed in the 1990s, but they are still widespread all over the world. As a rule, these are reactors with a light water coolant. Among them are Evolutionary pressurized reactors (EPRs) manufactured by AREVA, which are being built in Finland, France and China, AP-1000 manufactured by Toshiba-Westinghouse (advanced PWR) used in China, VVER-1200 a project "NPP-2006" developed by OKB "GIDROPRESS" in Russia, and APR(Advanced power reactor) -1400 produced by KEPCO in Abu Dhabi.

The weak side of existing nuclear technologies is their limited ability to use the energy potential of uranium fuel. Light water reactors of II and III generations are characterized by a low temperature of the coolant at the outlet from the core - about 300 ° C, which limits their thermal efficiency (about 30% for conventional light water reactors).

With the IV generation of nuclear technology, the term "reactor" is replaced by the term "system", which includes the reactor itself and the reprocessing of nuclear fuel. Such new systems should have higher performance compared to previous generations in development. They are safer, more reliable and possess protection from proliferation. Some produce electricity, and other generate heat at temperatures of 400-900 ° C and 100-300 ° C. High temperature can be used in various industrial applications like synthetic fuels, petrochemicals, biomass gasification, hydrogen production from water, glass or cement. Lower temperatures (100-300 ° C) can be applied to desalinate sea water and produce fertilizers.

Some IV generation systems will operate on fast spectrum neutrons. Their ability to reproduce fissile material in combination with advanced technologies of fission and transmutation offers great opportunities. Their nuclear fuel will be resistant to very high temperatures. As a result, their fuel cycle will be completely closed.

The main advantages of 4 Generation Reactors are as follows:

- they ensure optimal use of natural resources and reliability of energy supply
- minimal waste generation
- high thermal efficiency.

Such reactors are able to convert  $^{238}\text{U}$  into fissile  $^{239}\text{Pu}$  even more intensively than they themselves absorb fissile material. In addition, they can use fuel with very low uranium content.

These types of reactors are able to cope with the leaks of military nuclear technology. Closed reactors can be supplied to any countries, because they cannot receive raw materials for nuclear charges.



With the use of other heat carriers, higher temperatures can be reached 400-600 °C for CO<sub>2</sub>, 500-700 °C for liquid metals (sodium, lead) and 700-900 °C for helium. The temperature of the coolant at the exit from the core of 900 °C equals the thermal efficiency to 44%, that is approximately one third higher than that of classical light water reactors.

However, this type of reactors is also not perfect and one of the disadvantages is the need to organize reprocessing of fuel at nuclear power plants. Besides, higher costs when repairing can also be viewed as its drawback.

In 2002, the GIF Forum began organizing scientific cooperation among interested participating countries in the field of developing six new generation nuclear systems. Three systems were chosen that operate on fast-spectrum neutrons, one on thermal neutrons and two systems that can work in both the fast and thermal spectra.

Fast neutron reactor with a sodium coolant and a closed nuclear cycle (SFR) provides effective treatment of actinides and reproduction of fissile material (Japan, USA, France, Euratom, South Korea, China and Russia).

Fast neutron reactor with a lead or lead-bismuth liquid metal coolant and a closed nuclear cycle (LFR);

Fast neutron reactor with a helium coolant and a closed nuclear cycle (GFR )

High-temperature reactor with graphite retarder, helium coolant and open uranium fuel cycle (VHTR)

SCWR is a high-temperature reactor with a high-pressure water coolant operating above the thermodynamic critical point of water

MSR - generates energy due to the fission reaction in the epithermal spectrum, with the circulation of the coolant and fuel as a mixture of molten salts and complete burning of actinides

#### Conclusion

At present, scientific research and tests of various systems of the IV generation are being conducted all over the world. The ultimate goal is the implementation of the industrial system of the IV generation by 2040. Although, no one can predict when the industry and investors will be ready to start the construction of such innovative systems. The adoption of such decisions depends not only on the availability of scientific achievements and the required technological level, but also on the current economic and political situation.

#### REFERENCES:

1. [Electronic resource]//[site].2016-Mode of access <http://www.atomic-energy.ru/technology>
2. (Date of circulation 28.05.2017.)
3. [Electronic resource]//[site].2016-Mode of access <https://geektimes.ru/>
4. (Date of circulation 28.05.2017.)
5. [Electronic resource]//[site].2016-Mode of <http://новости-мира.ru-an.info>  
(Date of circulation 28.05.2017.)

# THE USE OF NON-CONTACT METHODS TO MEASURE THE RESIDUAL STRESSES IN A WELD AS A MEANS FOR IMPROVING THE SAFETY OF NUCLEAR POWER STATION

А.С. Лемешев

Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС, группа 5041

## Introduction

A large the number of welds is used at nuclear power plants (NPP), therefore the quality of these welds plays an important role in the safe operation of NPP.

Today there are 2 basic methods to measure the residual stresses, namely contact and non-contact methods. Non-contact methods can be classified as Neutron method, Ultrasonic method, Magnetic method, Synchrotron method and X-ray method. The aim of this article is to compare the two most accurate methods - Magnetic and Ultrasonic ones.

## Magnetic method

To measure residual stress (voltage), the object is gradually magnetized and then demagnetized. Hall sensor is used to measure the strength of the demagnetization field. After this, the amplitude of the signal is converted to residual stress (voltage).

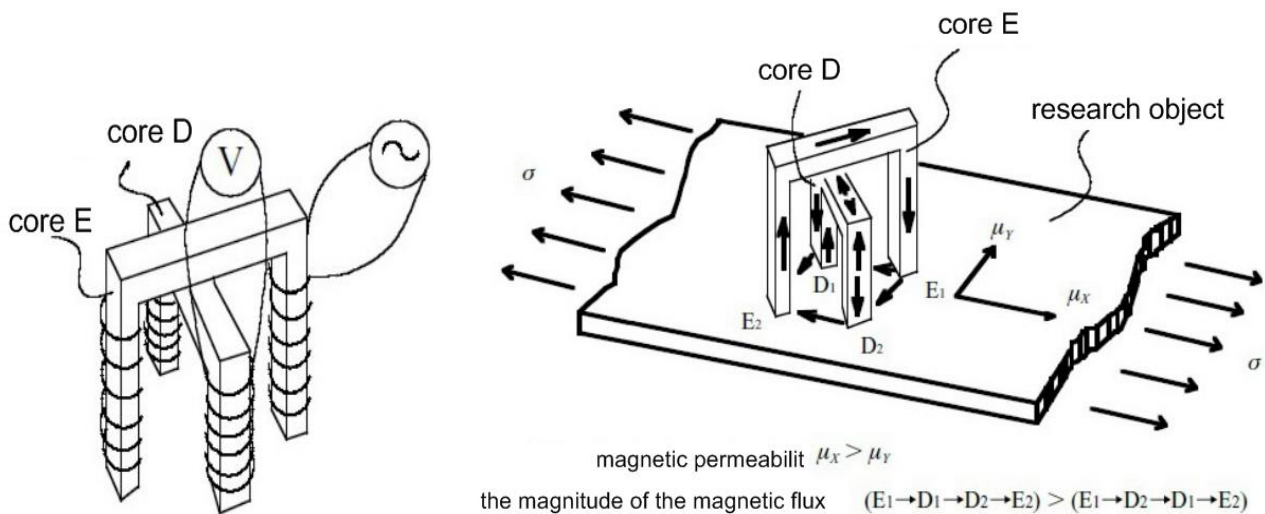


Fig.1. Magnetic method (operating principle)

The benefits of the magnetic method are:

1. high speed of measuring;
2. this method can be used on the working structures.

The major disadvantages of the magnetic method are as following:

1. suitable only for ferromagnetic materials;
2. high labor intensity;
3. high cost.

## Ultrasonic method

This method is based on changing parameters propagating waves in a solid. Alternating current passes through a coil pass and generates alternating magnetic field around it producing eddy current in the test object. This current interacts with the

magnetic field of the magnet causing the Lorentz force to create ultrasonic vibrations in the object.

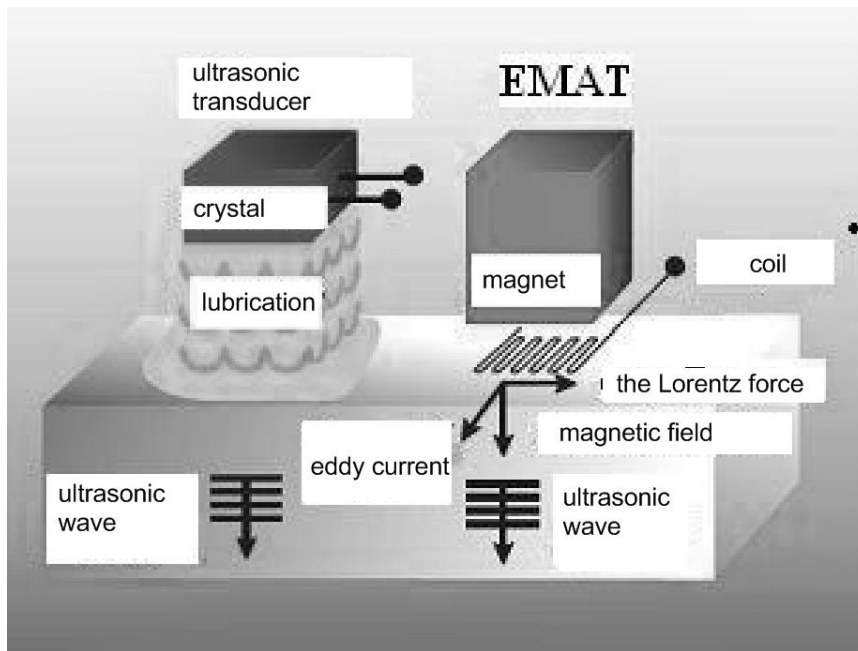


Fig.2 Ultrasonic method (operating principle)

Among the benefits of the ultrasonic method are:

1. high speed of measuring;
2. no material restrictions;
3. can be used on the working structures.

#### **Using these methods on NPP with the help of robots**

To explore the seams inside the reactor we need to get inside. But for people get inside reactor is problem. This problem was solved by robots. These robots can go on walls and overcome obstacles such as bolts. The robots have sensors for non-contact research and camera. This technology is used at the Onagava NPP and the Tokohama NPP. Unfortunately, these technology is not used in Russia because of its high cost. Figure 3 shows the test system under the control of the cylindrical part the reactor vessel and under the control of a branch pipe zone.

To sum up, the most effective method is Ultrasonic method



Fig. 4. (the test system of the branch pipe zone)

## REFERENCES:

1. <http://www.innov-rosatom.ru> [19.09.2017]
2. Lobanov L., Pivtorak V., Savitsky V., Tkachuk G. Determination of residual stresses in structural elements using electron speckle interferometry method. 13th International Conference on Fracture, Beijing, China, 16–21 June, 2013.
3. Kesavan K., Ravisankar K., Parivallal S., Sreeshylam P. Non destructive evaluation of residual stresses in welded plates using the Barkhausen noise technique. Experimental techniques, march, 2006.
4. <http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/mntk2011/documents/mntk2011-184.pdf> [19.09.2017]
5. <http://www.innoros.ru/news/13/09/polzayushchii-robot-pozabotitsya-ozdorove-aes-i-ges> [19.09.2017]

## HYDROGEN ENERGY

P.D. Nim

Tomsk polytechnic university  
Institute of Power Engineering, gr. 5B72

The paper deals with hydrogen fuel that is zero-emission fuel, which uses electrochemical cells or combustion in internal engines, to power vehicles and electric devices. It is also used in the propulsion of spacecraft and might potentially be mass-produced and commercialized for passenger vehicles and aircraft.

Hydrogen is the simplest element. An atom of hydrogen consists of only one proton and one electron. It's also the most plentiful element in the universe. Despite its simplicity and abundance, hydrogen doesn't occur naturally as a gas on the Earth - it's always combined with other elements. Water, for example, is a combination of hydrogen and oxygen (H<sub>2</sub>O).

Hydrogen is high in energy, yet an engine that burns pure hydrogen produces almost no pollution. NASA has been using liquid hydrogen to propel the space shuttle and other rockets into orbit. Hydrogen fuel cells power the shuttle's electrical systems producing pure water that the crew drinks.

A fuel cell combines hydrogen and oxygen to produce electricity, heat, and water. Besides, fuel cells are often compared to batteries. Both convert the energy produced by a chemical reaction into usable electric power. However, the fuel cell will produce electricity as long as fuel (hydrogen) is supplied, never losing its charge.

Fuel cells are a promising technology for use. It can be used as a source of heat and electricity for buildings, and as an electrical power source for electric motors propelling vehicles.

In the future, hydrogen could also join electricity as an important energy carrier. An energy carrier moves and delivers energy in a usable form to consumers. Renewable energy sources, like the sun and wind, can't produce energy all the time. But they could, for example, produce electric energy and hydrogen, which can be stored

until it's needed. Hydrogen can also be transported (like electricity) to locations where it is needed.

The widespread adoption of hydrogen fuel is hindered by higher cost of hydrogen compared with usual liquid and gaseous fuels, the lack of necessary infrastructure. An interim solution could be a mixture of traditional fuels with hydrogen. Hydrogen can be used to improve the ignitability of lean mixtures in combustion engines running on conventional fuels.

#### RERERENCES:

1. The World's #1 Renewable Energy Network for News, Information, and Companies // <http://www.renewableenergyworld.com/hydrogen/tech.html>

Научный руководитель: В.В. Воробьева, к.ф.н., доцент каф. ИЯЭИ ЭНИИ ТПУ.

### **THE COMPARISON OF COMPLEXITIES OF THE CHINESE AND RUSSIAN LANGUAGES ON THE EXAMPLE OF TERMINOLOGY OF CHEMISTRY**

Ж.К. Иванова

Томский политехнический университет  
ИСГТ

Many linguists are wondering whether it is possible to objectively assess the complexity of languages without attracting speakers of a particular language. If so, what criteria can be used to do this? Alexander Pipersky, candidate of Philology, assistant professor of the Institute of Linguistics of the Russian State University for the Humanities, gives the example with the Martian who came to our planet and needs to learn a human language - which language would be easier for him then, and which one would be more difficult [1]? Linguists in the process of studying language complexity try to answer this question.

Chinese is certainly one of the most complex languages in the world: tonality, a large number of synonyms, homonymy, hieroglyphics, high-speed speech of speakers, 10 dialect groups, etc., but in every even the most complex language there are also advantages that can be identified in comparison with another language.

If you take a certain professional sphere and look at the terminology of this field in Chinese, you can see that although Chinese characters are difficult to write, but their graphical content carries so much information that even if some term is absolutely unfamiliar and highly specialized, then its meaning and nature can be understood simply by looking at the characters in its composition. In this respect, the terminology in Russian is harder to perceive and understand than in Chinese, since it uses mostly those terms that are used only in a professional context, while most of hieroglyphs in Chinese terms are commonly used in ordinary life.

Let's compare the terminology of Chinese and Russian languages by the example of chemical terms, where there are dozens of incomprehensible words and expressions in the Russian language, the origin and nature of which are difficult to guess, since most of them come from the words of the Greek and Latin languages.

1. **One-component terms:** The term 氢 "hydrogen". Let's examine what in general this term means in Russian. Hydrogen is a light, colorless gas. Much of this definition is already contained in the hieroglyph, since the key 气 means "gas", and the lower two keys are part of the word "light", and the word is completely in tune with the word "hydrogen" - qīng. The Russian term "hydrogen" also carries some information, if you disassemble it into the components of "water" + "genus". After all, everyone knows that, according to the laws of chemistry, hydrogen as a chemical element in conjunction with oxygen forms water, but this information is secondary in comparison with the information given by the Chinese term "light gas".
2. **Two-component terms:** The term 加 嗅 "odorization" (from Latin odor - "smell"): add + smell. In the dictionary, the term "odorization" is defined as giving (gas) a characteristic smell. As we see, the translation of the hieroglyphs in the term ideally reflects the whole nature of the term.
3. **Three-component terms:** The term 异构化 "isomerization": isomer + transformation. 异构 "isomer": different + structure. It turns out that there are particles, involved in a certain transformation, being different in structure. According to the dictionary, isomers are substances that have the same qualitative and quantitative composition, but different structure and, therefore, different characteristics.
4. **Four-component terms:** The term 无 定形 碳 "amorphous carbon". Not everyone can understand the meaning of the word "amorphous," but in the Chinese term everything looks quite clear: there is no + established + form + carbon, literally translating as "carbon without a fixed form." And now look at the original definition of this term - amorphous carbon - "a state of carbon with a disordered structure."
5. **Multicomponent terms:** The term 非 压缩 氢气 "uncompressed hydrogen". Let's divide this term into its components: no + pressure + compress + hydrogen + gas. In the Russian version of this term, we face a word of Latin origin "compression", which means "compression of gas under the influence of external forces to reduce its volume, increase pressure and temperature." Of course, many ordinary people know the term "compression", but yet again we have a Russian term of Latin origin, which complicates its perception.

Thus, using the example of these chemical terms, we can observe the comparative easiness of understanding Chinese terms and the complexity of understanding their analogues in Russian.

In addition to the comparison of terms in this work, two experiments were also carried out to reveal the essential difficulties and advantages of the Chinese and Russian languages.

In the first experiment, a Chinese text on chemicals in food was selected. The text was translated into Russian. Then a couple of Chinese students wrote at dictation the text in Chinese and Russian students – the text in Russian. The objective of the experiment was to determine the main difficulties that arise in the process of writing in these languages.

**Difficulties of the Chinese language, revealed during the first experiment:**

1. The relatively long time of writing a small piece of text - a little more than half a page in 23 minutes.
2. The problem with punctuation and selection of paragraphs, because of what the text looks unstructured.
3. The big difference between classical written and spoken Chinese.
4. Spelling of hieroglyphs – Chinese native speakers themselves forget how to write some hieroglyphs or certain lines of hieroglyphs.
5. Homonymy of the Chinese language - because of the identical spelling of the words, some characters were written wrong in the text (子 zǐ (child) and 紫 zǐ (purple), 成 chéng (become) and 呈 chéng (have a look), 攝入 shè rù (absorption) 涉入 shè rù (penetrate), 症 zhèng (disease) and 征 zhēng (syndrome)).
6. Confusing words that are only partially consonant and partially similar in spelling (即 jí (even if) and 及 jí (i), 无论 wúlùn (despite) and 不论 bùlùn (regardless of)).
7. Words are not separated on the letter from each other by spaces, as in Russian, because of which it is sometimes difficult to determine the boundaries of words.

**Difficulties of the Russian language, revealed during the first experiment:**

1. Complexity of grammatical forms, because of which it is easy to confuse letters in endings, roots or suffixes of words, even simply by inattention (Естественный и натуральные ароматизаторы, Продукты питания).
2. Fast fatigue in writing complete words without shortening words, where it's possible.
3. Voiceless / voiced consonants at the end of the word - the need to check the spelling of words by changing the form of the word, or simply memorizing the rules (циннамальдегид, вместо циннамальдегид).
4. A large number of words of Latin and Greek origin (flavor, cinnamaldehyde, vanillin, orchid, sodium glutamate, etc.). This problem is particularly relevant to chemical terms in the Russian language, where each term has a Latin or Greek origin and therefore causes difficulties in understanding both in speech and in writing.

In the second experiment the students of the both sides were asked to read the same texts in order to reveal some difficulties in oral speech of Chinese and Russian.

**The difficulties of the Chinese language, revealed during the second experiment:**

1. One character can be read in different ways and there are no clear rules for this or that variant of reading, you can check only in the dictionary (For ex-

ample, in the word from the text 差别 chābié, which means "difference", in the hieroglyph 差 except for reading chā there is still a few readings: chà, chāi, chài, cī, cuō, jiē. For example, in the word 参差 cēncī "asymmetrical" this hieroglyph is read as cēn, and in the word 出差 chūchāi "business trip" the hieroglyph is read as chāi).

2. Homonymy of words.
3. Tones that involve a large articular work.
4. Great semantic significance of tones - if the tone changes, then the writing of the hieroglyph of the word and its meaning change dramatically. Very often, native speakers themselves during the speech clarify each other the meaning of a word.

#### **Difficulties of the Russian language, revealed during the second experiment:**

1. Voiceless / voiced consonants at the end of the word: due to the fact that voiced consonants at the end of the word are deafened, then on the letter it is easy to make a mistake with writing (the Russian student made a mistake by writing not циннамальдегиД, but циннамальдегиТ, that in oral speech, she would have incorrectly remembered the term and wrongly used it later, for example, she would then say «циннамальдегиТа, циннамальдегиТу», etc.).

Of course, it is impossible to consider and point out all the difficulties of the Chinese and Russian languages, since these two language systems are relatively complex and large-scale. However, from the data obtained in the course of two experiments, we can see that the Chinese language has much more difficulties than Russian. Nevertheless, this does not mean that the Russian language is easier, on the contrary, from the point of view of the grammatical structure, the Russian language is much more complicated, as the results of experiments have shown, but from the point of view of clarity and precision of information presentation, from the point of view of the most detailed expression of meaning for the most full understanding or translation into other languages, the Russian language is easier.

The grammatical categories of the Russian language, although difficult to use, yet still contribute to the most detailed description of a phenomenon, which is very important in the narrowest and most precise areas of knowledge, where it is necessary to describe the smallest detail of what is happening, for example, during experiments on chemistry or surgical operations.

Chinese is easier to understand the meaning of individual words, but not of a whole sentence or text. Especially it concerns any specialized terms in certain areas, for example, in chemistry. Russian is harder to understand technical terms, since most such words are borrowed from Latin and Greek. On the other hand, sometimes borrowed words can be useful for a better understanding of the meaning, since they can express a more specific meaning, which is very important in narrow areas of knowledge.



## LITERATURE:

1. Piperski A. Language complexity [Electronic resource]. - Access mode: <https://postnauka.ru/video/54750> -23.03.2017

Scientific adviser: Y. Kobenko, Dr. of Philology, professor of Department of Foreign Languages of National Research Tomsk Polytechnic University.

## ENERGY OF THE FUTURE

A. Lazarenko

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, group 5061

Mankind has long pondered the question of what the energy of the future will be. The problem of global energy research is that it is necessary to take into account a greater number of factors affecting the production and consumption of energy resources. The world has accumulated considerable experience in researching the future of world energy.

Technological and scientific discoveries directly affect the world energy consumption and production. Research is constantly being carried out to improve energy efficiency. Analysis of technological trends shows that humanity is on the verge of an energy revolution. Today's energy is based on burning fossil fuels with a fairly low efficiency. The energy of the future is based on the use of renewable energy sources and active promotion of nuclear energy, efficient use of energy resources. The main directions of the energy revolution are the widespread dissemination of energy saving technologies, the integration of energy into the technosphere, the decentralization of energy, the creation of energy information systems, an "energy efficient house" and an "energy efficient city".

Table 1. World primary energy consumption by a scenario, million tones

	2010	2030	2050	2030	2050	2030	2050
Oil	3882	4627	5018	4441	4188	3641	2757
Gas	2653	3952	4522	3306	3483	3292	3092
Coal	3278	4617	4487	3209	1794	3526	1812
Nuclear	626	776	824	512	349	1335	2333
Biomass	650	600	600	600	600	300	200
Hydro	572	729	952	729	952	729	952
New re- newables	210	1040	1835	1481	3019	1860	5846
Total	11871	16342	18239	14279	14386	14683	16993

In this scenario, the main role will be taken by nuclear and renewable energy. By 2030, nuclear power can double, and by 2050 – become four times compared with the current level. The basis for such growth will be an accelerated transition to standard 3- and 4-generation reactors, as well as to fast neutron reactors. This will solve the uranium problem and the problem of used nuclear fuel. Renewable energy will

increase 9 times by 2030 compared to 2010 and by 26 times by 2050. In its structure there will prevail wind and solar power. It is expected to radically reduce the cost of solar energy.

The environmental factor is currently one of the key points in the development of energy. Legal and economic mechanisms are being created that stimulate the process of transition to a new type of energy. Special requirements are advanced to modern nuclear power plants, this causes their high cost, several times more than for Thermal Power Plants and Hydro Power Plants. The main cause of major accidents at nuclear power plants is the human factor, but with the widespread automation of production, this problem is not so acute. In my opinion, in the future consumption of resources and production waste can be radically reduced due to a complex of new technologies in the energy sector.

Also, a serious problem is the depletion of natural resources, exhaustible non-renewable fossil energy resources of nutrient origin - coal, oil, natural gas. The main way to prevent the depletion of natural resources is rational and integrated use of them, as well as the search for new sources of raw materials and the transition to new types of energy and fuel. However, the transition to renewable energy can pose new yet unknown problems to the world. So, wind energy can lead to higher temperatures in regions where wind stations are installed, and mass installation of solar panels can have a negative effect on the atmosphere.

The future of modern energy is at the intersection of science-intensive technologies, energy-efficient approach and ecologically correct choice!

#### LITERATURE:

1. Ways of improving steam turbine installations at the nuclear power stations  
Filippov G.A., Nazarov O.I., Belyaev L.A. // BULLETIN OF THE TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY – Vol. 320 - №4 – 2012
2. Mirovaja jenergetika – 2050 (Belaja kniga) / Pod red. Bushueva V.V. Kalamanova V.A. (MCUJeR) – M.: IC "Jenergija", 2011. – 360 s. [World Energy – 2050 (The White Book) / Ed. By V.V. Bushuyev, V.A. Kalamanov... In Russian]

## SCIENTIFIC PRODUCTS OF TPU

A. Shteyzel  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, group 5B61

TPU is one of the huge universities in Russia, and of course it has a lot of its own scientific products. So, I want to tell some information about it.

### **Complex cleaning and disinfection of industrial waste water**



#### Appointment

The decontamination and purification of domestic waste water from a wide range of impurities: improvement of organoleptic indicators, removal of organic pollutants (oil products, phenol, methanol, etc.), the impact on pollution in the colloidal form by converting them to filterable residue, removal of heavy metals, reduction of COD, BOD, disinfection/sterilization of water.

### **The device of non-destructive control of metals and alloys "Termotest"**



Control of metals and alloys according to the method of differential thermal electromotive force (thermo-EMF) in laboratory and workshop conditions.

The device uses a radically new scheme for measuring the differential thermoelectric power, eliminates the measurement error caused by contact resistance and the heating of the cold electrodes in the measurement process.

## **Robotic ultrasonic imaging**



The hardware part of the scanner includes a number of innovative solutions in the field of measurement technology, microelectronics, compact systems, parallel computing and high-speed processing of large data sets.

Tomsk Polytechnic University has developed its own algorithms to reconstruct the acoustic data method (DFA), which allows to obtain three-dimensional images of the structure of the controlled object with high resolution in real time.

## **Navigation and telecommunication systems of the new generation**



### **Appointment**

Navigation and telecommunication systems of the new generation with the use of GLONASS satellite navigation system and unmanned aerial vehicles for the mobile teams and operations centers focus on the use of the wide range of tasks. The main purpose is: monitoring of the territory using unmanned aerial vehicles, and supporting mobile groups for various purposes, including rescue groups, processing the received information with visualization and communication through a variety of communication channels to the control center.

## **The hybrid system of buffer accumulation of electric energy**



### Appointment

It is used to match the modes of production and consumption of electric energy in isolated energy systems, including several independent generating units, with the aim of improving their energy efficiency.

### Current phase

The present state of research is manufacturing an experimental model of the hybrid system of buffer accumulation of energy for autonomous power plants of renewable energy, GSBI-2/5-SPT on peak power 2 kW.

There are many more other products in TPU, however they must be presented separately.

### REFERENCES:

1. <http://inno.tpu.ru/>

## **THE MAIN PROBLEMS OF ENERGY AND POSSIBLE SOLUTIONS OF THEIR SOLUTIONS**

V.O. Pilat

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, group 5B61

Energy consumption is an indispensable condition for the existence of mankind. Availability of energy for consumption has always been necessary to meet the needs of the individual, to increase the duration and improve the conditions of his life.

The history of civilization is the history of the invention of new methods of energy conversion, the development of its new sources and, ultimately, the increase in energy consumption.

The first jump in energy consumption occurred when a person learned to obtain fire and used it for cooking and heating their home. The sources of energy in this period were wood and muscular strength of man. By the 15th century, a medieval man, using working cattle, the energy of water and wind, firewood and a small amount of coal, already consumed about 10 times more than a primitive man. A particularly significant increase in global energy consumption has occurred over the past 200 years.

In the modern world, energy is the basis for the development of basic industries that determine the progress of social production. In all industrialized countries, the pace of development of energy has outpaced that of other industries.

At the same time, energy is one of the sources of adverse environmental and human impacts. It affects the atmosphere, the hydrosphere and the lithosphere.

Despite the mentioned factors of the negative impact of energy on the environment, the increase in energy consumption had not caused much concern among the general public. This went on until the mid-1970s, when numerous data appeared in the hands of specialists, indicating a strong anthropogenic pressure on the climate system, which threatens the global catastrophe with an uncontrolled increase in ener-

gy consumption. Since then, no other scientific problem has attracted such close attention as the problem of the present, and especially of the forthcoming climate changes.

It is believed that one of the main reasons for this change is energy.

Three groups of basic problems related to meeting the growing demand for energy are considered: the shortage of energy resources and energy, the growing burden on the environment, geopolitical and social threats. Based on the analysis of the "energy image" of the modern world, it is shown that the main way to solve these problems is to implement the concepts of energy saving and energy substitution. The main reasons for the unjustifiably high energy intensity of the Russian economy, the potential for energy saving and state and public measures for its implementation are given. The concept of energy substitution is disclosed - replacement of traditional primary energy resources with auxiliary / alternative fuel resources and non-traditional renewable energy sources, as well as development of alternative methods of obtaining electric and thermal energy. An important role in ensuring the energy security of the formation of a fair world energy market was underscored.

Most experts come to the conclusion that solving the problem of meeting the growing needs of mankind for energy at affordable prices and with minimal damage to the environment in any of the forecasted options for energy development lies in the way of implementing the concepts of energy saving and energy substitution combined with increasing the volumes of traditional fuel production and involving it in an increasingly large scale in the energy production of auxiliary / alternative fuel resources. The concept of energy saving is to increase the efficiency of energy resources management at all stages of their life cycle: from prospecting, exploration to production of electrical and thermal energy, transport of energy to remote consumers, its distribution and, finally, consumption. The concept of energy substitution means a gradual transition from traditional fuel to non-traditional renewable energy sources, as well as the development of new technologies for obtaining electric and heat energy, which in the second half of the century can substantially change the appearance of energy, remove or at least reduce the acuteness of existing problems – those of resources, environment and geopolitics.

#### References:

1. Ecological problems of energy supply of mankind. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm>.
2. Main energy problems and possible solutions URL: <http://izvestiya.tpu.ru> V. 319 №4 2011 Ushakov V. Ya. Accessed: 01 September 2017.

# ROTARY-SCREW-ENGINES

A. Y. Zubov

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, group 5B61

The relevance of this work is caused by the necessity of developing installations for distributed generation of energy using local fuels. There is a need for more distributed energy sources not only in the form of heat, but also electricity. This is important, for example, to remote and Northern territories of Russia that are without centralized energy supply, as well as for new construction areas. In addition, the distributed cogeneration enables more efficient use of energy of fuel combustion and minimizes the loss of energy transfer.

The aim of this work is to review the existing schemes and development of power devices used for the production of electricity. On this basis, highlighted new approaches to the development of engines suitable for distributed systems additional energy sources are presented. The main research method is the thermodynamic consideration of options power cycles. At the same time, important design features and kinematic principles of the engine are analyzed. The degree of compression, as a constructive feature, here is crucial. The important role is played by the principle of balancing the active forces in the engine.

The results are as follows. There was proposed a new class of power machines, suitable for installations of distributed energy production - rotary-screw engines. Rotary-screw-engines may be used as expansion machines in a Rankine cycle. They can also be used in cycles of engines internal and external combustion. These engines have a high compression ratio. Radial and axial forces acting in the engines operating on the proposed circuits are mutually balanced.

**Key words:** Electronic resource, distributed production systems, energy, manufacturing, steam, steam engines, turbines, compressors, cogeneration the Rankine cycle.

## REFERENCES:

1. <https://www.ted.com/> (video name: "A solar energy system that tracks the sun", by Bill Cross)
2. <http://izvestiya.tpu.ru> (Articles of 2014-th year)

# DEVELOPMENT OF BLASTING TECHNOLOGY THAT REDUCES THE HARMFUL IMPACT ON THE ENVIRONMENT

D.Y. Fazlyev  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineer, group 5061

In the modern world, the theme of ecology occupies an important place in our life. Each branch of production shifts to more ecological methods of farming. Let us consider the extraction of minerals. The preparatory stage of this case includes directly blasting. How do we make blasting work environmentally friendly?

The work in the direction of optimizing blasting operations was carried out by the doctor of technical works Vitaly Komashchenko. In his scientific work, physical modeling of parameters of blasting operations and forecasting the ways of deposit development were made. According to the results of the physical simulation of blasting operations, the ecologically clean blasting technology was developed, taking into account the modern methods of breaking and optimal blasting parameters, combined with an assessment of the role of strength properties and structural features of the array, with the goal of obtaining a qualitative crushing of the rock massif. The regular dependence of the quality of crushing on the grid of drilling and blasting wells was also confirmed. Based on the results, the necessary ideas were put forward in the field of reducing the technogenic impact of the mining and processing of iron ores. These include:

1. Development of a general concept of environmental protection from technological pollution;
2. Improvement and introduction of rational parameters of drilling and blasting operations.

In conclusion, I would like to note that the introduction of advanced modern technologies for extraction and processing of iron ores, improvement and introduction of rational parameters of drilling and blasting operations provides economic benefits by reducing the technogenic burden of mining enterprises on the environment and improving the geo-ecological state of mining regions.

## SOURCES:

1. Komashchenko V. Development of blasting technology. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. URL: <http://izvestiya.tpu.ru/ru/archive/new/article.html?id=360863&journalId=>
2. Lukyanov. Blasting operations. Manual for students of TPU. URL: <http://portal.tpu.ru/files/personal/lukyanov-posobie1.pdf>



# THE METHOD OF CALCULATION OF SOLAR RADIATION

A. Alyunin

Tomsk Polytechnic University

The institute of Power Engineering, Group 5061

A vector of energy policy of peace is aimed at increasing the share of renewable energy sources (RES) in the global energy balance [1-3]. Accelerated transition to carbon-free energy dictated by the situation on the global energy commodities market occurs.

It should be noted that in many regions there have entered short-term and long-term programmes for the development of renewable energy sources. The European Union programme "Europe 2020" aims that by 2020 the share of RES in total generation would be less than 20 %.

Incoming to the surface, solar radiation is unstable and depends on many unchanging and variable parameters. Unchanging from year to year, the parameters include: geographic coordinates and time zone location and the number of days in the calculation period, time of sunrise, Zenith and sunset, duration of day, etc. Variable parameters first need to include the following indicators: the presence of clouds, the composition of the clouds, the air mass based on the changing pressure and temperature, the change in the thickness of the vertical column of ozone layer.

After defined time intervals, the calculation of direct, diffuse and total solar radiation in the study area takes place. This work uses the main ideas presented in the mathematical model Iqbal.

In terms of time intervals (between sunrise and sunset), the basic meteorological and astronomical parameters are defined which calculate the direct, diffuse, and total solar radiation received on a horizontal surface in the study area. The calculation is performed with a discrete step of one hour.

**Table 1** Summary solar radiation arriving on horizontal surface in the settlements by years of weather observations.

Summary solar radiation, kW·h/m <sup>2</sup>								
Number of the year	Алдан Aldan	Якутск Yakutsk	Оймякон Оумуакон	Черский Chersky	Тикси Tiksi	Саскылах Saskylakh	Верхоянск Verkhoyansk	Усть-Мома Ust-Moma
1	252,7	1064,6	1040,1	862,79	719,99	720,61	892,60	958,48
2	203,8	1031,6	1006,4	850,30	725,02	742,02	884,39	933,72
3	204,0	1031,8	1017,4	853,53	733,48	740,93	890,10	939,70
4	242,6	1040,9	1022,5	854,79	724,28	725,68	886,47	927,83
5	195,7	1027,6	996,5	850,40	731,60	733,61	881,80	927,36
6	225,2	1042,1	1019,6	871,97	737,84	729,64	895,09	943,07
7	246,8	1061,0	1025,8	879,88	751,26	760,70	909,44	954,67
8	210,5	1023,2	994,9	873,76	777,66	790,39	905,29	938,33
9	199,7	1006,2	995,3	870,14	767,12	780,44	886,85	929,54
10	225,0	1035,7	1021,3	877,65	770,23	777,73	903,94	954,27
11	216,8	1033,1	1006,7	888,36	790,12	778,57	895,83	934,85
12	212,3	1024,8	1003,5	885,97	784,74	777,42	899,21	942,33
Mean value	219,58	1035,21	1012,51	868,30	751,10	754,81	894,25	940,35

The obtained results are located quite relatively close to each other. This suggests that climatic processes in the middle and lower layers of the atmosphere are cyclical. Recurrence is dictated coming from the year of baric depressions, responsible for long-term (seasonal) climate change in the study area [4].

Table 2 maps the results obtained with the well-known open sources such as database NASA SSE [5].

**Table 2.**

Comparison of the mean annual values of total solar radiation with the data in [5].

Settlement	Алдан Aldan	Якутск Yakutsk	Оймякон Оумуакон	Черский Chersky	Тикси Tiksi	Саскылах Saskylakh	Верхоянск Verkhoyansk	Усть-Мома Ust-Moma
Mean value, kW·h/m <sup>2</sup>	1219,58	1035,21	1012,51	868,30	751,10	754,81	894,25	940,35
[57], кВт·ч/м <sup>2</sup> (kW·h/m <sup>2</sup> )	1091,32	1084,15	1051,24	905,23	781,12	795,35	949,11	952,65

The methodology of determining direct and diffuse solar radiation is of crucial importance. It is produced by solar radiation calculations for different localities of the Republic of Yakutia, and also compared with the results of NASA SSE.

#### REFERENCES:

1. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable energy statistics 2016. URL: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_RE\\_Statistics\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Statistics_2016.pdf)

2. Communication from the commission to the European Parliament and the council. Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy. URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_eec\\_communication\\_adopted\\_0.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_eec_communication_adopted_0.pdf)
3. Wong L.T., Chow W.K. Solar radiation model // Applied Energy. – 2001. – V. 69. – P. 191–224.
4. Badescu V., Dumitrescu A. New models to compute solar global hourly irradiation from point cloudiness // Energy Conversion and Management. – 2013. – V. 67. – P. 75–91.

## **FEATURES OF THE CREATION OF UNDERGROUND NUCLEAR POWER PLANTS AND SOME ISSUES OF RADIATION COLD-FASTNESS AND WORKING CAPACITY OF STRUCTURAL MATERIALS OF THE REACTOR VESSEL**

N.V. Nazarchuk  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of power engineering, Group 5061

At present, in the energy balance of most economically developed countries, nuclear power takes a solid place and continues to develop successfully. In 31 countries, 440 nuclear power units are operated with a total installed capacity of 359.9 GW, which accounts for about 17% of all electricity produced in the world, and in some countries (Lithuania, France, Sweden, Japan, Belgium) more than half of the energy produced is generated by nuclear power plants. For example, in France, nuclear power accounts for about 80% of the generated energy. Under construction are 30 power units with a total capacity of 31 GW, including in countries that previously did not have nuclear power plants (Iran). Only in 2002, 7 power units with a total capacity of 5.9 GW were commissioned in the world (China, Korea, Czech Republic).

The cardinal way to improve the safety of nuclear power plants is their underground location. The shelter of the roof from the natural rock of the nuclear and radiation-hazardous blocks of the station localizes the consequences of any nuclear (even beyond design) and radiation accident in a sealed underground space. The thickness of the Earth's layer is a reliable protection against any external impact - the fall of heavy aircraft, large meteorites, the use of concrete concrete shells, bombs, air and space attack, as well as sabotage and terrorist acts.

The second important advantage of underground nuclear power plants is the possibility of processing and storing radioactive waste in the underground space. This eliminates the need for their transportation and the creation of special storage facilities, which is fraught with a radiation accident.

An integral part of safety is the reliability and strength of the elements of equipment, pipelines, structures, etc. The specifics of the operating conditions of structural materials of the main units and equipment of nuclear power plants required

the development of a new approach to the creation of structural materials, manufacturing technology and evaluation of efficiency.

The operation of the first nuclear submarines and experimental-industrial reactors advanced the science of strength and metallurgy far ahead. Data on the change in the properties of structural materials under the influence of neutron and gamma radiation, on the change in the strength characteristics of structural materials under the influence of powerful neutron fluxes ( $10^{14}$  n / cm<sup>2</sup> \* s in thermal neutron reactors and up to  $10^{16}$  n / cm<sup>2</sup> \* s in fast reactors neutrons), etc. A new section of material science has been developed - radiation material science, which studies the properties of structural materials and their variation under irradiation.

The further development of nuclear energy poses to solid state physics and radiation material science a number of complex fundamental and applied problems related to the low resistance of materials under irradiation. The issues of operability and reliability of construction materials are very relevant in connection with the increase in the life of the projected and possible prolongation of the service life of operating reactors to 60-80 or more years. Therefore, it is necessary to pay special attention to the theoretical and applied questions of the influence of the time factor in the conditions of the continuous growth of neutron irradiation and gamma radiation on a complex of mechanical, chemical, corrosive and other properties.

The most important factors affecting the efficiency of structural materials of nuclear power plants are hardening and embrittlement. It should be noted that there is no superplastic and brittleness, but there are conditions under which steel and alloys become superplastic and brittle. In such a case, a premature (with respect to the calculated) brittle failure testifies to a reduction in plasticity that is unacceptable under certain temperature-time or temperature-deformation cycles, when the metal can no longer remove the overvoltage peaks, and they become commensurable with the strength. This contributes to the advancement or growth of the existing fracture or the inception and unacceptable development of it in time. Thus, the exhaustion of plasticity is the determining factor in the operability of structures and their reliable operation. Increased metal propensity to brittle fracture due to loss of ductility and limits the operational life of reactor shells.

The change in the physico-mechanical properties of structural materials in the process of neutron irradiation is largely determined by the nature of the interaction of the dislocation structure with a complex of radiation defects. The processes of formation and evolution of radiation damage, the processes of their annihilation depend not only on the conditions of neutron irradiation, but also on the structural state of the metal at various stages of solid solution decomposition under temperature-time and temperature-deformation cycles.

Restoration of the properties of structural materials is possible by creating conditions that lead to the elimination of radiation-induced structural damage. Heating the steel above the irradiation temperature increases the diffusional mobility of point defects and is a prerequisite for the appearance of thermodynamic instability of various radiation defects, thus creating conditions for the restoration of its physico-mechanical properties. Therefore, one of the further ways to increase the efficiency and reliability of nuclear power plants should be associated with the removal of radia-

tion damage to reactor shells when special annealing is applied to them to revive the cold-resistance of ferrite-pearlitic steels.

Issues of radiation cold-brittleness, as one of the most important factors determining the operability and reliability of structural materials, are of great importance in the case of emergency shutdown of the reactor. In this case, as a result of a sharp drop in temperature, the cold-brittle fracture threshold transition occurs and metal failure can occur without much work - the metal becomes unreliable.

The present work is devoted to the issues of creating specially protected underground nuclear power plants, as well as the improvement of structural materials, types of reactors, the prolongation of the operating life of the PPU, and the removal of the radiation impact on the population and the environment.

#### REFERENCES:

1. Bomko VA, Karnaukhov IM, Lapshin VI The power amplifier is the basis of the atomic energy of the 21st century: a review. Kharkov: Preprint NSC KIPT, 2001.-50 p.
2. Muratov O.E. Underground nuclear thermal power stations of increased safety // Energy: Economics, Technology, Ecology, 2002, N11, p. 9-14.
3. Balandin Yu.F., Gorynin IV, Zvezdin Yu.I. Structural materials of nuclear power plants. Moscow: Energoatomizdat, 1984. - 280 p.

### **REAGENTLESS METHODS OF WATER TREATMENT AT TPPS AND NUCLEAR POWER PLANTS**

N.I. Berezikov  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, group 5061

The main share in the generation of electricity in Russia comes from steam turbine power plants that use organic fuel (coal, gas, fuel oil), and nuclear power plants that use nuclear fuel. At the same time, the most developed coolant for Thermal Power Plants and Nuclear Power Plants is natural water from surface or underground water sources, which are subject to the following requirements:

1. Low corrosive aggressiveness.
2. High heat capacity and thermal conductivity.
3. Low viscosity.
4. Small cross section for the capture of thermal neutrons.
5. Chemical, temperature and radiation resistance.
6. Poor activation.
7. Non-combustibility, non-toxicity, explosion safety.
8. Low cost.

Disadvantages of water as a coolant are as follows:

1. High cross section for the capture of thermal neutrons.
2. Radiolysis - decomposition under the influence of ionizing radiation.

3. Relatively high activation.
4. Corrosion aggressiveness.
5. Low boiling point.

Advantages of natural water as a coolant include:

1. Cheapness and prevalence in nature.
2. Low viscosity.
3. High heat capacity.
4. Relative simplicity and mastery of cooking.
5. Non-combustibility, non-toxicity, explosion safety.
6. Good heat transfer properties.

Natural water contains various impurities in its composition. For this reason, it can not be used for energy purposes without prior chemical treatment. Chemically treated water in power engineering is required for various purposes: filling and feeding the circuits of nuclear power plants, for steam boilers, evaporators, steam converters and so on. Traditional water treatment schemes consist, as a rule, of two independent and sufficiently isolated stages. This is due to the fact that natural waters contain in their composition impurities removed at different stages and classified according to their degree of dispersion into:

1. coarsely dispersed impurities;
2. colloid-dispersed impurities;
3. ion-dispersed impurities.

In connection with the different degrees of dispersion of water impurities, water treatment methods are conventionally divided into preliminary and final.

In the first stage of treatment, called pre-cleaning, coarse-dispersed and colloidal impurities are removed from the water. Removal of coarse impurities is achieved by sedimentation. In this case coarse impurities are precipitated and the water is filtered on clarifying (mechanical) filters. Flotation methods also apply to methods for removing coarse impurities.

To purify water from colloidal impurities, volumetric coagulation, reverse osmosis, electrophoresis, water clarification in hydro- and multicyclones are used.

To the precipitation reagent methods of water pre-treatment belong liming, soda lime, magnesian de-silification.

Colloidal-dispersed impurities are discharged from water by organizing a special reagent coagulation process. With coagulation, other positive effects are also achieved - reduced alkalinity and deferrization (since chemical reagents are introduced into the treated water).

The second stage of water treatment is final. At this stage, true dissolved impurities are removed from the water either by softening methods (removal of stiffness cations) or by demineralization methods (removal of cations and anions, including silicic acid) by filtering water through ion-exchange resins (ion exchangers) or by thermal distillation or joint technologies - thermal desalination with post-treatment on ion exchangers. At the final stages of purification, membrane-based (non-reagent) water purification methods combined with ion exchange are also used. The water is degassed, i.e. deaeration and decarbonisation occur.

Membrane water treatment - advanced water treatment technologies are reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration, microfiltration of water that every year intensively supplant obsolete traditional water treatment technologies and filters.

Membrane water treatment plants are a product of high technologies, based on natural process of water filtration. The main filter element of such an installation is a semipermeable membrane (cartridge). This membrane has a porous structure.

Under the influence of external pressure, the initial water, squeezed through the pores of the membrane, is divided into two streams: filtrate (purified water) and concentrate (concentrated solution of impurities). The filtrate is supplied to the consumer, and the concentrate is drained into the drain. The nature of the delayed impurities depends on the size of the membrane pore. Impurities, the size of which exceeds the membrane pore size, can not physically penetrate the membrane.

Membrane methods of water purification are classified by the membrane pore size in the following sequence:

- Microfiltration of water (membrane pore size 0.1 - 1.0  $\mu\text{m}$ );
- ultrafiltration of water (membrane pore size 0.01 - 0.1  $\mu\text{m}$ );
- nanofiltration of water (membrane pore size 0.001-0.01  $\mu\text{m}$ );
- reverse osmosis (membrane pore size is about 0.0001  $\mu\text{m}$ ).

All complex schemes of water purification, regardless of the requirements for the quality of treated water, are made up of typical elements. Thus, in the first stage, if the quality of the treated water requires it, water clarification devices are used, in which coagulation is carried out together with liming, magnesia desulfuration and filtration through mechanical filters. For the softening of water in the second stage, cationization schemes are used-sodium cationization, hydrogen-cationization or sodium-hydrogen-cationization, hydrogen cationization with "hunger" regeneration of filters, etc. When desalinating water, cationization schemes are used in conjunction with anionizing schemes. The most varied combinations of these elements are the preparation of water of any required quality.

#### REFERENCES:

1. The main methods of water treatment for filling and replenishing the contours of TPPs and nuclear power plants: <http://tesiaes.ru/?p=10098>
2. Industrial and household membrane water purification.:<http://superfilter.ru/membranes.htm>
3. Matveev A.S., Science.: <http://portal.tpu.ru/SHARED/m/MATVEEV/science>

# INTERNATIONAL COMPETITIVENESS OF THE RUSSIAN NUCLEAR POWER INDUSTRY

A. Bukarinov  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, Group 5061

The problems of energy supply and energy security are one of the most actual in the modern world economy and international economic relationships. The stocks of traditional organic energy carriers are decreasing, the contradictions between the exporting countries and the importing countries of various energy resources are also increasing.

One of the directions of solving these problems is the large-scale development of energy production, which is not connected with organic fuel. At the same time, the need to include a reliable, environmentally and competitive source of electric power capable of carrying the basic load into the world energy balance allows us to talk about the non-alternative nature of the development of nuclear power in the coming decades.

Russia is one of the world leaders in the peaceful use of nuclear energy, and it is necessary to say that this role in the world nuclear energy market should grow with the growing role of nuclear power in global economic processes.

Currently, the world market of nuclear fuel cycle (NFC) services has a strong competition. In this regard, Russia needs a whole range of measures to improve own competitiveness in nuclear power plant construction markets, nuclear fuel production and processing, nuclear technologies, and the training of highly qualified personnel.

For this, there are all possibilities. Russia is the largest nuclear power and has a large number of nuclear power plants, facilities for the production and processing of nuclear fuel. The presence of high technology, a significant raw material base, skilled workers, relatively low production costs, geographical location and stable economic growth of the industry are the competitive advantages of the nuclear power industry of the Russian Federation. Since 2007, there has been a large-scale reform of the Russian nuclear industry.

It is necessary to develop new uranium deposits, introduce modern highly efficient and environmentally friendly energy-efficient nuclear technologies, to more efficiently and actively use the export potential of the Russian atom in the construction and engineering of nuclear power plants, supply and reprocessing of nuclear fuel.

Currently, there are a lot of new nuclear energy markets, such as China, India, Indonesia, Vietnam, Iran, Brazil, Venezuela, South Africa, Egypt, Malaysia and other countries. The competitive struggle for these markets will become a serious test for Russian companies because the main rivals are France, Germany, the United States, Japan, and the United Kingdom.

Currently, there is a global rethinking of the part of nuclear power in the world energy balance and plans to build more nuclear power stations in the World. At the heart of the current large-scale demand for nuclear power are the following main trends:



- Violation of the balance of supply and demand for fossil fuels. Reduction of primary oil and gas supplies due to limited resources and insufficient investment in development within the previous decades against the backdrop of growing demand from rapidly developing national economies.
- Increasing requirements for energy security, the strategic priority of most national economies is the diversification of sources of energy production. Unlike organic fuel, uranium, which is the basic element of nuclear energy, is evenly distributed geographically and has a high energy intensity, which makes it possible to create strategic reserves of raw materials much more efficiently and on a long-term basis.
- Climate change and reduction of greenhouse gas emissions. The need to create sources of energy production that do not produce CO<sub>2</sub> allows us to talk about nuclear energy, along with hydropower, as a non-alternative and environmentally friendly source capable of operating under the base load regime.

For the period that passed after the Chernobyl nuclear power plant accident in 1986, both the technological and operational safety of the nuclear energy has increased significantly. Security systems have undergone serious modernization at all operating power units, and modern nuclear power plants are built using multi-level security systems, including passive ones.

The globalization processes taking place in the world affect the world nuclear energy. As experience of leading states shows, nuclear energy is international, and its further development is directly connected with international economic cooperation and cooperation. At present, nuclear companies and firms are merging into transnational corporations in different regions of the world, the development of which was the development of world nuclear centers.

#### REFERENCES:

1. Competitiveness of the Russian nuclear industry in the world market - Cherkasenko A. I. – Moscow – 2009
2. International competitiveness of the Russian nuclear power industry – Mirsiyapov I. I. – Moscow – 2009

### **INVESTIGATION OF SEARCH POINTS FOR THE POINT OF MAXIMUM POWER FOR THE INCREASING SIGNAL INVERTER VOLTAGE TRANSDUCER**

Y. Titov

Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, Group 5061

**The relevance of the work** is determined by the need to increase the energy efficiency indicators of power conversion devices for the needs of alternative energy. Currently, more attention is being paid to alternative sources of energy, including so-

lar energy, due to rising prices for non-renewable energy sources. However, the generation of solar energy has a number of problems associated with the cost of photo panels, their utilization and imperfection of energy conversion devices of these systems. All this requires the creation of power supplies on the modern element base and their control systems, which allow achieving high energy efficiency indicators. To solve these problems, the method of searching for the maximum power point of the boosting voltage converter for solar energy sources using known search algorithms is chosen.

**The purpose of the study:** the study of various search algorithms for the point of maximum power for systems based on solar cells; development of the structure with the best indicators of efficiency and speed on the basis of the considered typical schemes for converting the energy of solar batteries and their control algorithms; the creation of a physical layout of the final device and the evaluation of its indicators.

**Research methods:** a review of literature sources on standard schemes of solar energy converters must be based on DC·DC converters and search algorithms for the maximum power point, a comparative analysis of available data with the use of computer simulation tools. Both simulation methods with the help of the Matlab / Simulink program and prototyping with the appropriate experiments are used: adjustment of the PI controller, simulation of different levels of blackout of the solar battery, estimation of the efficiency of the converter.

**Results.** Simulation models for the perturbation and observation method (adaptive and nonadaptive) and the method of increasing conductivity must be developed, and a study has been made of their applications for different illumination levels. The software for the microprocessor control system of a two-phase up-converter voltage converter has been compiled, and a number of simulations different levels of illumination of the solar battery to evaluate the efficiency of the experimental setup. In the paper, the accuracy of finding the point of maximum power to a value equal to 99% was obtained for a variant with an adaptive step change algorithm. In the experimental study, similar accuracy values corresponding to 95-96% were achieved, with a 10 ms quantization time (for the non-adaptive perturbation and observation algorithm).

The studied must include the device based on the up converter (PPN), which is part of the structure of the inverter for solar batteries as the most promising in terms of mass-size indicators and efficiency. The functional diagram of such a system is shown in Fig. 1 [1].

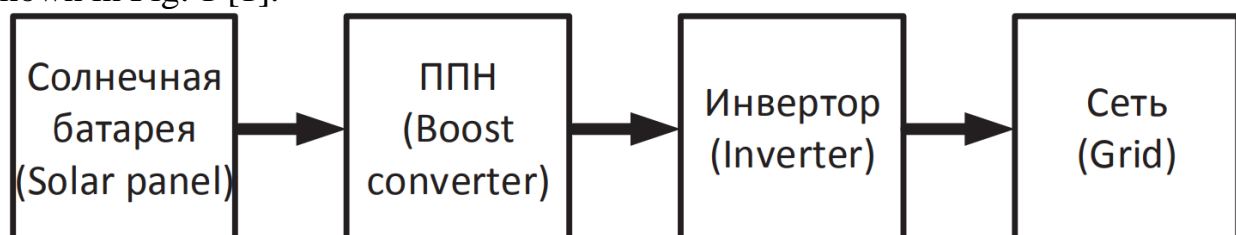


Fig.1. Functional diagram of solar inverter

To extend the range of operation of the solar inverter, a constant voltage converter is used as an intermediate link between the solar battery (SB) and the network inverter, which can also monitor the maximum power point tracking (MPPT), its

block diagram is shown in Fig. 2. As such an energy converter, lowering, boosting, inverting converters or a converter designed according to Cook's scheme can act. Such schemes provide high efficiency due to the reduction of the number of power elements, while the weight and size parameters of the filter are minimized by high conversion frequencies. One of the main ways to increase the energy efficiency of photovoltaic systems is to realize the mode of selecting the maximum power at the corresponding point of the current-voltage characteristic of the solar battery. In Fig. 3 gives examples of the current-voltage characteristics and the volt-watt characteristics (VCI) of the photomultiplier KSM 160 [2].

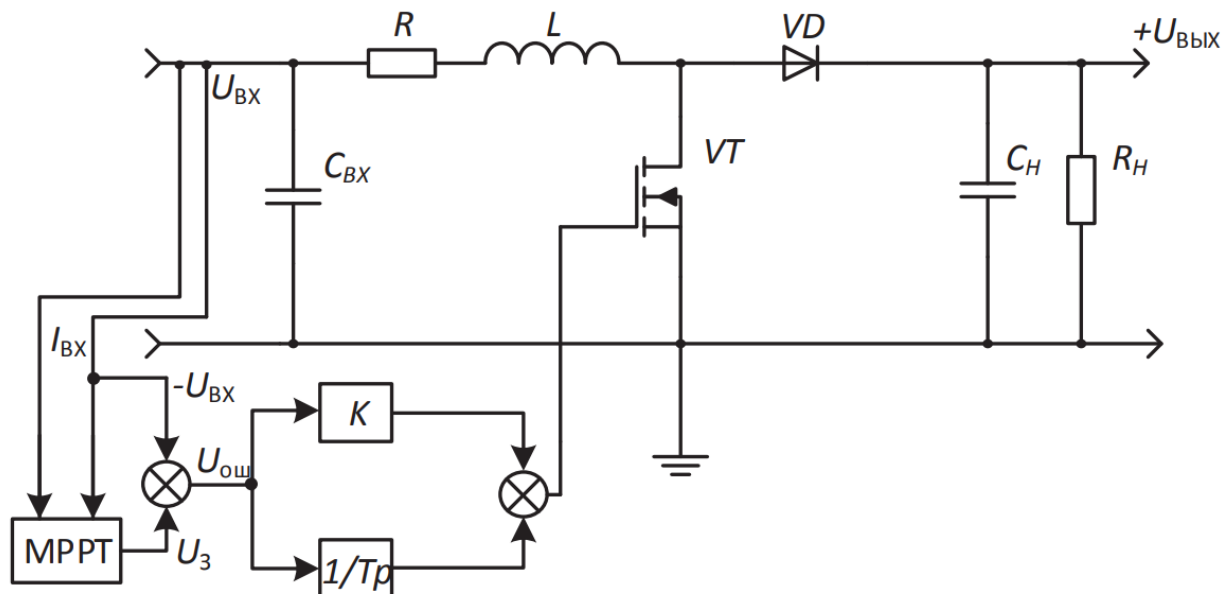


Fig.2. Structure of solar energy converter

#### REFERENCES:

1. Comparative analysis of energy efficiency formation of energy of a solar battery by converters constant voltage / AV. Osipov, Yu.A. Shurygin, Yu.A. Shinyakov, A.I. Otto, M.M. Black // Reports of Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. - 2013. - T. 27. - No. 1. - P. 14-19.
2. Characteristics of the photovoltaic module KSM 160 // JSC NPF "Kvant", 2013. URL: [www.rusnanonet.ru/download/nano/file/ksm160.pdf](http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/ksm160.pdf) (date of circulation: 20.12.2015).
3. Manimekalai P., Harikumar R., Raghavan S. A Hybrid Maximum Power Point Tracking with Interleaved Converter for Standalone Photovoltaic Power Generation System // International Energy Journal. - 2014. - V. 14. - Iss. 12. - P. 143-154.
4. Ruskin Viktor, vrsskn@gmail.com
5. Semyonov Sergey, ssm@tpu.ru
6. Dickson Robert Christopher, robert\_dixon@mail.ru

## THE HARMONY INITIATIVE: WHAT'S PROS AND CONS?

K.A. Gutova

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power engineering, Group 5061

The World Nuclear Association (WNA) announced the Harmony Initiative, on the intensive development of nuclear energy in the world. The purpose of this program - the creation of up to 1,000 GW of new nuclear capacity by 2050. Implementation of the declared goal will allow the nuclear power plant to take about 25% of the world's energy balance. How will this affect market participants? What are the advantages and disadvantages?

The main thesis of the program is humanistic, not commercial. Electricity should appear where it is needed. According to the UN, today more than 1 billion people in the world do not have access at all to electricity. These are, for example, many residents of Tanzania and Mozambique, Angola and Nigeria, Cambodia and Ghana. The lack of electricity, in turn, significantly hinders the economic development of these countries.

The International Energy Agency predicts growth of energy consumption by about 17% in the world until 2050. Even the satisfaction of this additional demand will require the creation of a significant amount of capacity, and the role of nuclear power in ensuring the growing demand should be quite significant, according to WNA. Many experts of the nuclear industry are confident that the missing part of the energy needs to be produced at nuclear power plants.

Firstly, this is due to the high efficiency of existing plants (it is about 30-34 %). Secondly, the energy generated at nuclear power plants is cheaper than the energy received at thermal power plants. And the most important advantage of the NPP (Nuclear Power Plants) is the environmental friendliness of the energy received.

The importance of the last point is emphasized by the existence of the Paris climate agreement, which was ratified by 96 UN member states in 2015. Its main goal is to keep an increase in the average temperatures on the planet at the level of more than 20°C, and ideally - to fix at the level of 1.50°C (old-mark – indicators temperature on the Earth in preindustrial epoch of the 19 century). Most scientists believe that such a level would allow to avoid development on the planet uncontrolled natural cataclysms that will lead to the death of a significant part of the humanity. It is believed that today the average temperature increased by about 1 °C. Within the framework of the document, each country assumed commitment to contribute to reducing emissions of CO<sup>2</sup>. A fund is also created in the amount of up to \$ 100 billion for assistance to the less well-off States. The developed countries are required to support the fund's financing in the amount of amount annually.

The security paradigm remains an important barrier to the development of nuclear energy. It is necessary to maintain high standards of nuclear safety, constantly drawing public attention to the role of nuclear power plants in reducing emissions - today it is obviously underestimated. Despite the environmental friendliness of the electricity produced at the nuclear power plant, these power plants are subject to the

highest requirements for ensuring the safety of production. The whole world remembers the accident at the Fukushima-1 nuclear power plant, which occurred in 2011. This led to radioactive contamination of the adjacent territories, as well as water and air in the whole of Japan.

Undoubtedly, the possibility of implementing the announced development program is still controversial. In the world, there are two opposite trends in the development of the nuclear industry. While the developed countries are trying to reduce the number of nuclear power plants and power units, switching to alternative energy sources, developing countries, on the contrary, are launching the construction of new plants.

So, perhaps, if the program "Harmony" did not exist, it would be worthwhile to come up with. After all, often a clearly marked goal, flavored with a humanistic message, even if it seems too ambitious, is capable of leading oneself.

#### RESOURCES:

1. Zhurnal «Atomnyj jekspert», №5 2017
2. Infografika MIA «Rossija segodnja» - «Razvitie i perspektivy atomnoj jenergetiki v mire», 2015
3. «Harmony brochure» - Vsemirnaja jadernaja asociacija, 2017
4. Dannye RIA Interfaks ot 2016
5. Obshhestvennaja priemlost' atomnoj jenergetiki: sociologicheskij analiz i strategija formirovaniya – Plankina N. A., 2003

### **PENETRATION OF RENEWABLE SOURCES IN MICROGRIDS: EFFECTS OF MILP BASED CONTROL STRATEGIES**

A.A. Kurganovskiy  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of power engineering, Group 5AM7CH

**Abstract:** The rapid growth of the Distributed Generation (DG) concept has given technical issues regarding the integration and control within the grid nodes. A predictive control strategy integrating renewable and non-renewable sources as well as energy storage within the grid, is a potential solution to face with the mentioned issues. The behavior of a smart building of 30 apartments has been considered in this work. The Hybrid Renewable System has been controlled by a Model Predictive Control (MPC) strategy. The HRS includes sub-systems for the conversion of renewable energy sources as well as non-renewable ones connected to the main grid. Several scenarios have been tested under different weather conditions and in terms of renewable sources penetration. Results obtained with the MPC control strategy have been compared with a Rule Based Control (RBC). Results show that the use of MPC improves the integration of the residential microgrid with the renewable sources connected to the grid thanks to the predictive system smoothing out the energy demand

profile and absorbing the peak production from the photovoltaic and wind farms, even in the cases of higher penetration.

### **Residential Microgrid**

The design of Microgrid power systems is a crucial and complex aspect that is highly affected by local weather [1] of each subsystem within the Microgrid. The MicroGrid layout here considered is based on a battery bank is connected directly to the DC Bus, which in turn controls the system voltage. The residential load and the power grid are connected to the DC Bus through an AC/DC converter and the FC and PV are connected to the DC bus through DC/DC converters.

The definition of the residential load is crucial, depending on appliance technology and individual scheduling strategies, as well as on social factors, household occupation, regional culture, lifestyle, etc. Therefore, special attention was given to the definition of residential load, through the use of probabilistic data, in relation to the most common household appliances found, the probability of use and usual hours in the areas around Rome Italy, considering lighting, electric boiler, electric oven, refrigerator, microwave oven, PC, TV-set, dishwasher, washing machine and dryer.

### **Control Models**

#### **Rule-based management system (RBC)**

The RBC strategies have been extensively investigated when dealing with microgrid power management for their simplicity and robustness consisting in rules based on threshold values and pre-established operating constraints. A voltage based model was implemented and validated against experimental data.

#### **Model predictive control (MPC)**

The MPC strategies with MILP formulation have been tested, obtaining outstanding performances, in experimental microgrids in Athens or in the Savona campus. The results have shown a good performance and computational processing capacity of the proposed algorithm, and there is still room for improvement.

#### **Forecasts**

The sun radiation forecast for Rome/Italy, related to the period of simulation, has been implemented into the MPC algorithm via data provided by CNMCA (Italian Air Force Meteorological Service) and the real weather data, has been measured at the weather station. Due to the lack of real historical data for residential applications, the daily simulations of the load profile of a model house have been defined with a random simulator for a period of 4 years, subtracting from the profile generated, the curves of the house appliances controlled by the MPC algorithm. The procedure adopted to determine the errors is based on a simple linear regression of the two-data series, composed of the meteorological forecasts error at time  $k$  and at time,  $k + 1$ .

### **REFERENCES:**

1. J. Weniger, T. Tjaden, V. Quaschnig, and Eurosolar, "Sizing of residential PV battery systems," *Srh International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition* 2013. vol. 46. pp. 78-87. 2014. Y.S.

## COMPARISON OF MONOCRYSTALLINE AND POLYCRYSTALLINE SOLAR CELLS

М.А. Игнатенко

Томский политехнический университет  
ЭНИИ, группа 5АМ7Ч

Which solar cell is better - monocrystalline or polycrystalline? To answer this question, you first need to understand the difference between them.

The first thing that catches your eye is the appearance. In monocrystalline elements, the corners are rounded and the surface is uniform. Rounded corners are associated with the fact that in the production of monocrystalline silicon, cylindrical billets are produced. The homogeneity of the color and structure of single-crystal elements is due to the fact that this is one grown crystal of silicon, and the crystal structure is homogeneous.

In turn, polycrystalline elements have a square shape due to the fact that rectangular billets are used. The heterogeneity of the color and structure of polycrystalline elements is due to the fact that they consist of a large number of heterogeneous silicon crystals, and also include a small amount of impurities.

The second and probably the main difference is the efficiency of the conversion of solar energy. Monocrystalline elements and, panels based on them have today the highest efficiency - up to 22% among the commercially available and up to 38% in the space industry. Monocrystalline silicon is produced from high purity raw materials (99.999%).

The commercially available polycrystalline elements have an efficiency of up to 18%. The lower efficiency is due to the fact that in the production of polycrystalline silicon is used not only primary silicon of high purity, but also secondary raw materials (for example, recycled solar panels or silicon waste from the metallurgical industry). This leads to the appearance of various defects in polycrystalline elements, such as crystal boundaries, microdefects, carbon and oxygen impurities.

The third difference is the price of a solar battery. Naturally, the price of a battery made of single-crystal elements is slightly higher per unit of power. This is because of the more expensive manufacturing process and the use of high purity silicon. However, this difference is insignificant and is about 10%.

As can be seen from this list, for a solar power plant it does not matter which solar panel will be used in its composition. The main parameters - the voltage and power of the solar panel do not depend on the type of elements used and it is often possible to find panels of both types of the same power. So the final choice is for the customer. And if it does not confuse the heterogeneous color of the elements and a little larger area, then probably he will choose cheaper polycrystalline solar panels. If these parameters are of important to him, then the obvious choice is a slightly more expensive single-crystal solar panel.

In conclusion, I would like to note that according to the EPIA European Association in 2010, the production of solar batteries by type of silicon used in them was distributed as follows:

1. polycrystalline - 52.9%
2. monocrystalline - 33.2%
3. amorphous and the like - 13.9%

So polycrystalline solar panels in terms of production occupy a leading position in the world.

## **INTELLECTUAL POWER SYSTEM WITH ACTIVE-ADAPTIVE NETWORK**

В.В. Перебоева  
Томский политехнический университет  
ЭНИИ, группа 5АМ7Ч

The power grid complex in the Russian Federation mainly develops by traditional principles today. The power grid complex should go to innovative way of development, otherwise, in the future it will not be able to meet the necessary requirements. It is a prerequisite for the formation of the concept of Intellectual power system with active-adaptive network (IPS AAN). Its creation is linked with the development of the following technologies:

- Flexible Alternative Current Transmission Systems (FACTS)
- Overhead line and DC link based on modern converter devices with microprocessor control
- Wide Area Measurement Systems (WAMS) - checking the parameters of the electric network mode online, with using modern technical equipment of processing and transmitting information.
- High-speed communication
- Microprocessor technology for information processing and equipment control

For the IPS AAN with the necessary properties, in the near future requires the development of innovative technology platform, which includes the following main directions:

- modern equipment with improved economic and environmental characteristics
- automatic control systems in pre-emergency and normal modes
- possibility of connection with new automatic systems, which using renewable, recycled and alternative energy sources
- New information resources and technologies to assess situation and take quick and correct decisions
- Competent scientific, design and educational foundations
- These directions are based on the following technologies:
- Fault current limiters (switching, superconducting, or semiconducting)
- The energy storage devices of different types and applications
- Devices based on high-temperature superconductivity
- Self-diagnosis system of equipment "on-line" mode



- Optical measurement systems and digital substations, based on its
- Modern systems of relay protection, emergency and security management;
- Multi-chamber insulator arrester
- Frequency-dependent resistors to limit the high-frequency switching and lightning surges
- Software and information management systems

Intellectual power system with active-adaptive network it is a grid of new generation, based on the principle of multipurpose management of its work and development. The goal of the IPS AAN is the rational using all types of resources (natural, social, industrial, human) for reliable, qualitative and effective electricity supply of consumers.

## **THE MAIN PROBLEMS OF POWER ENGINEERING AND POSSIBLE SOLUTION**

O.A. Krivenko

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Department of Foreign Languages, 5A63 group

Nowadays, electricity is playing a huge part in our life. Today, humanity cannot do anything without such an amazing achievement: neither to cook, nor to rest, etc. But it is not so simple with electricity, is not it? Electricity consumption is increasing every day and every hour. Moreover, it follows that energy problems only grow daily.

The first problem that stands out is connected with the exhaustibility of raw materials for electricity generation, and in fact today about 80% of electrical energy is generated from such resources. Also, this problem is complicated by the fact that raw materials for energy are distributed unevenly [1].

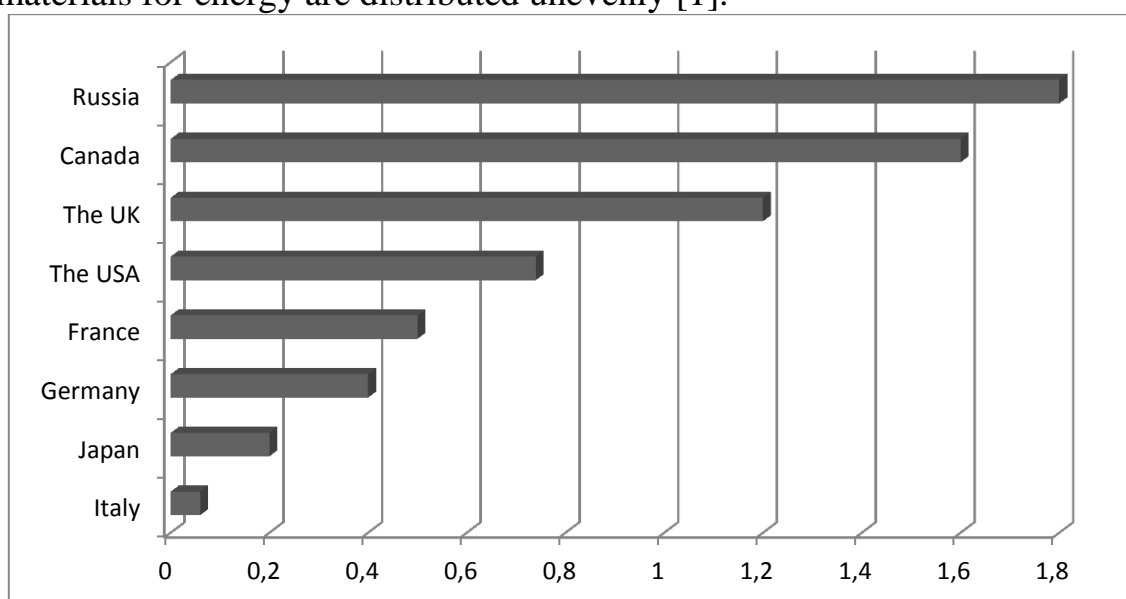


Fig. 1. Energy supply of the countries of the G-7 and Russian Federation (the ratio between the capacity of energy resources to the amount of their consumption)

In many countries there is lack of energy resources, such countries are forced to buy them in "energy-rich" countries, which obviously affects their economy and GDP. Consequently, they are dependent on such countries, as well as on everything that happens in these countries, for example, revolutions, etc.

The second problem is connected with ecology. This problem worries people every year more and more, it grows with the increase in energy consumption. Besides, today there is such a situation that emissions of the energy industry into the atmosphere are about 50%. All energy pollutes and worsens our ecology. And all this has a bad effect on the weather and causes a greenhouse effect[2].

The third problem, one of the most important and dangerous for people, is that energy-deficient countries accuse energy-rich countries of unfair division of energy resources. Some countries have repeatedly tried to divide the energy resources of countries with political, economic and even military methods.

The most effective method of solving these problems will be the replacement of traditional energy sources with non-traditional ones. Unconventional sources are more environmentally friendly and energy-deficient countries can be independent from the seller countries because most of the traditional electricity resources are in the Northern countries. Some countries (Germany, the Netherlands, etc.) have set a goal that they will soon switch to non-traditional electricity[3-4].

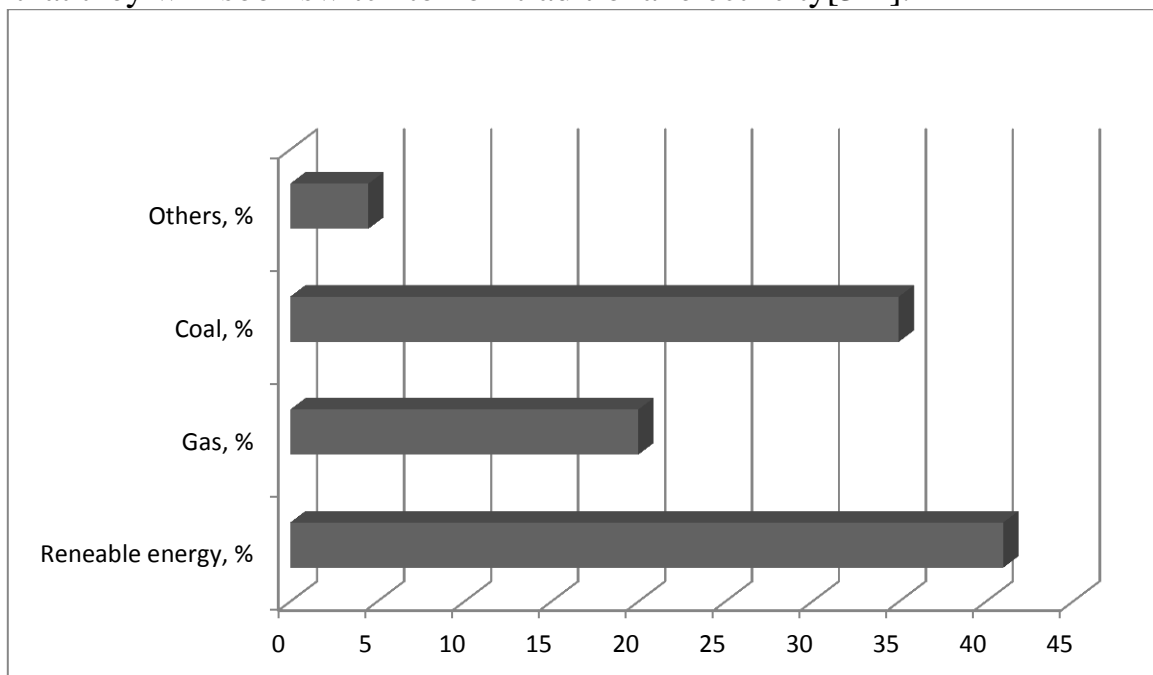


Fig. 2. Sources of electricity in Germany

Nevertheless, this option is not suitable for countries where there are unfavorable climate conditions for non-traditional energy sources, for example, Russia. About a fifth of our country is in the harsh conditions of permafrost, where it is simply impossible to switch to this kind of energy and there people will still have to use coal, gas and other sources of electric power for a very long time.

## REFERENCES:

1. V.Y. Ushakov. Modern and promising energy: technological, socio-economic and environmental aspects. – Tomsk: Publ. TPU, 2008. – 469 pages.
2. V.Y. Ushakov. Renewable and alternative energy: resource conservation and environmental protection. – Tomsk: Publ. «SibGraphics», 2011. – 137 pages.
3. Energy Technology Perspectives: Scenarios and Strategies to 2050. (Second Edition) OECD/IEA. – Paris, 2008. – 650 p.
4. Renewable energy in Germany [electronic resource]: URL: <https://cleantechnica.com/2017/04/17/renewable-energy-germany-sets-records-march/> (date of the application: 20.09.2017).

## **SOLAR BATTERY: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES**

V.A. Stamikova  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, group 5061

To date, the issue of solar energy is discussed by many scientists. It is mainly the pros and cons, advantages and disadvantages, paying much attention to the environmental friendliness of this equipment, etc. Yet, there are both good and bad sides, and all this must be carefully weighed and pondered over to make the decision of exploitation of solar power plants.

Let's consider this topical issue in more detail. The main resource of the solar battery is sunlight, which leads to a number of advantages, such as: renewability, unlike fossil fuels - coal, oil, gas, which are not restored. According to NASA data, for about 6.5 billion years, the inhabitants of the Earth have nothing to worry about - as much as the Sun will warm our planet with its rays until it explodes.

Abundant, since the potential of solar energy is enormous - the surface of the Earth is irradiated with 120 thousand terawatts of sunlight, which is 20 thousand times higher than the world's need for it. In addition to other advantages of solar energy, it is available in every point of the world - not only in the equatorial zone, but also in the northern latitudes. Due to the fact that in systems on the solar resource there are no moving nodes, as, for example, in generators, the generation of electricity is noiseless.

Moving to solar panels as an autonomous energy source, the owners of frequent houses receive tangible savings. It is also important that the maintenance of solar energy systems is characterized by low costs - it is only necessary to clean the solar cells several times a year, and the manufacturer's warranty on them is usually 20-25 years. Such energy has a wide range of applications - it also produces electricity in regions where there is no connection to a centralized power supply system, and desal-

ination of water in Africa, and even the supply of energy to satellites in the near-earth orbit.

Not in vain, the solar energy has been recently called "people's" - this name reflects its integration into the electricity supply system at home, both in the case of photovoltaic and thermal elements. Every year, technologies in the production of solar cells are becoming more sophisticated - thin-film modules are introduced directly into the building materials at the stage of erection of structures. The Japanese Sharp company - the leader in the production of solar panels, has recently introduced an innovative system of transparent storage elements for window glazing. Modern achievements in the field of nanotechnology and quantum physics allow us to talk about a possible increase in the power of solar panels 3 times.

However, despite this, solar energy belongs to the category of an expensive resource – perhaps, this is the most contentious issue of all the positive and negative aspects of its use, and also sunlight is not available at night, on cloudy and rainy days. One of the important parameters of the electric power source is the average power density, measured in  $W / m^2$  and characterizing the amount of energy that can be obtained from a unit of energy source area.

In conclusion, I would like to note that solar energy is one of the most promising sources of alternative energy. At the moment, the technology of manufacturing and accumulation of sunlight is far from perfect, but developments are under way and in the near future, the people can get an environmentally clean, powerful source of energy that will replace all natural resources.

#### RECOURSES:

1. Gay C.F., Kapur V.K., Pyle B., Rumburg J., Manfredi A. (1982). Matching the characteristics of batteries with solar cell modules. 4 th EC Photovoltaic Solar Energy Conference. Stresa, Italy, May 10-14,1982.
2. Karl W.B. Advances in Solar Energy/ American Solar Energy Society, Inc.: An Annual Review of Research and Development. -Volume 11.- Boulder, CO, 1997. P.234-238.
3. Kolb G.J. Economic Evaluation of Solar-Only and Hybrid Power Towers Using Molten Salt Technology// Proceedings of the 8th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies. Cologne, German, October 1996. - P.9-16.

# INITIATION OF ELECTRIC DISCHARGE. METHOD OF COVERING THE ELECTRODE

A.S. Makarov<sup>1</sup>, E.Y. Sokolova<sup>2</sup>, Y. Yushkov<sup>3</sup>  
Tomsk Polytechnic University<sup>1,2,3</sup>  
Institute of Power Engineering, group 5A5A<sup>1</sup>  
Foreign languages department<sup>2</sup>  
Department of Systems and Networks<sup>3</sup>

Basically all electrohydraulic technologies include «electrohydraulic effect». «Electrohydraulic effect» is the transformation of electrical energy into mechanical by powerful discharge in liquid [1]. One of the main problems associated with using electrohydraulic technologies is the ability to form a discharge channel in a conductive medium such as technical water, cement and clay drilling fluids [2]. The increase of working liquid conductivity leads to dramatically increase of pre-breakdown losses. Electrode coating by a dielectric layer allows significantly reducing working gradients, tracing the breakdown spot in order to ensure the task geometry and reducing power losses. The basic feature of this method is the use different coating materials to initiate the discharge in conducting liquids. Such initiation of electric discharge in liquid has several advantages comparing with others. It allows making a discharge in high conductive liquid and decreasing the voltage level [3].

The main goal of the project was to create a computer simulation of electrodes covered by different materials using ELCUT software and then to compare the experimental data with the computer model. The end of the pointed part was cut and stayed uncovered. Firstly the electrode without coating was considered (Figure 1).

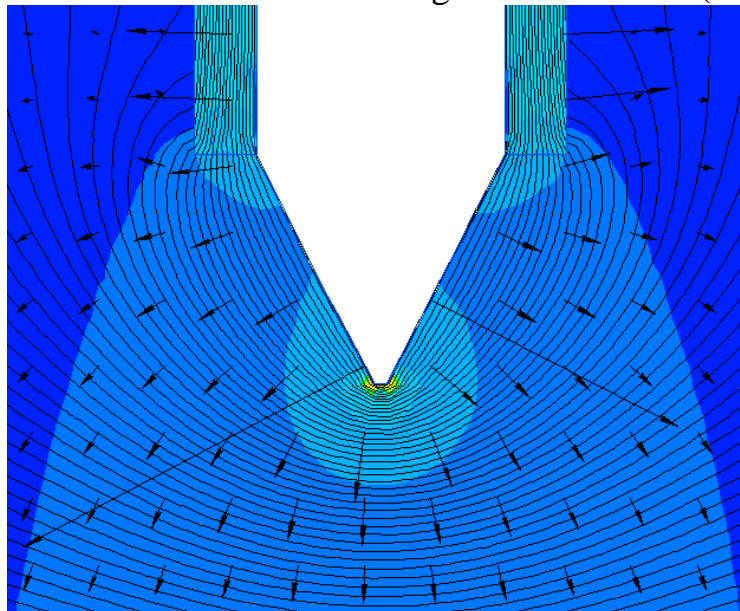


Figure 1. Field strength of the electrode without coating

In accordance with the values of electric field strength obtained by simulation we can conclude that the discharge will start its developing from the end of the electrode and partly from the triple point (meeting point of metal, isolation and dielectric). Now let us compare the results obtained in the course of the experiment with the computer model.

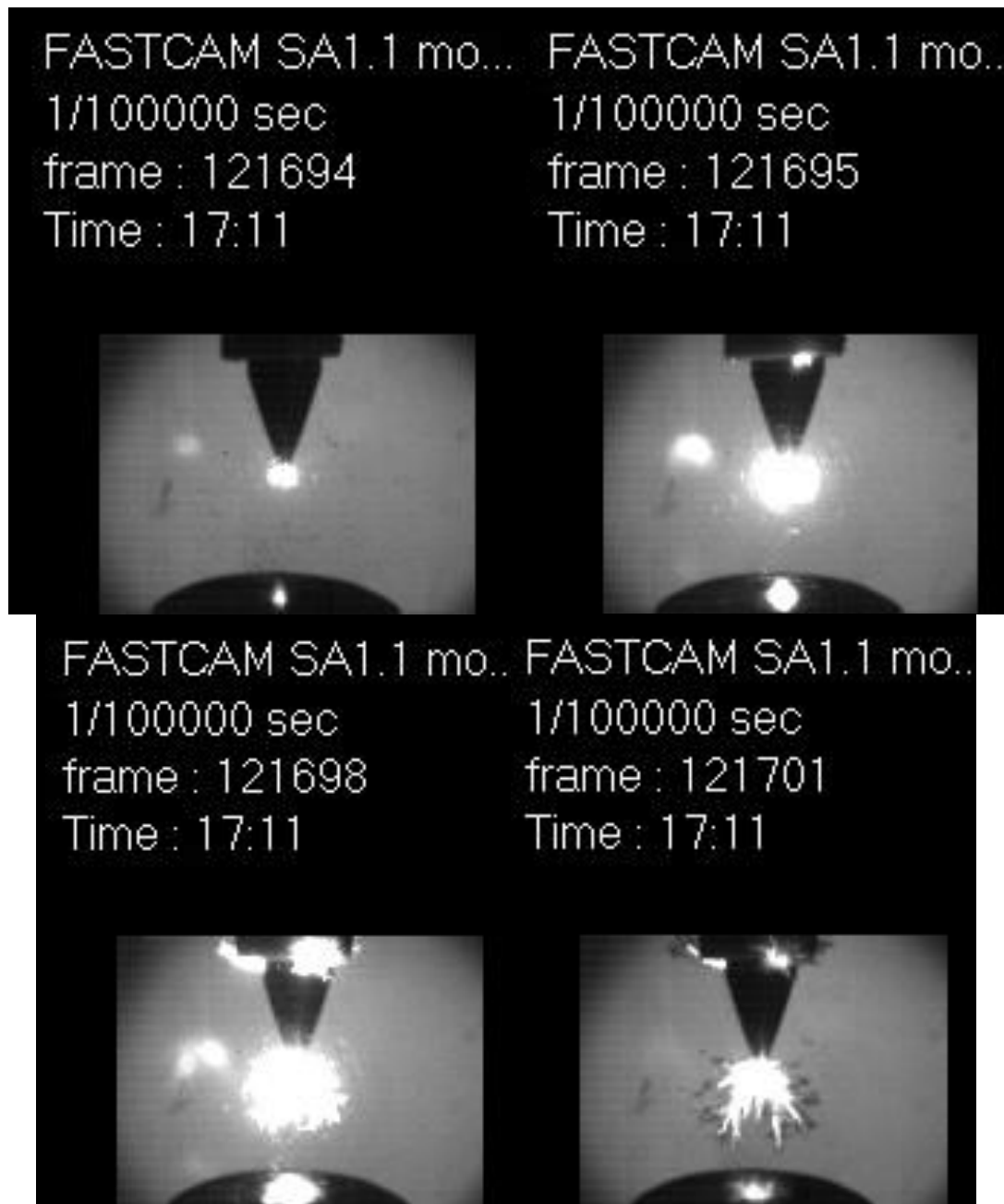


Figure 2. Fast camera frames

As we can see in the photo (2) the discharge really starts from the electrode tip and its triple point. Then the experiment was conducted with ceramics ( $\epsilon = 20$ ) coating.

ELCUT is able to simulate discharge in different environment accurately which enables to study the effect of a coating material without using laboratory equipment.

We also conducted simulation with polystyrene( $\epsilon = 22$ ) and came to the conclusion that the higher the dielectric constant is the higher field strength at the electrode tip.

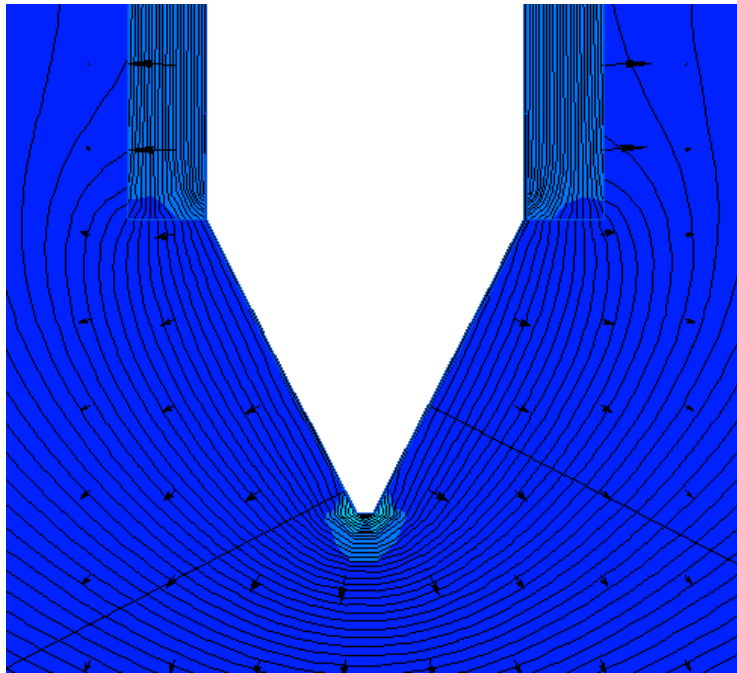


Figure 3. Field strength of the electrode covered by polystyrene

In order to check this conclusion we made simulation with strontium titanate ( $\varepsilon = 310$ ). If our assumption is right the field strength will be at the electrode tip.

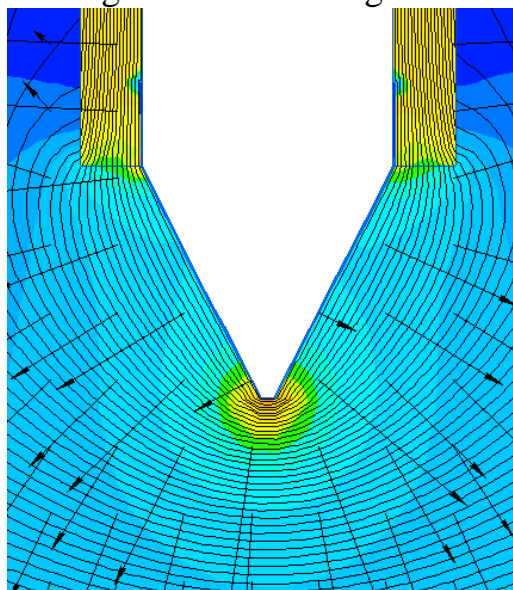


Figure 3. Field strength of the electrode covered by strontium titanate

As we can see in Figure 3 our assumption concerning the effect of dielectric constant on the electrode tip was true.

#### REFERENCES:

1. Ushakov V.Ya. Pulsed electric breakdown of liquids. - Tomsk: publishing house. TPI, 1975.- 256p.
2. Barskaya A. V. The investigation of the dispersion of herb and extractions from water-soluble media using impulse discharge: PhD dissertation. Tomsk, 1998.-196p.
3. Naugolnykh K.A., Roi N.A. The electrical discharge in water. Moscow: Science, 1971. P. 155.

## TYPES AND KINDS OF POWER STATIONS

D.I. Gordeyev  
Tomsk Polytechnic University  
Institute of Power Engineering, Group 5A63

Depending on the energy source, there are the following types of power stations:

1. Thermal power plants (TPP), which use natural fuel;
2. Hydraulic power stations and hydroelectric power stations, which accumulate energy. They use the falling water energy;
3. Nuclear power plants (NPP), which use the nuclear decay energy;
4. Diesel power stations (DPS);
5. Solar power plants (SPP);
6. Wind power plants (WPP);
7. Geothermal power plants (GPP);
8. Tidal power stations (TPP).

Today, energy is classified as traditional and non-traditional energy. Traditional energy mainly consists of electric power engineering and heat power engineering.

The most convenient type of energy is electricity. The conversion of primary energy is produced in power stations.

Russia generates a huge amount of energy. It is mostly produced by three main kinds of stations: nuclear, heat and electric power stations.

About 70% of the world energy is produced in thermal power stations. TPP are usually built on fuel extraction areas or energy consumption areas. Hydraulic power stations are built on the flowing mountain rivers, so the biggest hydraulic power stations are built on Siberian rivers Yenisey and Angara.

Nuclear power plants are situated in areas with consumption of much energy and lack of energy (i.e. western part of Russia)

The main type of stations in Russia is thermal power plants. They produce about 67% of Russian energy. Their accommodation is determined by fuel and consumer factors. The most powerful of them are located on areas with a huge amount of fuel. Stations which use caloric and transportable fuel are consumer-oriented.

Nuclear power plants differ from the TPPs in that the boiler is replaced by a nuclear reactor. The natural nuclear fuel of NPP is uranium. For biological protection from radiation they use concrete layer several meters thick.

When we combust one kilogram of coal, we can get 8 kilowatt/hour of energy and at the expense of 1 kilogram of nuclear fuel we get 23 million kilowatt/hour of energy.

The energy of water is used in hydroelectric units. There are 3 types of these units:

1. Hydraulic power stations;
2. Tidal power stations, which use the energy of tides and low tides;
3. Hydroaccumulative stations, which accumulate and use the energy of reservoirs and lakes.



To sum up, the main resources of energy are solid fuels, oil, gas, water, the energy of the uranium core's decay and decay of other radioactive substations.

All main types of power have a negative effect on nature and environment. Thermal power stations pollute the air, slags of stations, which are coal-fired, occupy a huge territory. HPP plain river reservoirs lead to waterlogging. Nuclear power plants are also very dangerous (i.e. the Chernobyl NPP)

The future conception is using unconventional energy resources: the energy of the wind, tides, sun and the internal energy of the Earth.

#### REFERENCES:

1. Ryzhkin V.Ja. Teplovye jelektricheskie stancii. - M.: Jenergija, 1976.
2. Teplovye i atomnye jelektrichekie stancii, spravochnik. - M.: Jenergoizdat, 1982.
3. Spravochnoe posobie teplojenergetika jelektricheskih stancij. – Minsk, 1974.
4. B.S. Belosel'skij, V.I. Baryshev. Nizkosortnye jenergeticheskie topliva. - M.: Jenergoatomizdat., 1989, 134 s.
5. Matveeva I.I., N.V. Novickij, Vdovchenko V.S., i dr. Jenergeticheskoe toplivo SSSR. Spravochnik. - M.: Jenergija, 1979.
6. Sazanov B.V. Teplovye jelektricheskie stancii. M., Jenergija, 1974.
7. Belosel'skij V.S, Somenov V.K. Jenergeticheskoe toplivo. Uchebnoe posobie dlja vuzov. - M.: Jenergija, 1980, 169 s.

### **OPERATING CONDITIONS FOR CURRENT TRANSFORMERS IN TRANSITION MODES AND THEIR INFLUENCE ON RELAY PROTECTION**

A.V. Pavlova

Tomsk Polytechnic University

Institute of Power Engineering, Electric Power Engineering, group 5AM7Ч

Current transformers play an important role in the power system, because they allow controlling the parameters of the transmitted electricity, and install relay protection and automation devices in power transmission lines.

As in any other device, current transformers have losses. Because of this, not all of the primary current is transformed into a secondary circuit. These losses cause the current error. In addition, the current flowing in the secondary circuit is somewhat shifted to the phase relative to the primary current, which causes the angular error of the current transformer.

Basically, the losses depend on the state of the magnetic circuit of the transformer. While the iron core is not saturated, a directly proportional relationship exists between the primary and secondary currents. If an increase in the primary current, the degree of iron saturation of the magnetic circuit increases and the characteristic be-

gins to deviate from the straight line. At the same time, as the load of the secondary circuit increases, the degree of change in the characteristic increases.

In Figure 1: 1-ideal characteristic, 2-real curve for the nominal load of the secondary circuit  $Z_{1n}$ , 3-real curve for a larger load of the secondary circuit  $Z_1 > Z_{1nom}$

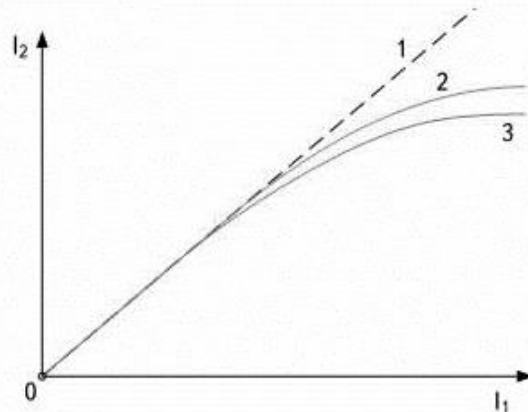


Figure 1. Dependence of the secondary current on the primary in the CTs

Under the transition (dynamic, non-stationary) process or regime in electrical circuits is understood the process of transition of a chain from one steady state (mode) to another. Transient processes occur during any changes in the electrical circuit: when connecting and disconnecting the circuit, when the load changes, when emergency conditions occur (short circuit, wire break, etc.).

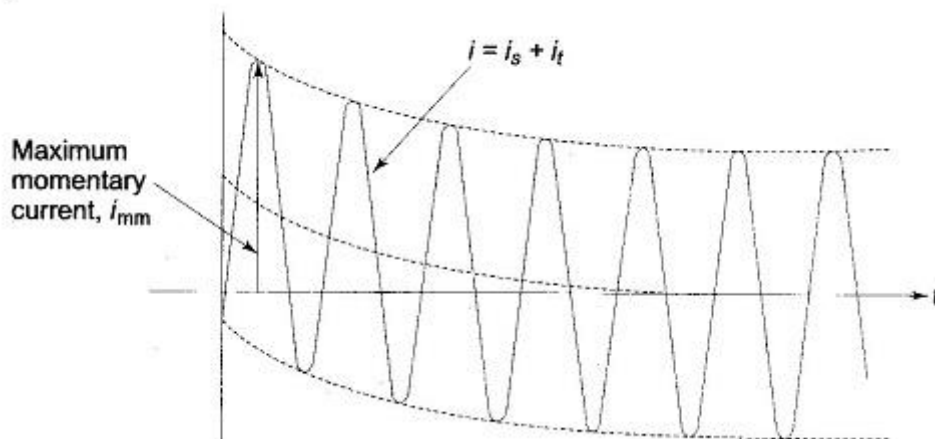


Figure 2. Waveform of a short circuit current on a transmission line

The working conditions of the CTs in protection and automation devices differ significantly from the operating conditions in the measurement schemes. Current transformers intended for measurement have a certain accuracy class and operate in steady state mode with a primary current not exceeding the rated current. In relay protection and automation devices, current transformers must perform their functions at currents significantly higher than rated currents under transient conditions.

A special effect on the operation of the current transformer is provided by the aperiodic component of the primary current appearing in the transient mode. It is transformed into a secondary circuit of the transformer with a greater error, the slower they decay. In other words, as the decay time increases, an increasing proportion of the aperiodic component of the primary current is expended on magnetizing the current transformer magnetic circuit. Features at short circuits near to tires of powerful power stations.

Along with this, the permissible response time of relay protection and automation devices is reduced. Consequently, at the moment of operation of these devices, the aperiodic component of the magnetizing current is many times greater than its periodic component.

All this leads to the fact that the closed steel magnetic cores of current transformers are subject to strong saturation with aperiodic current components and, consequently, to a sharp decrease in their magnetic permeability. This leads to an unacceptable increase in the errors of such current transformers in transient modes. Particularly large errors occur when a residual magnetic flux of the aperiodic component of the magnetizing current is retained in the magnetic circuit of the current transformer.

It should be borne in mind that it is much more difficult to provide the necessary accuracy of the operation of CTs in transient regimes than in established ones. To improve the performance characteristics of CTs in steady-state and transient modes allows the use of new methods for constructing CTs (for example, optoelectronic CTs), and by using the following methods of limiting errors:

- creating paths for the aperiodic component of the primary current in addition to the CT magnetization branch;
- increasing the magnetic permeability of the magnetic circuit in saturation mode;
- elimination or reduction of residual induction in the magnetic circuit;
- Limiting the maximum working induction in the CT magnetic core and reducing the magnetic permeability.

In the transient process, the transformer begins to operate in saturation mode, i.e. When the magnetizing current grows much faster than the working magnetic flux. There are several ways to combat the residual magnetization of the core, as with one of the main causes of saturation.

One of the methods is the use of current transformers with cores without steel having linear properties. But the use of such current transformers can be very limited, due to the low power of the secondary windings. The second method (the most common) is the production of cores made of electrical steel having non-magnetic gaps. This method, in comparison with the use of cores without steel, allows the construction of smaller cores. However, in Russia, current transformers with such cores have not been manufactured and are not manufactured.

## **DAS SELBSTÄNDIGE HAUS – DAS SONNIGE KRAFTWERK PLUS DER WASSERSTOFF**

M.M. Osmolovskaya

Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk

Energetisches Institut, Lehrstuhl für Automatisierung von Wärmeenergie Prozessen,  
Gr. 5BM74

In der Schweiz ist das erste selbständige Haus eingesetzt und besiedelt, in dem die energetische Unabhängigkeit mit Hilfe des Wasserstoffes gewährleistet wird. Ist «das Mehrwohnungshaus der Zukunft» von der Fläche 1000 m<sup>2</sup> im Zürichs in Brütten

aufgebaut. Die Wohnungen im selbständige Haus sind vermietet. Im Haus mächtig isoliert die äußerlichen Wände (Wärmeleitfähigkeit  $U = 0,11 \text{ Wt/m}^2\text{K}$ ), die Deckung ( $U = \text{ sind } 0,15 \text{ Wt/m}^2\text{K}$ ), die sehr warmen Fenster ( $U = 0,6/\text{m}^2\text{K}$ ) verwendet.

Die Wärme wird mit der Hilfe geothermisch der thermischen Pumpe von der Macht die 28 Kilowatt erzeugt. Im Keller sind die riesenhaften Kapazitäten für die Aufbewahrung der Wärme gelegen. Das heiße Wasser wird in der reinsten Weise – fließend, mit Hilfe der Module des frischen Wassers erzeugt. Ein obligatorisches Element energieeffizient ist die Lüftung mit die Rückspeisung der Wärme zu Hause. Es ist die zentrale Ventilationsanlage mit der Effektivität 83 % in diesem Fall bestimmt. Für den Schutz vor dem Erfrieren wird die Zufuhr der Wärme aus dem Raum verwendet, in denen die Batterien bestimmt sind. Im Haus darf man nicht das Fenster ein wenig öffnen, man kann vollständig öffnen. Es ist zwecks der Minimierung der energetischen Verluste gemacht – dass die Bewohner zufällig im Winter die offenen Fenster nicht abgegeben haben. Wenn es der Energie, die vom sonnigen Kraftwerk hergestellt wird, für die Versorgung der Bewohner ungenügend ist, betritt die Sache der Wasserstoff. Mit Hilfe des Brennstoffelementes wird die Elektroenergie und die Wärme erzeugt. Nach den Berechnungen, das Bedürfnis nach der Nutzung des Wasserstoffes kann nur im Laufe von 20-30 Tagen im Jahr im Januar entstehen. Die Bewohner des Hauses zahlen für das Licht und die Wärme nicht, wenn im Rahmen des bestimmten Budgets bleiben, das 2200  $\text{kWt}\cdot\text{h}$  im Jahr durchschnittlich bildet.

Der Wert des Hauses hat 5,3 Million Schweizer Franken + 0,8 Million – der Mehraufwand auf die besonderen ingenieurmässigen Systeme. Diese Zahlen nehmen «den Wasserstoffteil» — Elektrolyser, der Kapazität für den Wasserstoff und die Brennstoffelemente nicht auf. Sie sind für das gegebene Objekt im Rahmen «ННОКР» gewährt und ihr Wert wird nicht angewiesen.

Die Liste der verwendeten Quellen:

1. Internet-Ressource <http://renen.ru/avtonomnyj-dom-solnechnaya-elektrostantsiya-plyus-vodorod/>
2. Internet-Ressource <http://deutsch-online.ru/urok>
3. Internet-Ressource <http://www.perspektivy.info/>

Wissenschaftlicher Betreuer: Ju.V. Kobenko, Prof., Dr. habil., Lehrstuhl für Fremdsprachen des Energetischen Instituts der Nationalen Polytechnischen Forschungsuniversität Tomsk.

## VORTEILE DES AKTIVEN BLITZSCHUTZES

V.A. Vajtovitsch<sup>1</sup>, J.V. Kobenko<sup>2</sup>

Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk<sup>1,2</sup>

Energetisches Institut, Lehrstuhl für Stromversorgung von Industriebetrieben, Gr.  
5GM7V<sup>1</sup>

Lehrstuhl für Fremdsprachen<sup>2</sup>

Neben traditionellen Blitzstäbchen aus dem Ende des zwanzigsten Jahrhunderts begann eine neue Technologie, der sogenannte aktive Blitzschutz, angewendet zu werden. Im Gegensatz zu klassischen, passiven Optionen, die auf das Erscheinen einer Blitzenladung im Handlungsfeld reagieren, Der aktive Blitzschutz ist im Vergleich zu herkömmlichen Schutzmethoden ein ingenieurtechnisches System, das im Falle eines gefährlichen Gewitters den Blitzstrom künstlich anzieht und sicher in den Boden leitet, um der natürlichen Blitzenentwicklung zuvorzukommen und dadurch eine größere Fläche zu schützen.

Der äußere Blitzschutz dient dazu, ein Objekt vor der Zerstörung durch einen direkten Blitzschlag zu schützen. Der Blitz ist eine atmosphärische Entladung, die infolge der erhöhten Spannung im Raum zwischen den Wolken dem Boden entsteht.

Der neue Blitzschutz wird in Form eines Stifts hergestellt, der einem herkömmlichen Pin-Lighting-Stab ähnelt. Allerdings ist es mit einem aktiven Blitzkollektor ausgestattet. Ein eingebautes elektronisches Gerät am Ende des Stifts hilft bei der Erzeugung von Hochspannungsimpulsen. Während eines Gewitters breiteten sich die Impulse aus, fangen den Blitz und richten ihn auf den Boden. Der Einsatz von aktivem Blitzschutz ermöglicht es, Gebäude und Strukturen vor direkter Blitzeinwirkung sowie aus den Sekundärwirkungen des Blitzes zu schützen.

Der aktive Blitzschutz wird in Häfen, auf Baustellen oder an dicht belebten Orten eingesetzt. Zu seinen Vorteilen gehört die Beibehaltung des ästhetischen Erscheinungsbildes des zu schützenden Objektes, wodurch die Materialkosten und der Umfang an notwendigen Installationsarbeiten gering bleiben. Der Einsatz des aktiven Blitzschutzes bietet eine erhebliche Kostenersparnis, hat eine deutlich erweiterte Blitzschutzzone.

Der aktive Blitzschutz ist eine moderne Entwicklung und ist nicht in den geltenden technischen Vorschriften auf dem Gebiet der Russischen Föderation zu finden. Deshalb können solche Systeme nicht zum Schutz von Industrieanlagen eingesetzt werden, die spezielle Maßtoleranzen und Genehmigungen erfordern.

Wissenschaftlicher Betreuer: Ju.V. Kobenko, Prof., Dr. habil., Lehrstuhl für Fremdsprachen des Energetischen Instituts der Nationalen Polytechnischen Forschungsuniversität Tomsk.

# DRAHTLOSE ÜBERTRAGUNG VON ELEKTRIZITÄT

A.J. Serbina<sup>1</sup>, J.V. Kobenko<sup>2</sup>

Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk<sup>1,2</sup>

Energetisches Institut, Lehrstuhl für Stromversorgung von Industriebetrieben,  
Gr. 5GM74<sup>1</sup>

Lehrstuhl für Fremdsprachen<sup>2</sup>

Drahtlose Übertragung von Elektrizität ist ein Verfahren zur Übertragung von elektrischer Energie ohne die Verwendung von leitfähigen Elementen in der elektrischen Schaltung.

Bis 2011 haben erfolgreichen Experimente mit der Übertragung von Energie in der Größenordnung von zehn Kilowatt im Mikrowellenbereich mit einer Effizienz von etwa 40% stattgefunden. Die Wissenschaftler haben es geschafft, den Strom auf eine Entfernung von mehr als 500 Metern erfolgreich zu übertragen.

Power Transmission Technologies:

1. **Ultraschall-Methode.** Der Sender emittierte Ultraschall; Der Empfänger wiederum hat das hörbare in Strom umgewandelt. Zum Zeitpunkt der Präsentation erreichte die Übertragungsstrecke 7-10 Meter und die direkte Sichtbarkeit des Empfängers und Senders war notwendig. Die verwendeten Ultraschallfrequenzen beeinflussen Menschen und Tiere in keiner Weise.
2. **Methode der elektromagnetischen Induktion.** Die übliche Anwendung der Resonanz elektrodynamischen Induktion ist die Aufladung von Batterien von tragbaren Geräten, wie Laptop-Computer und Handys, medizinische Implantate und Elektrofahrzeuge.
3. **Elektrostatische Induktion.** Elektrostatische oder kapazitive Kopplung ist die Übertragung von Elektrizität durch ein Dielektrikum. Elektrische Energie kann in einer Empfangsvorrichtung verwendet werden, beispielsweise in drahtlosen Lampen.
4. **Mikrowellenstrahlung.** Diese Methode wurde vorgeschlagen, um Energie von orbitalen Solarkraftwerken auf die Erde zu übertragen und das Raumfahrzeug zu versorgen, das die Erdumlaufbahn verlässt.
5. **Die Lasermethode.** Die Technologie der Kraftübertragung mit einem Laser wurde bei der Entwicklung neuer Waffensysteme und in der Luft- und Raumfahrtindustrie untersucht und wird derzeit für kommerzielle und Unterhaltungselektronik in Niedrigleistungsgeräten entwickelt.
6. **Elektrische Leitfähigkeit.** Der Austausch eines isolierten Drahtes mit atmosphärischem Feedback zur Übertragung eines leistungsstarken Hochfrequenz-Wechselstroms ist zu einer der Methoden der drahtlosen Kraftübertragung geworden. Darüber hinaus wurde die Möglichkeit der drahtlosen Übertragung von Elektrizität nur durch die Erde untersucht.

Das Ziel des weltweiten Funksystems ist es, die Übertragung von Energie mit Rundfunk und direktonaler drahtloser Kommunikation zu kombinieren, was es ermöglicht, zahlreiche Hochspannungsleitungen loszuwerden und die Vereinigung von Stromerzeugern auf globaler Ebene zu fördern. In Zukunft ist es geplant, eine große

Menge an Solarenergie zu nutzen und für verschiedene terrestrische Zwecke anzuwenden.

Wissenschaftlicher Betreuer: Ju.V. Kobenko, Prof., Dr. habil., Lehrstuhl für Fremdsprachen des Energetischen Instituts der Nationalen Polytechnischen Forschungsuniversität Tomsk.

## **NUTZUNG VON SOLARENERGIE**

B.J. Schtscherbina<sup>1</sup>, J.V. Kobenko<sup>2</sup>

Nationale Polytechnische Forschungsuniversität Tomsk, Energetisches Institut<sup>1,2</sup>

Lehrstuhl für Elektrische Antriebe und Ausrüstung, Gr. 5GM71<sup>1</sup>

Lehrstuhl für Fremdsprachen<sup>2</sup>

Die Solarenergie ist ein Strom von Photonen. Und doch ist es einer fundamentalen Faktoren, die Existenz des Lebens in unserer Biosphäre sicherstellen. Sonnenlicht ist nicht nur im klimatischen Aspekt, sondern auch als alternative Energiequelle aktiv genutzt werden.

Im Allgemeinen ist die Nutzung von Solarenergie in folgenden Bereichen sehr gefragt:

- Landwirtschaft;
- Energieversorgung von Sanatorien und Pensionen;
- Raumfahrtindustrie;
- Elektrifizierung von abgelegenen und unzugänglichen Regionen;
- Straße, Garten und dekorative Beleuchtung;
- Der Bereich der Wohnungs- und Kommunaldienstleistungen (Warmwasser, Hausbeleuchtung);
- Mobile Geräte.

Heute wird die Sonnenstrahlung zweierlei genutzt: zur direkten Umwandlung in elektrischen Strom (Photovoltaiken) und zur Wassererwärmung (Solarkollektoren).

Die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie erfolgt in der sogenannten Lichtschranke. Das Hauptelement einer solchen Batterie ist der zweischichtige Aufbau aus Halbleitermaterialien mit unterschiedlicher Leitfähigkeit. Unter der Einwirkung von Sonnenlicht beginnen die an den Grenzschichten konzentrierten ungleichen Ladungen eine gezielte Bewegung und es entsteht der elektrische Strom. Mit anderen Worten beginnen die Halbleiter als eine Art Elektroden zu arbeiten. Dabei erfolgen keine chemischen Reaktionen, und somit ist die Struktur in der Lage, sehr lange zu arbeiten.

Für die Umwandlung von Sonnenenergie in Wärme werden spezielle Geräte, Solarkollektoren genannt, eingesetzt. Sie werden in drei Typen unterteilt: Flach-, Vakuum- und Luftkollektoren.

Das Funktionsprinzip der ersten beiden Arten von Solarkollektoren ist identisch. Das Kühlmittel passiert durch die Heizeinheit des Kollektors und wird auf eine bestimmte Temperatur erhitzt. Es tritt dann in den mit Wasser gefüllten Wärmetau-

scher-Tank und gibt die gespeicherte Energie in den Behälter zurück. Das erhitzte Wasser wird der Wasserleitung oder dem Heizsystem zugeführt.

Der Hauptunterschied zwischen Flach- und Vakuumkollektoren besteht in der Konstruktion des Heizmoduls oder Absorbers. In flachen Geräten hat er die Form einer schwarzen Platte, an deren Innenseite ein schlangenartiger Schlauch für den Wärmeträger befestigt ist. In Vakuumkollektoren sieht der Absorber wie ein Glasrohrsystem aus mit den mit Kühlmittel gefüllten Stangen in seinem Inneren.

Im technologischen Bereich dient die Solarenergie zur Stromerzeugung. Sonnenkraftanlagen ermöglichen die Elektrifizierung von abgelegenen und schwer zugänglichen Regionen oder eine deutliche Reduzierung von Heizkosten eines privaten Hauses.

Vorteile von Solaranlagen:

- Autonomie;
- Stabilität der Stromversorgung;
- Wirtschaftlich;
- Große Ressource (über 20 Jahre);
- All-Saison-Nutzung;
- Einfache Nutzung.

Der Hauptnachteil der Nutzung von Solarenergie sind die hohe Kosten und sehr großes Gebiet deckt ab.

In 2017 Jahre in den Vereinigten Arabischen Emiraten begann der Bau der weltweit größten Stromerzeugungsstation mit Solarenergie. Es wird eine Kapazität von 1000 MW haben. Dieses Solarkraftwerk in Dubai wird geregelte Energie zu liefern und Strom auch im Dunkeln zu erzeugen.

In den nächsten 5 Jahren wollen die Franzosen 1 Tausend km Strecken mit Sonnenkollektoren bauen.

Wissenschaftler sagen, dass bis 2022 Solarkraftwerke der Welt die Macht der Kernkraftwerke überholen können.

Wissenschaftlicher Betreuer: Ju.V. Kobenko, Prof., Dr. habil., Lehrstuhl für Fremdsprachen des Energetischen Instituts der Nationalen Polytechnischen Forschungsuniversität Tomsk.



**СЕКЦИЯ 11.**  
**МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ В**  
**ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ В ОБЛАСТИ SMART SYSTEMS**

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ SMART-ОБРАЗОВАНИЯ**  
**В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ**

Е.А. Погадаев<sup>1</sup>, Е.Ю. Кузнецова<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИК, АиКС<sup>1</sup>, СУМ<sup>2</sup>

В настоящее время все сферы человеческой жизни так или иначе связаны с информационными технологиями, высшее образование также вовлечено в этот процесс. Развитие современного образования не может базироваться только на влиянии человеческого капитала, так как современное поколение отличается мобильностью, постоянной потребностью в социальном медиа и доступе к интернету, к тому же существующие учебники предоставляют заведомо устаревший контент еще на момент приобретения, отсюда и иные требования к организации процесса обучения. Обучение представителей нового поколения в соответствии с традиционной моделью обучения зачастую приводит к потере интереса к предмету или полному игнорированию преподавателя. В связи с этим необходимо в образовательном процессе сделать акцент на мобильность потребления контента, использование различных сервисов, технических средств, привычный для современных студентов Интернет, технологические инноваций, позволяющие качественно изменить взаимодействие с субъектом. Такой подход к обучению, как Smart - образование позволяет удовлетворить современные требования.

Проблема внедрения smart-образования в процесс обучения, заключается в перспективах его развития, а также способности заменить традиционные способы обучения, используемые в рамках высшего профессионального образования - лекции, семинары и т.д. Кроме того, любой вид образования сталкивается с проблемой измерения качества полученных знаний. Поэтому целью работы является выявление наиболее актуальных проблем реализации элементов smart-образования на примере НИ ТПУ.

На протяжении последних лет ведущие европейские университеты уже активно внедряют технологии электронного обучения на всех уровнях образования [1]. Многие крупнейшие компании США активно используют электронные курсы для обучения и способствованию карьерного и профессионального роста своих сотрудников.

Вопросами умного образования занимается большой круг ученых. Проводятся исследования принципов построения smart-образования, анализируются образовательные результаты его внедрения и организационные аспекты [2]. Разрабатываются модели smart-образования, направленные на раскрытие потенциала студента 21 века в процессе обучения [3].

Для большинства Зарубежных ВУЗов электронное образование является одним из важнейших ресурсов, однако в России электронное обучение достаточно новое направление, но уже отмечается рост рынка подобного вида обучения и усиление конкуренции вузов за контингент обучающихся.

Основным элементом Smart-образования является система электронного обучения, при которой процесс обучения осуществляется с применением информационных технологий. На сегодняшний день известны следующие инструменты для создания дистанционных курсов: MOODLE, DOCEBO, WPCORSEWARE, Atutor, Bitrix, WebTutor и т. д. В частности, в НИ ТПУ используется система MOODLE. Количество преподавателей, хотя бы единожды применяющих систему электронного обучения в учебном процессе составляет 52,4% [4].

Процесс электронного обучения, должен быть качественным, доступным для всех пользователей, в любом удобном месте, и не должен исключать полностью из этого процесса преподавателя, именно он должен стать ключевым звеном, обеспечивающим профессиональное развитие обучающегося.

Внедрения системы электронного обучения в образовательный процесс имеет ряд несомненных преимуществ, таких как:

- - повышение эффективности образовательного процесса;
- улучшение качества образования за счет использования новейших информационных технологий;
- персонализация обучения студентов в условиях коллективного обучения (возможность выбора индивидуальных параметров обучения: уровень сложности, темп, режим работы);
- направленность на формирование профессиональных компетенций и достижение результатов обучения, а не на получение теоретических знаний;
- систематический анализ недостатков и пробелов в знаниях обучающихся, планирование мероприятий по их устранению;
- использование альтернативных источников познания, более уплотнённых, структурированных и активно функционирующих ресурсов;
- прозрачность образовательного процесса для всех его участников;
- увеличение количества оказываемых образовательных услуг на базе существующей инфраструктуры ВУЗа;
- развитие коммуникативных способностей обучаемого в результате сочетания групповых и индивидуальных форм обучения, исследовательской, научной деятельности с использованием сетевых технологий;
- исключение человеческого фактора на отдельных этапах процесса обучения (дедлайн выполнения задания, оценка результатов, рекомендации).
- снижение аудиторной нагрузки на преподавателей [5].

Однако электронное обучение несет в себе не только положительный эффект. Недостатки модели обучения основанной только на электронных курсах очевидны, к ним можно отнести отсутствие индивидуального подхода, постое-

янного контроля над обучающимися, который является мощным стимулом, отсутствие коммуникации между обучающимися и преподавателем, и как следствие невозможность эмоциональной окраски знания.

В настоящий момент достаточно широко распространён тип смешанного обучения, когда электронное и аудиторное образование дополняют друг друга. В Национальном исследовательском Томском политехническом университете в 2016 году был произведен опрос среди студентов об использовании электронных курсов в учебном процессе [4]. По результатам опроса около 70 % студентов не признают полезности электронных курсов, это можно объяснить тем, что зачастую преподаватели сталкиваются с нехваткой времени на ведение офлайн обучения, невозможностью постоянно обновлять информацию и подогревать интерес студентов к своему курсу. К тому же содержание электронных ресурсов основано не на потребности обучающихся, а на теоретическом представлении материала, который не является уникальным, а значит и востребованным среди студентов. К тому же несовершенство технической базы для электронных курсов вызывает недоверие к такому роду обучения как со стороны студентов, так и преподавателей.

Хотя подавляющее большинство студентов видят положительный эффект от внедрения такого типа обучения, недостатки все же присутствуют, которые должны тщательно изучаться и устраняться для повышения эффективности обучения и заинтересованности студентов. В связи с этим кроме постоянного мониторинга среди студентов и преподавательского состава о качестве электронного обучения, необходимо вовлекать студентов в улучшение процесса Smart-обучения, дать им возможность влиять на содержание и форму изучаемых курсов.

Использование таких курсов для гуманитарных специальностей предоставляет возможность изучения большего объема информации дистанционно, тогда как в технических специальностях необходимо вести диалог непосредственно с преподавателем. Общение на форумах для первых может выступать в качестве консультаций, семинаров. Для технических специальностей оптимально использование smart-образования в качестве дополнительного источника информации о практической деятельности посредством работы в виртуальных профессионально-направленных лабораториях, либо в процессе изучения материала, который вызывает наименьшее число вопросов со стороны обучающихся.

Также стоит обратить внимание на то, что электронное обучение должно давать студентам не только знания, но и умения, профессиональные навыки, способность к научно-исследовательской деятельности, развивать пунктуальность и обязательность. Для этого необходимо создать виртуальную среду производственных процессов, максимально приближенных к реальным, особенно это важно при создании курсов для технических специальностей (электроэнергетика, машиностроение и металлообработка, IT-специалисты и др.), так как недостаток практического опыта негативно сказывается при трудовой деятельности выпускников, где необходимо применять теоретические знания на прак-

тике в условиях сжатых сроков и продумывать последствия принятых решений на несколько шагов вперед.

При разумной интеграции электронного и аудиторного обучения, открываются новые возможности для преподавания, перестроения и оптимизации учебного процесса различных дисциплин, в соответствии с требованиями нового поколения студентов, для которых Интернет является источником знаний, удовлетворения интересов и способом социальной коммуникации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. King E., Boyatt R. Exploring factors that influence adoption of e-learning within higher education // *British Journal of Educational Technology*. - Vol. 46. – 2015. - pp. 1272–1280.
2. Vladimir L. Uskov, Robert J. Howlett, Lakhmi C. Jain, *Three Dimensions of Smart Education* // Springer International Publishing, Switzerland 2015
3. Kim, Meeyong, Bae, Youngkwon, Development of a Smart Education Model for Field Application of Smart Education // *Journal of Internet Computing and Services*, Volume 13, Issue 5, 2012, pp.77-92.
4. Результаты опросов преподавателей и студентов об использовании электронных курсов в учебном процессе [Электронный ресурс] // *Электронное обучение в ТПУ*. 2015. URL: <http://portal.tpu.ru:7777/eL/news/news?pid=1071098&n=69794> (дата обращения: 05.05.2017).
5. Шутенко Е. Н. Роль современных информационных технологий в обеспечении самореализации студентов в вузовском обучении // *Образование и наука: современные тренды: коллективная монография*. - Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. - С. 163–174.

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, к.филос.н., доцент ИФНТ ТПУ.

### **ПРИМЕНЕНИЕ СМАРТ-СИСТЕМ И СМАРТ-ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СОВРЕМЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ**

Д.А. Чмыхало

Томский политехнический университет  
Физико-технический институт, группа 0А62

В России уже на протяжении более, чем 4 лет (с 2013 г.) реализуется проект «5-100» в соответствии с которым планируется повысить престижность российского высшего образования и вывести не менее, чем пять университетов из числа участников проекта в сотню лучших вузов по версии трёх авторитетных мировых рейтингов: Quacquarelli Symonds, Times Higher Education и Academic Ranking of World Universities. Данный проект стимулировал начало проведения реформ в российских вузах. Их осуществление должно создать

предпосылки для совершенствования управления вузами, модернизации учебно-лабораторного оборудования, улучшения качества образовательных программ и проч.

Однако для того, чтобы быть лучшим, современным вузом мира, необходимо не только соответствовать тем или иным формальным критериям как, например, наличие определенной доли иностранных студентов или количество публикаций в ведущих научных журналах мира и т.д. Лучшие современные вузы мира - это законодатели моды в области высшего образования. Именно в них создаются, а затем получают всеобщее распространение и признание многие новые технологии обучения. Например, среди авторов E-learning theory, послужившей теоретической основой для создания и применения e-learning курсов, используемых во многих университетах, в том числе и в ТПУ были Ричард Э. Майер (работал в Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, университет занимал 48-е место в 2016-1917 гг. по рейтингу THE-QS World University) и Джон Свиллер (Университет Аделаиды, 142 место в том же рейтинге).

В соответствии с какими трендами должен строить свою деятельность современный университет? Цель данной работы – представить основные современные концепции, ориентированные на решение проблем, связанных с внедрением смарт-систем и смарт-технологий в систему высшего образования.

Почему именно данные концепции оказались в центре нашего внимания? Ответ достаточно очевиден – в Томском политехническом университете уже на протяжении нескольких лет внедряются элементы смарт-систем и смарт-технологии (e-learning курсы, электронный документооборот, IT-инфраструктура, внедрение элементов энергосберегающих технологий). Однако возможности смарт-систем и смарт-технологий намного шире, чем то, что мы используем уже сейчас.

В настоящее время можно выделить несколько концептуальных подходов, ориентированных на создание и внедрение смарт-систем и смарт-технологий в область высшего образования. Среди них можно выделить концепции смарт-образования, технологии расширенного обучения, смарт среды обучения.

Концепция смарт-образования. В современной литературе нет единого подхода к ее интерпретации. Один из первых подходов был сформулирован экспертами компании IBM. Они определили смарт-образование как междисциплинарную систему образования, ориентированную на учащихся, связанную со школами, колледжами, техникумами и учреждениями подготовки кадров, и использующую технологии: адаптивные обучающие программы и учебные портфолио для студентов, совместные технологии и цифровое обучение, ресурсы для учителей и студентов, компьютеризированное администрирование, мониторинг и отчетность учителей о результатах обучения в классе, сбор более подробной информации об учащихся, онлайн-ресурсы обучения для студентов во всем мире.

Иной подход к пониманию смарт-образования представлен в работе М. Кокколи, А. Гарсия, П. Мареско, Л. Станганелли [1]. Они описывают умное образование как образование в умной среде, поддерживаемой интеллектуальными

технологиями, с использованием интеллектуальных инструментов и интеллектуальных устройств. Умное образование - это только верхний уровень, оно также включает в себя другие аспекты, которые также должны рассматриваться, а именно: 1) общение (communication); 2) социальное взаимодействие; 3) транспорт; 4) управление (администрирование и курсы); 5) социальное обеспечение (безопасность и здоровье); 6) управление; 7) управление энергией; 8) хранение данных и доставка; 9) обмен знаниями; 10) ИТ-инфраструктура.

Также для описания процессов эволюции смарт-образования в зарубежной литературе используется термин «технологии расширенного обучения» (technology-enhanced learning). Это понятие используется для демонстрации гибкости в режиме современного обучения. Технологии могут быть реализованы посредством социальных средств коммуникации, служб сетевого общения или средств для связи, внедрения их в содержание обучения [2], в исследования, коммуникации и сотрудничество [3], в процессы творческого самовыражения молодежи [4], и оценки учебных программ [5]. Данный концепт подчёркивает ситуацию, которая сложилась в образовательной сфере в связи с развитием мобильной связи, средств коммуникации и персональных бытовых приборов с новыми программными возможностями. В этих условиях мобильное обучение стало основной парадигмой «технологии расширенного обучения». Мобильное обучение подчеркивает использование мобильных устройств и фокусируется на мобильности учащегося. В дополнение к этому, поддержка вездесущих технологий вызвала дальнейшие изменения, а именно переход обучения от мобильного обучения в сторону вездесущего обучения. Сейчас обучение может проходить в любое время и в любом месте без ограничения времени, места или среды [6].

Влияние смарт-технологий на формирование концепции смарт-образования (Smart education) повлекло за собой появление комплекса новых технологий, таких как Смарт-доски, Смарт-экраны, а также новых концептуальных идей, таких как Смарт среда обучения (Smart Learning Environment), Смарт кампус (Smart Campus), Умные учителя (Smart Teachers), Интеллектуальные учебные сообщества (Smart Learning Communities), Смарт аудитории (Smart Classrooms) и др.

Концепция Смарт среды обучения (Smart Learning Environment) представлена в работах Дж. Хванга [7]. Данную концепцию он определяет, как технологию, при использовании которой происходит адаптация и обеспечивается соответствующая поддержка обучаемых (руководство, отзывы, подсказки или инструменты в нужных местах и в нужное время на основе учета потребностей отдельных учеников, которые могут быть определены путем анализа их обучения, поведения, производительности и онлайн-контекстов реального мира, в которых они расположены). Интеллектуальная среда обучения ориентирована на контекст ситуации учащихся или контекст реальной среды, в которой учащийся находится. Интеллектуальная среда обучения способна предлагать мгновенную и адаптивную поддержку учащимся путем непосредственного анализа потребностей отдельных учащихся с разных точек зрения. Умная среда обучения способна адаптировать пользовательский интерфейс (способы представле-

ния информации) и содержание образования (например, стиль обучения) в соответствии с личными факторами и предпочтениями отдельных учащихся.

Смарт кампус Л. Куок [8] определяет как новую парадигму мышления, которая относится к целостной интеллектуальной среде кампуса, включающей несколько направлений функционирования университетского интеллекта, таких как целостное электронное обучение, социальные сети и коммуникации для совместной работы, экологичность и устойчивость информационных и коммуникационных технологий с помощью интеллектуальных систем управления датчиками, защитное и профилактическое медицинское обслуживание, интеллектуальное управление зданиями с автоматизированным контролем и надзором за безопасностью, а также управлением и отчетностью в кампусе.

Умные учителя (Smart Teachers) – это активные участники умного кампуса. Как утверждает Абуилман И. [9] функционирование умного кампуса зависит от стратегии, включающей людей, объекты и постоянную поддержку преподавателей, а также эффективное использование технологий. Умный кампус востребует умных учителей и предоставляет им умные инструменты и постоянную поддержку для выполнения своей работы, оценивая их педагогическую эффективность с использованием интеллектуальных оценочных форм.

Концепт интеллектуальных учебных сообществ фиксирует особенности требований Смарт сообщества. Они заключаются в следующем: 1) в разумности (окружающая среда воспринимается датчиками), 2) устройства с подключаемой сетью приносят информацию о восприятии в сеть; 3) доступности (информация публикуется в Интернете и доступна для пользователей); 4) повсеместности (пользователи могут получать доступ к информации через Интернет в любое время и в любом месте); 5) общительности (пользователь может публиковать информацию через свою социальную сеть); 6) сам объект должен быть доступным и адресуемым; 7) видимости и дополняемости (скрытая информация становится доступной (видимой) путем переоснащения физической среды) [10].

Таким образом в современной литературе представлен спектр различных концепций, рассматривающих вопросы внедрения смарт-систем и смарт-технологий в систему высшего образования. Опыт ТПУ показывает, что некоторые элементы этих концепций, в основном связанные с IT-инфраструктурой, хранением и передачей данных уже нашли свою реализацию в отечественной системе высшего образования. Однако другие элементы этих концепций, в особенности, имеющие отношение к организации социального взаимодействия, безопасности и здоровью, транспорту, управлению не только не реализованы, но даже не рассматриваются в качестве приоритетных элементов для отечественных университетов. Может быть именно поэтому наши вузы пока еще слишком далеки от TOP -100 мировых рейтингов ведущих университетов мира.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Coccoli M. et al. Smarter Universities: a vision for the fast changing digital era // J. Vis. Lang. Comput. - 2014. -25. - pp.1003-1011.

2. Daniel J. Making sense of MOOCs: musings in a maze of myth, paradox and possibility // *Journal of Interactive Media in Education*. – 2012. –3. URL:<http://doi.org/10.5334/2012-18>
3. Bruce B.C., Levin J.A. Educational technology: media for inquiry, communication, construction, and expression // *J. Educ. Comput. Res.*–1997.-17(1). – pp. 79–102.
4. Goodman S. Teaching youth media: A critical guide to literacy, video production and social change. - Teachers College, New York, 2003.
5. Meyer B.B., Latham N. Implementing electronic portfolios: benefits, challenges, and suggestions // *EDUCAUSE Q.* – 2008. - 31(1). – pp. 34–41.
6. Chan T.W. et al. One-to-one technology-enhanced learning: an opportunity for global research collaboration // *Res. Pract. Technol. Enhanc. Learn.* – 2006. - 1 (01). – pp. 3–29.
7. Hwang G.J. Definition, framework and research issues of smart learning environments - a context-aware ubiquitous learning perspective // *Smart Learn. Environ. Springer Open J.* 2014. 1:4. URL: <http://www.slejournal.com/content/1/1/4>
8. Kwok L.A vision for the development of i-campus // *Smart Learn. Environ. Springer Open J.* 2015. 2, 2
9. Abueyalaman E.S. Making a smart campus in Saudi Arabia // *EDUCAUSE Q.* - 2008. – 2. – p. 1012.
10. Adamko A., Kadek T., Kosa M. Intelligent and adaptive services for a smart campus visions, concepts and applications // *Proceedings of 5 th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications, Vietri sul Mare, Italy.* 2014

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, к.ф.н., доцент кафедры ИФНТ ИСГТ.

## **СОЦИАЛЬНО-ОТВЕТСТВЕННЫЙ БИЗНЕС: SMART-ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ**

М.А. Халдеева, И.Б. Ардашкин, А.Ю. Чмыхало, М.А. Макиенко  
Томский политехнический университет  
ИСГТ, ИФНТ

В современном мире можно выделить двух современных трендов в сфере социальных наук, менеджмента и информационных технологий, которые находят свое отображение и в системе высшего инженерного образования. Первый тренд связан с созданием безбарьерных условий жизнедеятельности людей с ограниченными возможностями, которые снижали бы степень изолированности данной категории людей от общества, позволяли бы реализовать модель инклюзивного общества. Второй тренд – использование Смарт-технологий для поддержки и развития процессов жизнедеятельности общества, ведущее к повышению качества жизни и повышению эффективности решений социальных проблем. Возникает необходимость подготовить специалистов, которые спо-



способны интегрировать указанные тенденции применительно к решению проблем людей с ограниченными возможностями [1]. В Томском политехническом университете реализуется проект в области магистерской подготовки, направленный на формирование курсов, в рамках которых у студентов будут сформированы следующие компетенции:

- понимание роли и места бизнеса в решении социальных проблем современного общества;
- понимание специфики проблем людей с ограниченными возможностями;
- осмысление основных тенденций в развитии современной техники, масштабов и перспектив применения смарт-технологий в создании благоприятной среды для жизни людей и способность их внедрения;
- владение методами создания и реализации бизнес-проектов по использованию смарт-технологий в создании безбарьерной среды для лиц с ограниченными возможностями.

Курс разработан в электронной среде (на платформе LMS Moodle). Процесс преподавания предполагается осуществлять в формате web-поддержки.

Для отечественной науки и системы высшего образования, а также бизнеса – это новый проект, поскольку у нас небольшое количество отечественных Смарт-технологий (и то большее количество их реализуется в сфере оборонной промышленности). Для бизнеса такой проект также представляется инновационным, поскольку практика решения проблем людей с ограниченными возможностями в нашей стране фактически отсутствует, но применение смарт-технологий в сфере занятости этой категории населения (это 8% населения России) может существенно изменить ситуацию на рынке труда, а также социальный статус и степень социальной активности этой социальной группы. Тем более, что Правительство РФ в качестве приоритетного направления рассматривает возможность создания максимально безбарьерной среды для лиц с ограниченными возможностями.

Получение будущими специалистами по направлению магистерской подготовки компетенций в сфере смарт-технологий и их использования в рамках концепции социально-ответственного бизнеса для решения проблем людей с ограниченными возможностями станет существенным конкурентным преимуществом выпускником по данной магистерской программе Томского политехнического университета по сравнению с выпускниками других вузов на рынке труда. Это подтверждает тезис о том, что проект актуален и востребован сегодня.

Томский политехнический университет ориентируется на деятельность ведущих мировых университетов – это Nanyang Technological University (Сингапур), Royal Institute of Technology (Швеция), Massachusetts Institute of Technology и Stanford University [2]. В Nanyang Technological University учебный план включает 3 дисциплины, содержание которых коррелирует с содержанием курса, предлагаемого в рамках настоящего проекта. В КТН Royal Institute of Technology в учебном плане имеется 2 курса, содержание которых коррелирует с предлагаемым проектом, это: Industrial Transformation and Technical

Changes (Промышленные трансформации и технические изменения); Perspectives on Industrial Management (Перспективы промышленного менеджмента). Все программы обучения в КТН представлены с помощью веб-курса. Massachusetts Institute of Technology предлагает направление MIT Sloan MBA, которое можно рассматривать в качестве аналога направления «Менеджмент». Двухлетняя программа содержит факультативные курсы, коррелирующие с заявленным проектом: Революционное Ventures: как придумать и разворачивать трансформативные технологии. Это курс по построению и формированию идей и организаций для ускорения инженерных революций. Global Lab Health. Курс ориентирован на проекты в области стратегии, бизнес - модели инноваций, операций, маркетинга и технологий, разработанных для решения конкретных барьеров, выявленных в каждой партнерской организации. В Leland Stanford Junior University учебный план включает в себя элективные курсы, подготовленные с учетом конкретных интересов обучающихся. Это более чем 100 курсов, предлагаемых ежегодно, например: Problem Solving for Social Change (Решение проблем для социальных изменений). Курс направлен на поиск решений социальных проблем, которые требуют действий со стороны некоммерческих организаций, бизнеса, правительства; Innovation and Management in Health Care (Инновации и управление в здравоохранении). Курс раскрывает, как строится бизнес в современном здравоохранении. В рамках курса рассматриваются новые IT-технологии, в том числе система электронных записей данных, а также стимулы для их принятия.

Таким образом, наиболее широкий спектр курсов предлагает Стэнфордский университет. Поскольку инициативы преподавателей данного университета привели к созданию инновационной зоны мирового значения – Силиконовой долины, то мы полагаем, что предлагаемый нами курс также будет способствовать развитию инновационного и социально-ответственного мышления у студентов, обучающихся в ТПУ и других вузах.

Курс нацелен на подготовку студентов:

- к разработке собственных проектов социально ориентированного характера для лиц с ограниченными возможностями,
- к использованию смарт-технологий в производственной сфере для создания безбарьерной среды;
- к использованию смарт-технологий для реализации бизнес-проектов;
- к использованию современных способов оценки эффективности бизнес-проектов с использованием смарт-технологий для людей с ограниченными возможностями;
- к поиску и обоснованию возможных путей сотрудничества с органами государственной и муниципальной власти и управления в решении проблем людей с ограниченными возможностями посредством применения смарт-технологий в рамках различных форм социального предпринимательства;
- к осознанию ответственности за принятие своих профессиональных решений

Курс состоит из 3-х основных модулей:

Модуль 1. Социально-ответственный бизнес: сущность и функции.

Модуль 2. Люди с ограниченными возможностями: концептуальные модели, международные акты и российская специфика. Количественные и качественные показатели инвалидизации в России и мире. Барьеры, связанных с инвалидностью.

Модуль 3. Smart-технологии в решении проблем людей с ограниченными возможностями

Особое внимание в курсе уделяется изучению опыта развитых стран мира (Северной Америки и Западной Европы) и опыта российских компаний в развитии социально-ответственного бизнеса, в использовании smart-технологий для решения проблем лиц с ограниченными возможностями [3]. Также будут рассмотрены вопросы взаимодействия бизнес-структур и органов государственного и муниципального управления в решении проблем людей с ограниченными возможностями посредством применения smart-технологий.

Томский политехнический университет в рамках инициативы Министерства образования и науки сформировал семь стратегических академических единиц (САЕ). САЕ – это направление деятельности вуза, интегрирующее в себе научные исследования и образовательные программы в рамках единого проекта. Общая направленность САЕ Томского политехнического университета (образование и наука) заключается в том, что вуз претендует на позиционирование себя в качестве ведущего мирового университета в области создания ресурсоэффективных технологий. Ключевым фактором ресурсоэффективной ориентации образовательной и научно-исследовательской стратегии вуза является генерация инновационных идей и их социальная полезность. Это четко отразилось в формировании стратегических академических единиц «Ядерные технологии для онкологии», «Люди и технологии», «Экоэнергетика» и т.д.

Проект «Социально-ответственный бизнес: Smart-технологии в решении проблем людей с ограниченными возможностями» вполне четко вписывается в обозначенную образовательную стратегию и может использоваться в ряде магистерских программ Менеджмент (профиль «Экономика и управление на предприятиях»), Инноватика (профили «Предпринимательство в инновационной деятельности», «Устойчивое развитие городской среды»), Прикладная математика и информатика (профиль «Математические методы в экономике, науке и технике»), Электроэнергетика и электротехника и так далее. С помощью курса возможно усилить подготовку по ряду компетенций, прописанных в данном образовательном стандарте: готовностью действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2); способностью использовать количественные и качественные методы для проведения прикладных исследований и управления бизнес-процессами, готовить аналитические материалы по результатам их применения (ПК-4); способностью обобщать и критически оценивать результаты исследований актуальных проблем управления, полученные отечественными и зарубежными исследователями (ПК-7).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Coccoli M., Guercio A., Maresca P., Stanganelli L. Smarter Universities: a vision for the fast changing digital era, *J. Vis. Lang. Comput.* 25. – 2014. – P. 1003–1011
2. Meyer B.B., Latham N. Implementing electronic portfolios: benefits, challenges, and suggestions. *EDUCAUSE Q.* 31(1). – 2008. – P. 34–41
3. Shapiro J. Smart cities: Explaining the relationship between city growth and human capital. Harvard University Press. – 2003. – 39 P.

Научный руководитель: И.Б. Ардашкин, д.ф.н., профессор каф. ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## РАЗВИТИЕ SMART-ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННОЙ ЖИЗНИ

Ж.А. Нурманов<sup>1</sup>, М.М. Семёнова<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИФВТ, ФВТМ, группа 4АМ71<sup>1</sup>  
ИК, ТМСР, группа 8ЛМ71<sup>2</sup>

Согласно «Индексу качества городской среды» Томск обогнал прочие города СФО, набрав 173 балла из 300 возможных [1]. Таким образом Томск стал самым удобным для жизни городом Сибири, но является ли он действительно таковым? «Индекс качества городской среды» оценивает различные аспекты жизни города по следующим показателям: безопасность, комфорт, экологичность, идентичность и разнообразие, современность среды. Три из пяти аспектов имеют низкий показатель современности среды, что является недопустимым в век цифровых технологий. Одной из проблем Томска является отсутствие доступного Wi-Fi соединения на улицах города, которое могло бы, к примеру, позволить автомобилистам, воспользовавшись специальным приложением избежать пробок на дорогах. Поэтому в данном докладе предлагается рассмотреть возможные пути усовершенствования общегородского пространства.

Что такое современный и удобный город? Один из возможных подходов к оценке содержится в рамках концепции «Smart-City». Что же представляет собой «Smart-City»? По сути это универсальная комплексная система информационной поддержки, которая выполняет две основные функции: – обеспечивает ключевой информацией все уровни городской исполнительной власти; – предоставляет интерфейсы обратной связи, через которые исполнительная власть может воздействовать на определенные сферы городской жизни, попадающие в зону ее ответственности [2].

В чем ее польза? Во-первых, реализация этой концепции однозначно повышает качество жизни населения региона. Во-вторых, это снижение затрат на эксплуатацию инфраструктуры за счет автоматизации рутинных процессов по управлению городским хозяйством и создания средств объективного контроля

за работой городских служб. В нынешних жестких экономических условиях, сопровождающихся сокращением количества денег, в том числе и в сферах ЖКХ, оптимизация текущих процессов – едва ли не самое популярное решение.

Ключевым связующим звеном «Smart-City» является некоторый операционный центр, который аккумулирует в себе информацию от нижестоящих систем и является высокоуровневым агрегатором управляющих воздействий.

Следующий уровень за центральной консолью – уровень конкретных областей городского хозяйства, в каждой из которых стоят свои задачи и свои показатели эффективности со своей спецификой [2]. И в связи с этим каждая такая область управляется отдельным приложением. Например, приложение по «умному управлению городским освещением», которое позволяет задавать с центральной консоли общую политику управления светом в городе и оптимизировать затраты на электричество и операционную поддержку освещения.

Естественно, для воплощения этой концепции в жизнь необходим ряд технологий и построенных на базе этих технологий решений, позволяющих реализовать «умный город» с технической точки зрения.

Можно выделить четыре базовых элемента в технологической структуре «умного города», а именно: интернет вещей, технологическая концепция которого позволяет собирать нужную информацию от объектов и обеспечивает обратную связь с ними; инфраструктуру передачи данных, связывающую приложения с объектами городской инфраструктуры; системы анализа данных, позволяющие извлечь из большого объема данных полезную информацию; систему агрегации и унификации данных, призванную упорядочить и синхронизировать огромные потоки данных [2].

Цель данной работы - выявить основные пути, преодоление которых позволит многим городам стать по-настоящему «Smart-City» на примере Барселоны, которая в 2015 году заняла первую строчку в рейтинге высокотехнологичных городов по версии британских аналитиков из Juniper Research [3].

Испания была одной из тех стран, которые наиболее сильно пострадали от кризиса 2008 года, и в целом европейские страны восстанавливались после него очень медленно. И в этих сложных экономических условиях правительство Барселоны приняло решение превратить испанский город в пространство, где всем управляют данные и интеллектуальные системы.

В 2011 году кандидат в мэры Барселоны Хавьер Триас сделал внедрение технологий в городское управление частью своей избирательной кампании. Он утверждал, что от этого пункта напрямую зависит экономическое благополучие города. После его избрания началась реализация комплексной программы «Умный город в Барселоне». Ее главной целью было улучшить эффективность городских услуг, решить вопрос устойчивого развития города и проблему загрязнения окружающей среды.

Конечно, у Барселоны был серьезный фундамент для запуска такого проекта: после того как 35 лет назад в городе соединили оптоволоконными кабелями два муниципальных здания, сеть высокоскоростного проводника покрыла 800 км<sup>2</sup> Каталонии. Подготовка к Олимпийским играм 1992 года превратила заброшенную текстильную фабрику в технологический кластер и гигантский ин-

кубатор стартапов - @22. Один из лучших футбольных клубов мира, FC Barcelona, притягивает туристов и инвестиции, а на MobileWorldCongress - ежегодную крупнейшую в мире выставку мобильной индустрии - съезжается около 90 тысяч участников. Барселона - больше чем город, это мировой бренд.

Кроме того, на базе оптической сети работают городские IoT системы. С целью повышения энергоэффективности в городе было установлено 19 500 умных приборов учета потребления электроэнергии. Горожане выбрасывают мусор в муниципальные приёмники, оснащенные сенсорами, которые отслеживают наполнение контейнеров и оптимизируют процесс сбора отходов.

Новые цифровые автобусные остановки Барселоны вообще превратили ожидание автобуса в приятное времяпрепровождение: помимо подробнейшей информации о расписании движения здесь имеются зарядки USB, бесплатный Wi-Fi, также можно скачать специальные приложения, чтобы узнать больше о городе

Детекторы света и металла определяют, свободно или занято парковочное место. Они помогают водителям мотоциклов найти место для стоянки, показывая доступные варианты в мобильном приложении Appark B. Итоговые данные оправаляются в администрацию города, помогая улучшать систему расположения парковок.

Фонари со светодиодами сокращают расходы на освещение и оптимизируют подачу энергии. Работают они в зависимости не только от времени суток, но и от погодных условий: влажности, температуры и уровня загрязнения воздуха. Кроме того, у фонарей есть сенсоры, которые автоматически убавляют и прибавляют яркость света в зависимости от наличия пешеходов на улицах. На фонарях также размещается оборудование для Wi-Fi и сенсоры, которые следят за загрязнением городского воздуха, передавая информацию правительственным службам. Все эти меры привели к снижению потребления энергии в системе городского освещения на 30%.

Инновации проникли и в парки Барселоны. Здесь технологии интернета вещей используют для ирригации и измерения уровня воды в городских фонтанах. Сенсоры мониторят влажность и осадки, так что в засушливом климате Барселона может более эффективно поливать зеленые насаждения, когда это необходимо. Эта система работает на 68% территории городских парков, она позволила городу на 25% увеличить полив, сэкономя примерно 555 000 долларов в год.

Также стоит рассказать о интегрированной система Sentilo (в переводе с языка эсперанто - «сенсор»), которая объединяет приборы наблюдения водоснабжения, света, энергетики, дорожной обстановки, уровня шума и т.д. - всего около 550 датчиков, которые собирают информацию об обстановке в городе. Все данные открытые. Так что они не только помогают властям планировать городскую застройку, прокладку новых дорог и инженерных коммуникаций, но и являются хорошей основой для разработок независимых коммерческих компаний.

Барселона занимает второе место после Нью-Йорка по уровню развития городской сети Wi-Fi.

Реализация систем умного города сэкономила городу деньги и сделала потребление воды и электроэнергии более разумным. Только на воде город сэкономил 58 миллионов долларов, а выручка от платных парковок достигла 50 миллионов долларов в год. В городе было создано 47 000 новых рабочих мест. Ежегодная экономия на электроэнергии оценивается в 37 миллионов долларов в год.

Теперь же рассмотрим пути, преодоление которых позволить такому городу, как Томск стать действительно удобным и комфортным для жизни на основе Smart-технологий.

В первую очередь это обеспечение большей части города информационными технологиями [4], которая является основой для:

- Более эффективного использования физической инфраструктуры (дороги, строительство, экология и другие физические активы) на основе искусственного интеллекта и анализа данных, чтобы поддерживать сильное и здоровое экономическое, социальное, культурное развитие;
- Эффективного взаимодействия с местными жителями по вопросам местного самоуправления и для принятия решений путем использования открытых инновационных процессов и электронного участия, улучшения коллективного разума учреждений города посредством электронного управления, с акцентом на участие граждан и совместное проектирование;
- Обучения, приспособливания и ввода новшества и тем самым более эффективного и оперативного реагирования на изменение ситуации путем улучшения интеллекта города.

Во-вторых, реализация «Smart-City» требует поддержки со стороны муниципалитета, так как необходимо создать нормативную базу, регламентирующую понятие «Smart-City», механизмы его работы и финансирования. Для ускорения процесса необходимо сотрудничать с передовыми компаниями в области Smart-технологий.

В заключение можно подчеркнуть, что концепция получила достаточно широкое распространение: в настоящий момент в том или ином объеме «Smart-City» реализована в различных городах по всему миру.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Индексу качества городской среды [электронный ресурс] // <http://xn----dtbcccmtsypabxk.xn--p1ai/> (дата обращения: 20.09.17)
2. «Умные города», или SmartCities =HappyCitizens [электронный ресурс] // <https://habrahabr.ru/company/huawei/blog/323382/> (дата обращения: 13.09.17)
3. Электронный мозг Барселоны: как набраться ума во время кризиса [электронный ресурс] // <https://theoryandpractice.ru/posts/13984-barcelona> (дата обращения: 13.09.17)

4. Умный город [электронный ресурс] // [https://ru.wikipedia.org/wiki/Умный\\_город](https://ru.wikipedia.org/wiki/Умный_город) (дата обращения: 13.09.17)

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, к.ф.н., доцент кафедры ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## **ТЕХНОЛОГИИ SMART SYSTEMS ДЛЯ КОРПОРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ**

В.А. Трофимов  
Томский политехнический университет  
ИФВТ, ФВТМ, группа 4АМ7К

Дистанционное обучение персонала на основе современных информационных технологий — один из эффективных методов сокращения затрат на обучение, увеличения охвата аудитории и повышения эффективности подготовки персонала в целом.

В рамках системы дистанционного обучения компании доступны самые разные инструменты развития персонала: тестирования, вебинары, видеоконференции, чаты, форумы, порталы знаний и, конечно, электронные курсы дистанционного обучения. Именно они обычно служат основным наполнением систем дистанционного обучения и представляют наибольший интерес как для пользователей, так и для самой компании. [1]

Дистанционное обучение в управлении персоналом играет все большую роль. Можно выделить следующие преимущества такого подхода:

- Обучение происходит без отрыва от рабочего процесса, персонал не отвлекается на продолжительные учебные мероприятия, он повышает квалификацию на рабочем месте и в отведенное для этого время;
- Массовость обучения без географических границ достигается за счет современных информационных технологий;
- Контроль обучения через инструменты статистики, позволяющие отслеживать в реальном времени прогресс пользователей, а также строить глобальные отчеты по обучению персонала;
- Широкий набор инструментов для дистанционного обучения (от электронных курсов дистанционного обучения до общения с реальным преподавателем на вебинаре) делает обучение интересным и разнообразным.

Система дистанционного электронного обучения — это программный продукт, с помощью которого ведется управление дистанционным обучением и контроль его эффективности.

Для загрузки электронного курса дистанционного обучения в систему важно, чтобы курс был «запакован» в специальный общепринятый формат, чаще всего SCORM (с английского Sharable Content Object Reference Model — «образцовая модель объекта содержимого для совместного использования»). С



помощью данного стандарта система может сохранять прогресс обучения сотрудника по курсу и накапливать статистику. [2]

Каждый пользователь имеет свой логин и пароль в системе, доступные ему курсы, историю прохождения, доступ к другим материалам. Администратор системы контролирует процесс обучения, заводит новых пользователей, назначает курсы, загружает курсы в систему.

Цикл создания и разработки курсов дистанционного обучения включает в себя следующие этапы:

1. Анализ материалов, на основе которых будет разрабатываться курс, и методологическая обработка материалов. Данный этап является одним из самых важных и включает в себя методологическую обработку текста, написание сценария — четкое описание подачи информации в пределах одного слайда: текста, анимации, изображения, форматирования, последовательности воспроизведения и так далее;
2. Визуальное оформление — дизайн интерфейса, являющегося неотъемлемой частью любого электронного курса. Интерфейс должен быть функциональным, привлекательным и интуитивно понятным пользователю. Он обязательно включает в себя: элементы управления, систему навигации, справочный материал, оглавление, различные варианты помощи для работы с электронным курсом, печать необходимой информации и многое другое. Здесь же создается и визуальное наполнение контента курса: иллюстрации к материалам, схемы, графики, персонажи и так далее;
3. Производство — сборка курса в той или иной программной среде;
4. Внедрение курса в систему дистанционного обучения.

Создание дистанционных курсов включает выбор оптимального способа подачи информации для целевой аудитории, контекст и задачи обучения. Курс должен быть понятным и доступным для конкретных пользователей, рассказывать им о новых знаниях и объяснять, как данные знания могут быть применены в повседневной работе.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Тихомирова Е. Живое обучение: Что такое e-learning и как заставить его работать. – М.: Альпина Паблишер, 2017. – 238 с.
2. Хортон У., Хортон К. Электронное обучение: инструменты и технологии. – М.: КУДИЦ-Образ, 2005. – 640 с.

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, доцент, кафедра ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## ЕДИНЫЙ SMART-УНИВЕРСИТЕТ. ОТ СЛОВ К ДЕЙСТВИЮ

М.В. Наберухин  
Томский политехнический университет  
ИФВТ, ФВТМ, группа 4АМ7К

В процессе развития Интернета и компьютерных технологий, университеты России каждый раз сталкивались с задачей использования новых или улучшенных технологических наработок и решали их, пускай и с некоторой задержкой. Например:

- после популяризации персональных компьютеров у университетов появилась возможность создавать компьютерные классы не только для специалистов, обучающихся на технических специальностях, но и для студентов гуманитарных направлений, удовлетворяя обычные студенческие потребности. То есть студент, находящийся не на занятиях, в своё свободное время, может беспрепятственно воспользоваться компьютером для, например, поиска необходимой информации, использования электронной библиотеки (об этом ниже), использования каких-то программ, на которые у университета есть лицензия на использование и обычный студент не может себе позволить покупку лицензионного продукта и т.д.;
- после первых скачков развития компьютерной техники, появилась возможность формировать электронные базы данных чего угодно: электронные библиотеки, базы данных студентов и базы данных преподавателей. Доступ к этим базам осуществляется по квотам, данными администратором базы данных, из почти любого места в университете, с компьютера, который подключён к сети;
- развитие домашнего и беспроводного интернета позволило студентам и преподавателям подключаться к системе вне университета, всё по тем же квотам. Где-то на этом этапе была придумана идея формирования в некотором роде социальной сети, с личными кабинетами и способами коммуникации типа студент-преподаватель, преподаватель-преподаватель, студент-студент и преподаватель-группа.

В целом подход идти в ногу со временем это очень верная стратегия, но почти все университеты допустили одну ошибку. В большом количестве университетов все эти удобные, по отдельности, системы привели к очень некомфортному их одновременному использованию. Конечно же, автором имеется в виду, что дифференциация не однозначна и некоторые элементы могут быть все же объединены в какой-нибудь один сервис в некоторых университетах.

Самый пессимистичный пример. Абитуриент после школы решил поступить в университет N. Придя в приёмную комиссию, абитуриент отдаёт необходимые бумаги и заполняет заявление на обработку и т.д. У университета есть система Абитуриент, в которой будущий студент может посмотреть своей рейтинг, статус сдачи документов и узнать о вступительных экзаменах. Так как это самый пессимистичный вариант студенту необходимо сдать вступительные эк-

замены, а проводится они в системе Экзамен, в которой так же работают студенты всех курсов. Для этого абитуриента регистрируют в этой системе, основываясь на его данных взятых из системы Абитуриент. После сдачи экзаменов, студент поступает в университет (если не поступает, его данные ещё долго висят в базе данных Абитуриент и Экзамен) и ему необходимо так же зарегистрироваться в личном кабинете института, получить читательский билет (что иногда представляет из себя отдельный сервис), вступить в различные группы в других социальных сетях и, учитывая, что это пессимистичный пример, многое другое.

И в таких реалиях живет много студентов. Неуклюжесть этой ситуации вызывает ничто, кроме раздражения, так как использование данных сервисов иногда просто необходимо, либо обязательно. В данном примере не была описана такая система как система дистанционного образования (которая сама по себе имеет очень много нюансов, которые при создании очень часто не учитываются) и конечные этапы обучения студента (сдача ВКР, или получение диплома), где обычно всё переходит в «традиционную» бумажную волокиту. При всех современных технологиях, с которыми сталкивается студент по мере обучения, работа с бумажными документами и очередями вызывает у одного когнитивный диссонанс.

Конечно же, всё находится не в таком плаченом состоянии. Специалисты, которые выпускаются с кафедр информатики, часто исправляют ситуацию в университете, но стоит применить системный подход. [1]

Для выполнения данной задачи требуется:

- нанять специалиста (или команду разработчиков), которые спроектируют единый сервис для университета. Вполне возможно, что полная переработка не потребует, и можно будет использовать уже существующий сервис (самый современный из имеющихся), который «поглотит» все остальные. Важно понимать, что на данном этапе не стоит избавляться от «традиционной» бумажной волокиты (то есть создавать базу данных документов в сервисе), о которой говорилось выше, так как это очень серьезный шаг, с которым не справились даже самые крупные западные компании;
- в летний период (или любой другой период застоя учебной деятельности) внедрить систему. После этого периода у студентов, абитуриентов и преподавателей будет один сервис, который выполняет все функции нескольких предыдущих;
- анализ проведенной работы и результатов на протяжении определенного периода, установленного администрацией университета (от полугодя). В процессе анализа будут установлены все ошибки и исправлены. На данном этапе можно оставить только часть привлеченной команды разработчиков для поддержания системы «на плаву»;
- планирование. Очень важный этап, так как в процессе предыдущих этапов мог произойти очередной скачок в развитии компьютерных технологий и Интернета. На этом этапе решается, стоит ли внедрять какие-нибудь новые функции или приступить к планированию заклю-

чительного этапа, который для автора значит значительный отказ от использования физических носителей информации, таких как бумага. Если разработчики, вместе с администрацией университета, решают внести новую функцию в сервис, то спираль разработки закручивается и начинается, фактически, с этапа «А», на котором нанимаются новые специалисты, либо используются имеющиеся, и начинается работа над новым обновлением системы.

Автор посчитал, что финальный этап не стоит вписывать в условия выполнения задачи соединения разных университетских сервисов в единое целое. Сделано это было по причине, что эта идея – избавление от бумажной волокиты, в каком-то смысле является утопической.

Появлению персональных компьютеров в офисах на западе пророчили уменьшить вдвое количество используемой бумаги, но лишь увеличили её в разы. Использование бумажных носителей засело в умах человечества очень сильно. По мнению автора, это связано с тем, что человек может непосредственно держать в руках информацию, в её элементарном виде, он может её тут же уничтожить или поправить, ну и, в конечном итоге, человечество привыкло использовать бумажные носители.

Решение по объединению сервисов может и ресурсозатратное мероприятие, но оно:

- увеличит технологический престиж университета;
- скорость работы с внутренними сервисами увеличится для всех, кто ими пользуется;
- позволит иначе взглянуть на некоторые сервисы и, возможно, переработать их для общей системы;
- создаст рабочие места и места для практикантов с информационного университета. Появится возможность статистически в целом оценивать ситуацию в университетах, получать моментальные отчеты, в сравнении с бумажными отчетами или отчетами разрозненных систем;
- при правильном использовании искоренит проблему занятого пространства, при которой уже исключившиеся студенты и не поступившие абитуриенты удаляются из базы данных. Для исключившихся студентов, всё же, будет выделено некоторое пространство, так как по закону необходимо хранить выпускные квалификационные работы и прочие документы об успеваемости.

В чем же заключается ресурсозатратность? Ресурсозатратность заключается в том, что:

- первое время работы новой системы будет не таким качественным, как планируется в дальнейшем, так как система будет в процессе тестирования;
- возникнут затраты на оплату рабочей силы и создания серверной комнаты (желательно нескольких серверных, для сохранности данных);
- потратится много человеко-часов на перенос данных из разных баз в одну.

По всему миру, не только в России, у ВУЗов существует вот такая проблема, на которую не обращают внимания многие. Пусть Россия и не идет в ногу со временем, делает это немного с отставанием, но тут ещё есть возможность вырваться вперед и подать всем пример.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Richard W. Selby Software Engineering: Barry W. Boehm's Lifetime Contributions to Software Development, Management, and Research. - John Wiley & Sons, 2007.- 818 с.

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, доцент, кафедра ИФНТ ИСГТ ТПУ.

### **ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – ПРОБЛЕМЫ ПРАВОВОЙ РЕГЛАМЕНТАЦИИ**

И.А. Кремлев, Д.В. Вымятнина  
Томский политехнический университет  
ИК, СУМ

Уже более 70 лет со дня публикации трех законов робототехники Айзека Азимова человечество активно обсуждает практическое взаимодействие с роботами (Isaac Asimov, «Хоровод», 1942 г.) [1]. Первый закон гласит: робот не может причинить вред человеку; второй: робот должен подчиняться человеку; третий: робот должен заботиться о своей безопасности, если это не противоречит первым двум законам. Впоследствии Азимов добавил к ним еще один, нулевой или четвертый: робот не может нанести вред человечеству или своим бездействием допустить, чтобы человечеству был нанесен вред. Законы эти были введены исключительно для того, чтобы людям не был нанесен вред. Точно так же ставят предохранители на электроприборы, оснащают безопасными рукоятками различные инструменты, устанавливают стоп-краны и прочие приспособления для защиты. Законы робототехники - это не правила, а в большей степени человеческие инстинкты и сформулированы они в таком виде именно для людей. Для роботов законы - не постулаты, а модель поведения. Однако, когда мы говорим о законах Азимова, то понимаем, что все же это не законы в их правовом понимании, а лишь имитация. С юридической точки зрения они не существуют, хотя попытки придать им нормативное содержание в настоящее время уже предпринимаются.

В 2004 году SIAI (Институт сингулярности искусственного интеллекта, США) был открыт сайт, созданный для обсуждения этики искусственного интеллекта (ИИ) и возможных последствий принятия законов в реальной жизни. Эксперты считают, что законы робототехники Азимова небезопасны, поскольку, могут побудить ИИ захватить власть на Земле, чтобы «защитить» людей от вреда. В марте 2007 г. Правительство Южной Кореи начало разработку законодательного акта, призванного нормировать этические и этнические взаимоотно-

ношения между людьми и роботами – Robot Ethics Charter для разработчиков и пользователей. В марте 2012 г. робототехники США призвали мировое научное сообщество начать разработку «Этического кодекса роботов», который будет регулировать деятельность как бытовых, так и боевых роботов. При этом во всех случаях основой документов становятся именно законы Азимова, призванные сделать роботов этичными. Подобные позиции, конечно же, имеют место быть, но все же несколько опережают события. Роботы сами по себе не могут быть ни хорошими, ни плохими. Мы сами делаем их такими. На сегодняшний день робот воспринимается нами как вещь, которую можно купить, разобрать или отключить. Но нельзя отрицать, что, скорее всего, уже в ближайшие десятилетия революция в создании ИИ может поставить человечеству вопрос: будут ли сами роботы считать себя вещами и творениями человека или станут воспринимать себя равными нам личностями?

Глава совета директоров Mail.Ru и основатель компании Grishin Robotics Дмитрий Гришин в середине декабря представил концепцию закона о робототехнике — по его словам, первую в мире. В действительности, подобные концепции, в том числе куда более детально разработанные, обсуждаются не первый год, в том числе в Европарламенте. Автор предлагает приравнять роботов одновременно к животным и юридическим лицам. «У искусственного интеллекта нет эмоций, но при этом он, как и животные, способен к самостоятельным действиям». Аналогию с юридическим лицом Гришин объясняет тем, что робот тоже является «особой юридической конструкцией». Концепция законодательства о робототехнике Гришина также основывается на трех законах робототехники Азимова. Для роботов должен быть создан специальный реестр, аналогичный единому государственному реестру юридических лиц. К создателям роботов могут применяться такие же меры, как к владельцам источников повышенной опасности. В заключении Гришин предлагает четыре ситуации, в случае которых возможно привлечение к уголовной ответственности:

- создание робота для совершения правонарушений
- отключение функций, блокирующих возможность причинения вреда человеку
- создание робота, у которого такого блока нет с самого начала
- конструирование робота без осознания того, что он может быть использован для причинения вреда человеку

Таким образом, если в мире уже начались разработки норм поведения роботов по отношению к человеку и правил сосуществования человека и машины, то законы о защите роботов также в скором времени могут стать реальностью. Такие документы будут эволюционировать. Можно предположить, что вначале роботы будут определяться как вещи или материальные ценности, однако, с появлением мощного ИИ, они будут становиться частью человеческого общества и потребуют свои права и их защиту. Число роботов в мире исчисляется миллионами. На данный момент их общее количество неизвестно, но в 2008 г. согласно обзору Международной Федерации Робототехники. (International

Federation of Robotics) в мире существовало более 6,5 млн. роботов. Они образуют и занимают отдельную нишу: технологическую, бытовую и социальную.

Один из наиболее серьезных вопросов любого законодательства о робототехнике — ответственность за то, что делает робот. В данном случае необходимо учитывать автономность роботов в принятии решений. Чем она выше, тем меньше ответственности за его поступки должен нести собственник или владелец. Чем дольше робот обучался человеком, тем больше ответственности должно лежать на учителе, при этом нужно отличать приобретенные от человека способности с теми, которым робот научился сам.

Вопрос о том, кто будет отвечать за причиненный максимально автономным роботом ущерб, предлагается решать с помощью обязательной страховки; то есть в конечном итоге за последствия все-таки отвечает производитель, пусть и в форме страхования. Эксперты также предлагают создать фонд или несколько фондов (по одному на каждую категорию роботов), которые будут пополняться за счет отчислений от производителей и расходоваться на компенсацию ущерба от действий роботов.

Обсуждается также создание специальной хартии робототехники, в которой будут описаны этические принципы разработки автономных аппаратов. Они таковы:

- роботы должны действовать в интересах людей;
- роботы не должны вредить человеку;
- польза, которую приносят роботы, должна быть доступной всем, в особенности это касается медицинских роботов.

Принципы эти схожи с законами робототехники Азимова. Предполагается, что любой разработчик роботов должен иметь их в виду при создании новых аппаратов. Исходный код роботов должен быть открыт для возможности расследования инцидентов. По тем же соображениям должна быть доступна история действий робота. При этом важно, чтобы дискуссия при создании хартии была междисциплинарной, с участием философов, инженеров, социологов, иных специалистов, а также гармоничной, когда идеи для регулирования должны выдвигаться теми, кто понимает их содержание и последствия принятия. Она должна быть основательной, поскольку поспешно вносимые в законодательство изменения обычно не отличаются высокой результативностью. Когда в законах и подзаконных актах появляются «заплатки», это может решать какие-то локальные задачи, но противоречить другим нормам, вследствие чего страдает терминология, возникают правила, не соотносимые с самой технологической природой процессов и вещей.

По данным ООН, к 2020 г. роботы будут не только пылесосить полы и стричь лужайки, но и охранять дома, работать пожарными, обучать пожилых людей овладению новой, более сложной техникой, принимать участие в воспитании детей и т.п. И это только о применении роботов в быту. Научные эксперименты, военные нужды, медицина и иные направления применения роботов делают прогресс их развития неизбежным, а стало быть, и законодательство будет развиваться в соответствии с нуждами прогресса. А согласно мнению известного британского футуролога из British Telecom Яна Пирсона в 2020 г.

электронные формы жизни получают конституционные права во многих государствах. Конечно, исходя из уровня развития технологий и массовости роботов, сегодня правовой статус роботов – это фантастика. Но с точки зрения научно-технического прогресса и наблюдаемого ускорения развития человечества в технологической сфере – все это ожидает нас в не очень отдаленном будущем. В настоящее время невозможно даже предположить, что же произойдет, когда эти сложные системы станут слишком «умными» и за счет самообучения в процессе самостоятельного взаимодействия с внешней средой начнут действовать вне рамок заложенных программ, на основе приобретаемого опыта развиваться и пополнять состав изначально заложенных алгоритмов и правил.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Три закона робототехники // ProROBOT. [Режим доступа URL: <http://www.prorobot.ru/slovarik/robotics-zakon.php>].
2. The Singularity Institute for Artificial Intelligence // Encyclopedia "SEO: Retrieval". [Режим доступа [http://www.seobuilding.ru/wiki/Singularity\\_Institute\\_for\\_Artificial\\_Intelligence](http://www.seobuilding.ru/wiki/Singularity_Institute_for_Artificial_Intelligence)].

Научный руководитель: М.А. Макиенко, к.ф.н., доцент кафедры ИФНТ ИСГТ ТПУ.

### **УРОВНИ МОТИВАЦИИ К ОВЛАДЕНИЮ ТВОРЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТЬЮ В ОБЛАСТИ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ»**

Т.В. Мясникова

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Современные зарубежные и отечественные разработки электротехнического оборудования для энергетики так или иначе связаны с идеями создания «Интеллектуальной электроэнергетики». В настоящее время значительно повысился интерес к промышленному внедрению технологий управляемых (гибких) линий электропередач (FACTS) и комплексному решению проблемы преобразования электроэнергетики в рамках «умных» линий электропередач [1].

При этом реализация новых технических решений, заменяющих применение технологии, может вызвать существенные проблемы, обусловленные совместимостью нового и эксплуатируемого оборудования, технологий, и затратами на обслуживание [1], а также проблемами подготовки высококвалифицированных кадров для «Интеллектуальной электроэнергетики». Специалисты в данной отрасли должны быть компетентными, свободно владеть своей профессией и ориентироваться в смежных областях деятельности, уметь эффективно организовывать работу на уровне мировых стандартов, проявлять творчество и самостоятельность.



Эти требования к специалистам для «Интеллектуальной электроэнергетики» обусловлено самой концепцией «Smart Grid», которая указывает на необходимость кардинальных преобразований. Перечислим некоторые из них [1]:

- быстрое развитие технического прогресса, и в первую очередь приборов силовой электроники;
- возрастающих рост требований потребителей;
- наметившееся снижение надёжности, в том числе увеличивающийся рост износа оборудования;
- произошедшие изменения условий работы электроэнергетического рынка;
- необходимость повышения требований энергоэффективности, энергосбережения и безопасности, в том числе экологической.

Таким образом, перед организациями высшего образования, реализующих программы по техническим направлениям, стоит задача обеспечить окончательный переход от «усвоения знаний» к активным действиям. Именно такой подход сможет обеспечить специалистов для «Интеллектуальной электроэнергетики». И здесь одним из основных моментов выступает мотив к овладению творческой компетентностью, которая призвана формировать личность готовую и способную овладеть технологией «Интеллектуальной электроэнергетики».

Как известно, подлинным побудителем действия человека выступает мотивация, которая в данном конкретном случае, имеет два составляющих элемента:

1. Мотивация к овладению творческой компетентностью. Она возникает там, где есть соединение запросов логики развития «Интеллектуальной электроэнергетики», и готовность субъекта их реализовывать, т.е. любознательность, интерес к овладению новыми способами деятельности, стремлении глубже познать вновь наблюдаемое или анализируемое, а также в постановке вопросов. Понятием «мотивация к овладению творческой компетентностью» обозначается процесс, в результате которого деятельность для студента приобретает личностный смысл, создаёт устойчивость интереса к ней и превращает внешне заданные цели во внутренние потребности человека.

Мотивация отражает потребность личности в развитии и продуктивной реализации своей творческой компетентности в области «Интеллектуальной электроэнергетики». Её основой выступают высокие притязания специалиста на самореализацию для создания инновационного технологического базиса электроэнергетики, которая принимается им как главный приоритет. Задействование творческой компетентности обеспечивает наилучшее удовлетворение потребности в самореализации, стремление обучаемого выполнить дело на высоком уровне качества везде, где имеется возможность проявить своё личное мастерство.

2. Творческие способности представляют собой сплав многих качеств. Многие учёные связывают способности с особенностями мышления. В

частности, известный американский учёный Гилфорд, занимавшийся проблемами человеческого интеллекта установил, что творческим личностям свойственно, так называемое, дивергентное мышление. Люди, обладающие таким типом мышления, при решении какой-либо проблемы не концентрируют все свои усилия на нахождение единственно правильного решения, а начинают искать как можно больше вариантов. Такие люди склонны образовывать новые комбинации из элементов, которые большинство людей знают и используют только определённым образом, или формировать связи между двумя элементами, не имеющими на первый взгляд ничего общего.

Проблема мотивации к овладению творческой компетентностью для «Интеллектуальной электроэнергетики» возникает в связи с тем, что механизмы саморегуляции, самоуправления уже существуют, но развитие творческой компетентности, ее направленности еще не завершено. Как показывает ряд современных исследований, развитие сознания молодёжи зависит от трех основных факторов:

1. от внешних социальных условий;
2. от механизма передачи социального опыта – системы образования, воспитания, содержания и направленности государственной молодёжной политики;
3. от того, какое отражение данный социальный опыт найдёт в сознании в виде интересов, ценностей, ролевых установок, социальных стереотипов и др.

Что касается внешних социальных условий, то, по мнению ученых, построение интеллектуальной сети должно стать стратегическим курсом развития распределительного электросетевого комплекса, подразумевающим четыре основных сегмента совершенствования [2]:

- силового оборудования и технологии передачи и распределения электроэнергии;
- технологического управления;
- специализированных коммуникационных и информационных устройств;
- автоматизированных систем учета и управления электропотреблением.

Необходимо так же отметить, что реализация мотивов к овладению творческой компетентностью обусловлена не только механизмом передачи социального опыта, но и тем, насколько творческие ценности воспринимаются ещё и педагогом как жизненно важные. При этом задача педагога состоит в следующем [3]:

- создать условия, при которых каждый студент стремиться проявить творческие возможности, плодотворно организовать творческую деятельность, отстаивать свои позиции, наладить доброжелательные отношения в коллективе;
- создать условия, необходимые студенту для того, чтобы он состоялся как профессионал, в котором заинтересованы будущие работодатели.

С позиций системного подхода, предполагается полученный результат оценивать по уровню сформированности психологической системы деятельности обучающегося, а также по уровню развития общего, технического интеллекта (различных интеллектуальных, в том числе творческих способностей) [4].

Потребности, трансформированные в мотивы, способствуют формированию различных уровней мотивации к овладению творческой компетентностью для «Интеллектуальной электроэнергетики». Было выделено четыре уровня:

1. Низкий уровень мотивации к овладению творческой компетентностью для «Интеллектуальной электроэнергетики» связан с тем, что потребность в развитии творческой компетентности побуждается внешним социальным или узколичностным мотивом (должностные обязанности, служебная карьера и т.д.).
2. Средний уровень мотивации достигается тогда, когда потребность личности находит себя в дисциплинах и модулях учебного плана, которые являются необходимыми для «Интеллектуальной электроэнергетики». Можно сказать, что такая «предметная потребность» станет внутренним мотивом к овладению творческой компетентностью для «Интеллектуальной электроэнергетики».
3. Уровень вышесреднего связан с тем, что потребность личности находит себя как в дисциплинах и модулях учебного плана, так и в работе студенческого научного общества (СНО). Такое сочетание также может стать внутренним мотивом.
4. Высокий уровень мотивации отражает потребность личности в развитии и продуктивной реализации своей творческой компетентности для «Интеллектуальной электроэнергетики». Ее основой выступает высокое притязание специалиста на самореализацию, которая принимается как главный приоритет. На данном уровне заметную роль играет мотивация достижений. Она характеризуется стремлением личности выполнить задание на высоком уровне качества.

Описанные уровни мотивации к овладению творческой компетентностью для «Интеллектуальной электроэнергетики» показывают направление процесса формирования мотивов. Однако достижение высоких уровней не обязательно предполагает прохождение всех более низких [5]. При определённой организации учебной деятельности большинство обучающихся может с самого начала работать на уровне вышесреднего и высокий, не проходя уровней низкий и средний. Но если у обучающегося сложилась низкая мотивация, то задача преподавателя - обнаружить ее и найти способы коррекции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бурман А.П. и др. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: Учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 336 с.

2. Егоров В., Кужеков С. Интеллектуальные технологии в распределительном электросетевом комплексе // ЭнергоРынок. - 2010. - №6. - С. 26-28.
3. Мясникова Т.В., Емельянова М.В. Научно-методическая деятельность с преподавателями по реализации творческих возможностей студентов технического профиля // Проблемы современного педагогического образования. - 2016. - N51(6) - С. 294-300.
4. Мясникова Т.В. Индивидуальный образовательный маршрут как технология повышения эффективности подготовки специалистов по программам бакалавриата (направление подготовки 140400) // Региональная энергетика и электротехника: проблемы и решения. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. - С. 347-352.
5. Талызина Н.Ф. Педагогическая психология: Учеб. пособие для студ. сред. пед. учеб. заведений. - М.: Издательский центр «Академия», 1998. - 288 с.

## **МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНЦИЙ В ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ В ОБЛАСТИ SMART SYSTEMS**

А.М. Каргин

Томский политехнический университет  
ИНК, ОТСП, группа 1ВМ71

Требования к развитию интегрированной интеллектуальной образовательной среды, основаны в достаточной степени на развитии «Умных технологий», а именно интенсивности их проникновения в повседневную жизнь.

На сегодняшний день в современном образовании осуществляется переход от классического обучения к «Умному» электронному обучению. Понятие Smart (Умного) образования – под собой подразумевает большой объем образовательных источников, максимальное разнообразие мультимедийных образовательных программ, которые приспособлены под уровень и потребности слушателя [1].

Для успешного развития «Умного образования», влияние только человеческого капитала недостаточно. Необходимо изменить саму образовательную среду, не просто увеличить объемы поступающей образовательной информации, а изменить содержание самой системы образования. Ее методы, инструменты и среда должны измениться качественно, переход к Умному образованию необходим!

Концепция Smart-образования – гибкость, предполагающая наличие большого количества образовательных источников, максимальное разнообразие мультимедиа, способность быстро и просто настраивается под уровень и потребности обучаемого.

Перенос данной концепции на образование находится в начальной стадии, термины и основные понятия проходят процесс формирования. Скорость возникновения новых технологий в последнее десятилетие значительно вырос-

ла, каждый год производители предлагают новые устройства для профессиональной деятельности и коммуникаций [1].

Новые интеллектуальные SMART-технологии требуют изменения платформ, используемых для передачи знаний и широкого использования SMART-устройств. Электронное образование должно стать одной из самых быстро развивающихся отраслей как с точки зрения содержания, так и с точки зрения технологий и методов обучения [1].

Скорость развития знаний и технологий должна рассматриваться как критерий качества системы образования.

Современное общество 21-го века находится на этапе изменения технологической парадигмы. Информационные технологии, которые определили сущность XXI веков, уступают дорогу «Умным технологиям», открывающим новый способ развития - Умная экономика, Умное образование, Умное общество. Изменение среды обучения: переход к беспроводной сети, распространение умных терминалов, развитие Интеллектуальных устройств.

Развитие Smart - образования - это новое качество общества, в котором совокупность использования подготовленными людьми технических средств, сервисов и Интернета приводит к качественным изменениям во взаимодействии субъектов, позволяющим получать новые эффекты - социальные, экономические и иные преимущества для лучшей жизни. Среда Smart-обучения - это конвергенция ИКТ и инфраструктуры Интернета (слияние онлайн-распределения программного обеспечения и контента в форме мультимедиа) [2].

Ключевые аспекты современного Умного обучения:

- использование интерактивных устройств;
- открытые и доступные образовательные ресурсы;
- системы управления.

Улучшение существующей системы образования согласно новым требованиям Умной экономики и Умного общества - главная причина для уместности введения Smart-обучения (умного обучения). Основная сущность которого, заключается в формировании информации и технологической компетентности педагогов электронной окружающей среды.

В связи с введением «Умных образовательных проектов» нацеленных на реализации объявленного ЮНЕСКО ведущего принципа формирования 21-го века "образование для всех" и "образование через всю жизнь" - будет создано "Life Long Learning (LLL)".

Умное обучение позволит увеличивать доступность образования учителей "всегда, везде и в любое время", даст шанс независимо развивать траекторию профессионального роста, будет выравнивать образовательный уровень учителей города и сельских школ, откроет путь к международному образовательному пространству.

В свете вышеупомянутого, в частности, перед преподавателями стоит вопрос того, как обучать современного ученика в среде Умного образования. Оно должно быть легко управляемым, чтобы обеспечить организованность образования и гибкость образовательного процесса, и быть объединенным с внешними источниками [2].

Методология формирования и оценки компетенций в подготовке инженеров. Полагаем, что необходимо дать определение оценке компетенций (рис.1).

Оценка компетенции – набор инструментов и методик, позволяющих на основе анализа результатов оценочных мероприятий, разрабатывать и совершенствовать методы обучения и развития персонала с учетом индивидуальных результатов оценочных мероприятий для должности инженера- тесты, кейсы, опросы, анкетирование, центры оценки, моделирование условий и процессов работы, экзамен, ролевая игра, аудит, тайный покупатель, самооценка, рейтинги) [3].

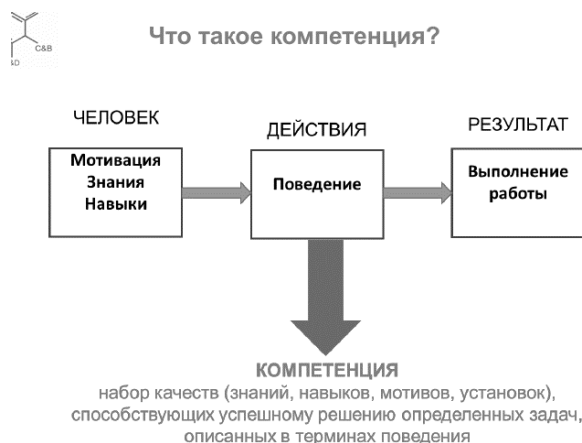


Рис.1. Определение оценки компетенций [3].

Модель компетенций – это набор требований, предъявляемых к сотруднику на определенной должности с учетом стратегических целей обучения. Или - совокупность знаний, навыков, деловых и личностных качеств, позволяющая будущему инженеру успешно действовать при реализации поставленных задач. Идеальный профиль – идеальная степень выраженности тех или иных компетенций. Личностные опросники - состоят из списка вопросов или суждений. Благодаря тому, что в опроснике можно спросить про что угодно, существует много разных типов опросников разного предназначения. К личностным опросникам относятся: Ноган, ММРІ и 16-PF, диагностика темперамента по Стреляу, Айзенку, Русалову и простые опросники, состоящие из 10-20 вопросов. Как правило личностные опросники диагностируют особенности характера, темперамента, межличностных отношений, мотивационную и эмоциональную сферу. Тесты способностей- батареи вопросов, направленных на диагностирование уровня общих или специализированных способностей будущего инженера: интеллекта, креативности, вербальные способности, абстрактное мышление [4].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Разводин Р.А. Оценка эффективности системы дистанционного обучения // Курский научно-практический вестник "Человек и его здоровье". 2016. №4. С.49-53
2. Popova N.R., Popov A.L., Shcherbakov A.B., Ivanov V.K. Layer-by-layer capsules as smart delivery systems of CeO<sub>2</sub> nanoparticle-based theranostic

agents // Наносистемы: физика, химия, математика. 2017. №2. С.282-289

3. Сырецкий Г.А. Искусственный интеллект и производственная безопасность: настоящее и будущее // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. №1. С.112-117
4. Marina Boykova, Irina Ilina, Mikhail Salazkin The Smart City Approach as a Response to Emerging Challenges for Urban Development // Форсайт. 2016. №3 (eng). С.65-75

Научный руководитель: А.Ю. Чмыхало, к.филос.н., доцент каф. ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## **ВЛИЯНИЕ ТРЕНИНГОВ НА КАЧЕСТВО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА СТУДЕНТОВ**

А.В. Кожина<sup>1</sup>, В.С. Старшинов<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИК, СУМ, группа 8Д61<sup>1</sup>  
ИСТ, группа 8ИМ71<sup>2</sup>

Статья посвящена исследованию влияния тренингов в контексте неформального образования на процесс формализованного стандартного образования студентов и выявлению значимости внедрения новых способов подачи информации. В результате исследования установлено, что внедрение тренерских методик и технологий благотворно влияют на адаптацию студентов к получаемой профессиональной информации, на усваивание теории и способности применять полученные знания на практике.

Актуальность данного исследования состоит в том, что оно может способствовать улучшению образовательного процесса, что позволит НИ ТПУ выйти на качественно новый уровень развития и соответствовать признанным мировым сообществом стандартам качества в области образования.

Тотальная перестройка системы образования в ходе проводимой в настоящее время образовательной реформы подразумевает переход к новым методикам образовательного процесса студентов, нацеленных на развитие творческой активности личности, повышению качества знаний, а также опирающихся на доступность предлагаемой информации для студентов. В связи с этим образовательный процесс студентов нуждается в новой системе подходов, образовательных технологий, влияющих на профессиональную подготовку современного специалиста, способного самостоятельно решать как научно-технические и инженерно-конструкторские задачи, так и задачи, связанные с эффективным распределением своего времени, организацией своего учебного процесса непосредственно, а так же способного решать задачи не только логическим методом, но и эвристическим. В сложившейся ситуации одной из основных задач, направленных на повышение качества образовательного процесса, является подготовка компетентного, гибкого студента, способного к продуктивной про-

фессиональной деятельности, к быстрой адаптации в нестандартных условиях, владеющего технологиями личностного развития, способного использовать полученные знания при решении сложных задач. На практике далеко не всегда специалисты с высшим образованием способны реализовать подобные задачи, т.к. традиционная подготовка специалистов, ориентированная на формирование знаний, умений и навыков в предметной области, всё больше отстаёт от современных требований. Основой образования сегодня должны стать не столько учебные дисциплины, сколько способы мышления и деятельности.

В связи с перечисленными целями и задачами все чаще встает вопрос о введении в образовательный процесс студентов методов и технологий неформального образования, как дополнительного. Актуальность данного исследования состоит в том, что оно может способствовать улучшению самого образовательного процесса.

Современные тенденции в неформальном образовании состоят в том, что между неформальным образованием и формализованным стандартным устанавливаются отношения взаимодополнения. Неформальное образование становится платформой для новых форматов обучения, для выработки новых стандартов, технологий и методов. В педагогической практике существует много примеров вовлечения подрастающего поколения в различные виды неформального образования: участие в слетах, педагогических и студенческих отрядах, летних лагерях добровольческого труда, экологическому благоустройству, поисковой деятельности.

Успешное взаимодополнение формального и неформального образования студентов в конечном итоге может привести к достижению поставленных целей по нескольким направлениям и будет способствовать:

- формированию и утверждению позитивной, активной личности студента;
- быстрой адаптации к любым требованиям и условиям работы;
- увеличению значимости образования, повышение общей и профессиональной компетентности студентов;
- увеличению и востребованности новых знаний и умений, формированию устойчивой мотивации к обучению в течении всей жизни;
- реализации способности студентов к стратегическому планированию;
- дальнейшему расширению возможностей по нахождению творческих путей решения поставленных задач;
- наиболее эффективному применению полученных теоретических и практических знаний для осуществления общественно значимых видов деятельности участниками детских и молодежных общественных объединений.

К характеристикам конкретно тренерской деятельности в контексте неформального образования относятся:

- личный подход к каждому студенту, ориентация на запросы группы;
- особое внимание к образовательным потребностям студентов;



- высокий уровень персональной активности обучающихся, отсутствие принудительного характера, основанность на собственной мотивации;
- внутренняя ответственность обучающихся за результат образовательной деятельности, высокий личностный смысл обучения;
- развитие качеств личности, обеспечивающих благоприятные предпосылки для достойной жизни, а также успешного участия в общественной, научной и трудовой деятельности;
- гибкость в организации и методах обучения;
- организация отношений между участниками образовательного процесса на взаимном уважении, участии.

Одним из примеров успешного взаимодополнения формального и неформального образования студентов являются тренинг, направленные на командообразование. Тренинги по командообразованию помогают улучшить процесс взаимодействия между членами коллектива, добиться высоких результатов деятельности студентов так же в учебном процессе. Программы и упражнения разработаны с целью создания позитивных перемен социально-психологического характера. В дальнейшем это помогает эффективно работать в реальных условиях, способствует общему организационному развитию группы.

Тренинг по командообразованию относится к системе активного обучения, направленной на:

- развитие коммуникативных навыков участников;
- усовершенствование способов общения в команде;
- освоение навыков обратной связи;
- оттачивание процессов принятия решений с учетом мнения всех членов команды;
- получение удовольствия от совместных видов деятельности;
- формирование стандартов позитивности социального окружения.

Применяя тренинги командообразования, тренеры ставят перед собой основную задачу: показать преимущества командной работы, прививать умение доверять, формировать командный дух. Группе студентов предстоит дальнейшая совместная работа, которую организовать более эффективно помогут тренинги. Упражнения на тренингах командообразования разрабатывают с учетом решения следующих задач:

- создание полезных неформальных отношений;
- повышение опыта командного взаимодействия;
- понимание личностных особенностей друг друга;
- установление доверительных отношений;
- умение принимать решения с учетом мнения всех членов одной команды.

Например, упражнение на командообразование «Тропинка». Основная цель тренинга заключается в проведении испытаний на определение сплоченности и терпения команды. Сценарий рассчитан на проявление командных ролей участников. Весь процесс занимает 30-40 минут. Количество человек в группе варьируется от 8 до 30 человек, в зависимости от состава группы.

В учебной аудитории необходимо выложить змейку из скотча и бумаги формата А-4. Шаг змейки должен быть достаточно большим. Тренер поясняет, что перед участниками ядовитое болото. Начало и конец расположен в зоне змейки. Преодолевая болото, необходимо соблюдать определенные правила: находиться в контакте со всеми участниками команды, разрыв связки означает, что начинать проходить болото придется заново. Касание земли приравнивается к тому, что участник начинает тонуть. Команда проходит этап игры сначала. В итоге тренер задает участникам вопросы, получает на них ответы и анализирует ситуацию. Достигли ли вы цели? Что помешало? Можете ли гордиться результатами? Какие выводы сделали из упражнения?

Реализуемые в настоящее время программы неформального образования, с включением в него тренерства как элемента, всецело обогащают и улучшают качество получаемого образования благодаря широкому вовлечению студентов в образовательный процесс, адаптации к сложным профессиональным дисциплинам, развитию личности и т.д. Неформальное образование участников общественных объединений носит постоянный и систематический характер. Такое включение тренерства в образовательный процесс обучения студентов повышает качество освоения преподаваемых профессиональных дисциплин. Программы тренерской деятельности способны воспитывать у студентов лидерские и конкурентоспособные качества, усиливать интерес к процессу обучения и обеспечивают студентам возможность систематизированного и организованного осуществления образовательной деятельности.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Мальгин В.Е., Щергунова Н.В. Неформальное образование: сущность и перспективы детских и молодежных неформальных объединений // Молодой ученый. — 2014. — №13. — С. 267-269.
2. Чупрова Л.В. Проблема совершенствования образовательного процесса в вузе // Педагогика: традиции и инновации: материалы Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, октябрь 2011 г.). Т.П. — Челябинск: Два комсомольца, 2011. — С. 100-102.

Научный руководитель: И.Б. Ардашкин, д.ф.н., профессор каф. ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## КУРАТОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕКУЛЬТУРНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТОВ

А.В. Кожина<sup>1</sup>, В.С. Старшинов<sup>2</sup>  
Томский политехнический университет<sup>1,2</sup>  
ИК, СУМ, группа 8Д61<sup>1</sup>  
ИСТ, группа 8ИМ71<sup>2</sup>

В настоящее время остро стоит вопрос формирования личности, компетентной в профессиональной деятельности, способной к социальной адаптации, к творческому поиску и уверенной в своем месте в постоянно меняющемся мире. Успешная адаптация в студенческой жизни является началом дальнейшего развития каждого студента как специалиста в выбранной области, именно поэтому в вузовской среде необходимо такое направление как кураторская деятельность [1].

В Томском Политехническом университете для помощи в адаптации первокурсников имеются следующие подразделения кураторской деятельности: Институт кураторов и Студенческий совет кураторов. Институт кураторов был создан в 2002 году в целях совершенствования воспитательной работы со студентами. Как правило, данными кураторами являются преподаватели с кафедр, на которых группа проходит обучение. Кураторы обеспечивают адаптацию первокурсников в рамках учебной и социальной деятельности, формируют у студентов необходимые профессиональные и общекультурные компетенции, помогают студентам в выборе личной образовательной траектории и вовлекают в научную деятельность. Студенческий совет кураторов – молодежное общественное движение, которое состоит из активных студентов старших курсов, готовых помогать первокурсникам преодолеть основные сложности, с которыми сталкивается почти каждый первокурсник. Такие студенты проходят предварительную подготовку в школе кураторов, где происходит обучение эффективному взаимодействию с группой, ораторскому искусству, основам ведения тренингов и идее наставничества в целом. Данное движение образовалось в 2004 году благодаря студентам Элитного технического образования, позже студенческое кураторство стало развиваться благодаря кураторам Энергетического института. Максимальное развитие студенческое кураторство приобрело в 2017 году, когда студенческий совет кураторов вошел в совет студентов ТПУ. Целью деятельности Студенческого совета кураторов является повышение эффективности адаптации первокурсников. Студенческий совет кураторов обеспечивает информирование и активное вовлечение студентов первого курса в различные направления внеучебной деятельности, оказывает помощь кураторам в формировании у студентов необходимых профессиональных и общекультурных компетенций [2,3].

Образовательные программы в ТПУ позволяют сформировать у выпускника инженерных специальностей способность побеждать в условиях конкуренции и работать в команде. Для того, чтобы успешно работать в команде над поставленной задачей, необходимо заняться развитием социальной компетен-

цией студента. Социальная компетентность является базисной, интегральной характеристикой личности, отражающей её достижения в развитии отношений с другими людьми, обеспечивающей полноценное овладение социальной реальностью и дающей возможность эффективно выстраивать своё поведение в зависимости от ситуации и в соответствии с принятыми в социуме на данный момент нормами и ценностями [4].

Структура социальной компетентности содержательно представлена совокупностью политической и социально-экономической, социально-коммуникативной, поликультурной, информационно-инструментальной и индивидуально-личностной компетентностей. В качестве психолого-ориентированных структурных компонентов мы выделяем знания и умения (когнитивный компонент), характеристики мышления (интеллектуальный компонент), опыт поведения, деятельности, общения (деятельностно-поведенческий компонент).

Для формирования социальной компетенции студентов необходимо:

- изучение специальных дисциплин должно быть профессионально ориентировано, благодаря чему развиваются социальные и профессиональные компетенции;
- заложить в основу обучения в вузе принципы интеграции и гуманизации, норм корпоративной культуры, патриотического отношения студентов к стране и вузу, а также толерантного отношения к представителям других национальностей;
- обеспечить право выбора личной образовательной траектории студенту для формирования разносторонних навыков и знаний, которые могут помочь инженеру в рабочем процессе;
- предложить проектную деятельность в качестве инструмента межличностного взаимодействия при реализации поставленных задач [2,4].

Студент-куратор вместе с преподавателем-куратором формируют план работы с группой, на основе которой ведется работа по адаптации. Данными мероприятиями являются «час куратора», посещение музеев, культурно-массовые мероприятия, экскурсии на профильные предприятия и многие другие. Час куратора является важнейшей составляющей в формировании универсальных компетенций студентов, на нем проводятся мероприятия на знакомство и командообразование, целеполагание, тайм-менеджмент. По результатам данных занятий коллектив сплочается, первокурсники узнают новое о своих одноклассниках и себе, воодушевляются на дальнейшую работу и включаются в активную жизнь. Также студенты-кураторы и преподаватели-кураторы консультируют студентов-первокурсников по разным вопросам: от правил проживания в общежитии и культурно-массовых мероприятий до возможности стажировки за рубежом и тематик научных работ в университете.

Благодаря направлению кураторской деятельности и добровольному участию в данной программе кураторов можно сделать вывод, что студенты-первокурсники могут развиваться в интересующих их областях, понять, в какой области они бы хотели работать в дальнейшем и сформировать активную гражданскую позицию.

данскую позицию, в симбиозе данные качества и знания уже поспособствуют развитию профессиональных и универсальных компетенций [5].

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бельская Е.Я. Студенческое кураторство как важная составляющая формирования и развития общекультурных компетенций будущего энергетика [Электронный ресурс] / Е. Я. Бельская, О. С. Цветкова; науч. рук. Е. Я. Бельская // Интеллектуальные энергосистемы: труды III Международного молодёжного форума, 28 сентября - 2 октября 2015 г., г. Томск 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2015. — Т. 3. — [С. 237-241]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader. Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2015/C43/V3/065.pdf>
2. О.А. Никифорова, А.А., Сеченова, И.П. Калинина. Методическое пособие для работы кураторов академических групп: Справочник куратора академической группы 1 курса Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 85 с.
3. Положение о деятельности студентов-кураторов в ТПУ. Утверждена приказом от 04.04.2016 №34/од.
4. Биктагирова Г.Ф. Формирование социальных компетенций студентов педагогических специальностей и направлений // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4748> (дата обращения: 05.10.2017).
5. Бельская Е.Я. Программа адаптации студентов первого курса к вузовской среде [Электронный ресурс] / Е. Я. Бельская, Е. В. Старцева // Лингвистические и культурологические традиции и инновации: тезисы докладов XVI Международной научно-практической конференции, Томск, 11-13 октября 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); под ред. Ю. В. Кобенко ; К. А. Гирфановой. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 168]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37739>

Научный руководитель: И.Б. Ардашкин, д.ф.н., профессор каф. ИФНТ ИСГТ ТПУ.

## СЕКЦИЯ 12. МОЙ ПЕРВЫЙ ШАГ В НАУКУ (ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ)

### БАТАРЕЙКА НА ВОДЕ: ПРОШЛОЕ ИЛИ БУДУЩЕЕ?

М.Р. Жирухин

Лицей при Томском политехническом университете

#### **Актуальность исследования**

Сегодня практически в каждом доме применяются гальванические и аккумуляторные батарейки от 1,2 до 12 В – всем известные источники энергии для портативной переносной техники. Батарейки также очень актуальны для путешественников, оторванных от благ цивилизации. Обычные гальванические батарейки сравнительно недороги, компактны и удобны в использовании. Однако они имеют ряд серьезных недостатков. Например, неаккуратная транспортировка, попадание влаги, резкие изменения температуры сильно снижают срок службы батареек. При коротком замыкании или установке батарейки в неверной полярности возможна течь электролита. Кроме того, гальванические батарейки являются одноразовыми и имеют ограниченный срок годности. Лучшими характеристиками обладают аккумуляторные батарейки, которые можно заряжать от сети и использовать много раз. Но и цена таких устройств существенно выше. Аккумуляторы типа «Прогресс РВ», срок службы которых примерно 12 лет, стоят около 30000 руб. Владельцы аккумуляторов должны помнить, что перепады в напряжении при зарядке могут необратимо испортить такое дорогое устройство. Важно отметить, что существуют серьезные проблемы с утилизацией батареек и аккумуляторов, их нельзя выбрасывать вместе с бытовым мусором, так как на свалке они из-за неблагоприятных факторов хранения выпускают наружу сильнейшие яды, отравляющие воду, землю и воздух.

Возможно ли создание батарейки, лишенной указанных недостатков? В 1804 г. в печати было описано изобретение русского физика Василия Петрова, который соорудил электрическую батарею из 4200 чередующихся цинковых и медных кружков, разделенных тканью и залитых обычной пресной водой. Напряжение батареи впечатляло – 1500 В, но и габариты были довольно внушительны – 40х200 см.

#### **Цель исследования**

Целью исследования является создание батареи со стабильным напряжением 12 В, дружественную к экологии, компактную и удобную в использовании для питания портативной бытовой техники.

Первым шагом работы было определение необходимого числа пар пластин медь-цинк и их габаритов. Проведенные опыты показали, что от площади пластин напряжение зависит очень незначительно и составляет 0.7–0.8 В на пару. Ток от площади пластин зависит и увеличивается примерно на 30% при увеличении площади пластин с 25 см<sup>2</sup> до 100 см<sup>2</sup>. Напряжение между парой пластин тем больше, чем меньше расстояние между пластинами, поэтому в каче-

стве водонепроницаемого изолятора была использована тонкая синтетическая ткань.

Каждая пара пластин размещается в отдельной ячейке (рис. 1). С помощью перемычки пластины приклеиваются друг к другу и после высыхания клея дополнительно промазываются по швам герметиком. Число ячеек в батарее – 16, что обеспечивает напряжение 12.2 В. Пластины в соседних ячейках соединены попарно (медь-цинк) короткими (1,5 см) медными проводниками. Все ячейки помещаются в жесткий чехол с отверстиями для выводов (рис. 2).

Для батареи может быть использована обычная водопроводная вода. Эксперименты показали, что мощность батареи увеличивается примерно на 15-20%, если подсолить воду, но тогда на пластинах появляется окисная пленка и их требуется очищать каждые 3 дня, иначе напряжение через 10 дней снижается практически на 60%. Оптимальный результат был получен при применении дистиллированной воды.

### **Принцип действия устройства**

Пара цинк – медь представляет собой гальванический элемент (элемент Даниэля-Якоби), который преобразует химическую энергию, заключенную в реагентах (окислителе и восстановителе), в электрическую. В процессе окислительно-восстановительной реакции восстановитель отдаёт электроны, то есть окисляется; окислитель присоединяет электроны, то есть восстанавливается, причём эти реакции происходят одновременно, в единстве, без отрыва одного от другого.

### **Преимущества изготовленной батареи**

Стоимость материалов для одного устройства несопоставимо мала по сравнению с аккумуляторами, имеющимися в продаже. Срок годности при грамотной эксплуатации и срок хранения временно неиспользуемой батареи, если пластины сухие, практически неограниченны. Батарея экологически безопасна, все ее составные части можно утилизировать с бытовым мусором.

Габариты изготовленной батареи больше габаритов стандартных промышленных аккумуляторов, но масса меньше (без воды). Транспортировка батареи в походных условиях удобна, если нести воду в отдельной емкости.

### **Выводы**

Медно-цинковая батарея, обеспечивающая стабильное напряжение 12 В, может быть изготовлена из недорогих материалов, имеющихся в широком доступе.

Длительная экспериментальная проверка показала работоспособность батареи для качественного освещения помещений диодными лампами.

В дальнейшем авторы намерены увеличить мощность батареи для обеспечения качественной зарядки мобильных телефонов. Для этого, в частности, планируется изготовление специальной емкости для размещения пластин с помощью печати на 3D принтере по чертежу рис. 3. В ТПУ имеется возможность напечатать данную деталь бесплатно, стоимость материала оценивается примерно в 600 руб. Опрос 95 респондентов показал, что 84 из них охотно приобрели бы подобную батарею для использования в быту.

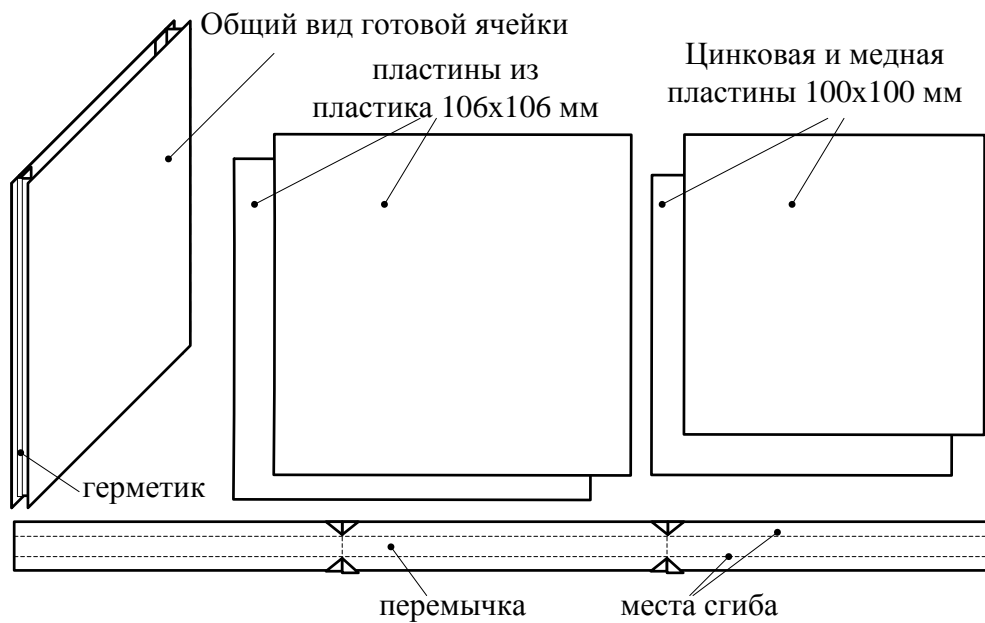


Рис. 1. Пояснения к процессу изготовления ячейки и общий вид ячейки

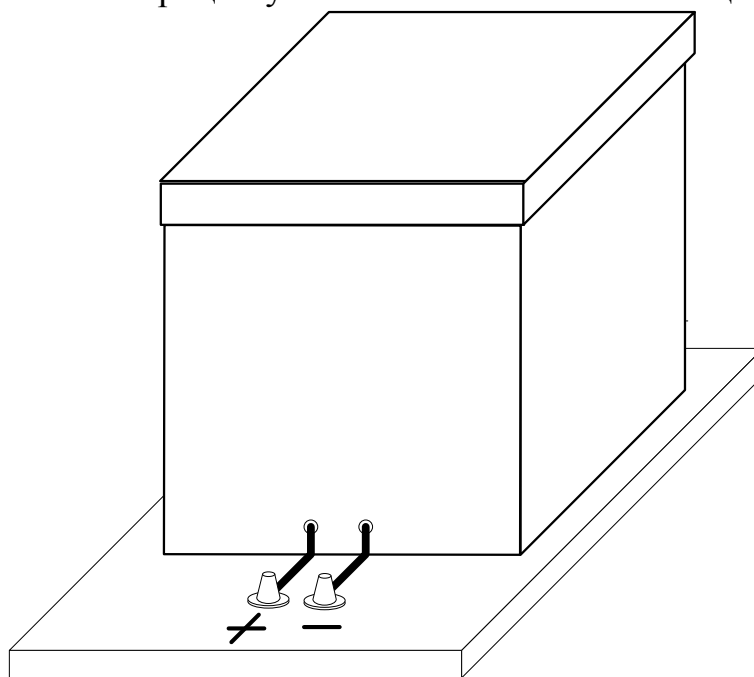


Рис. 2. Внешний вид изготовленной батареи



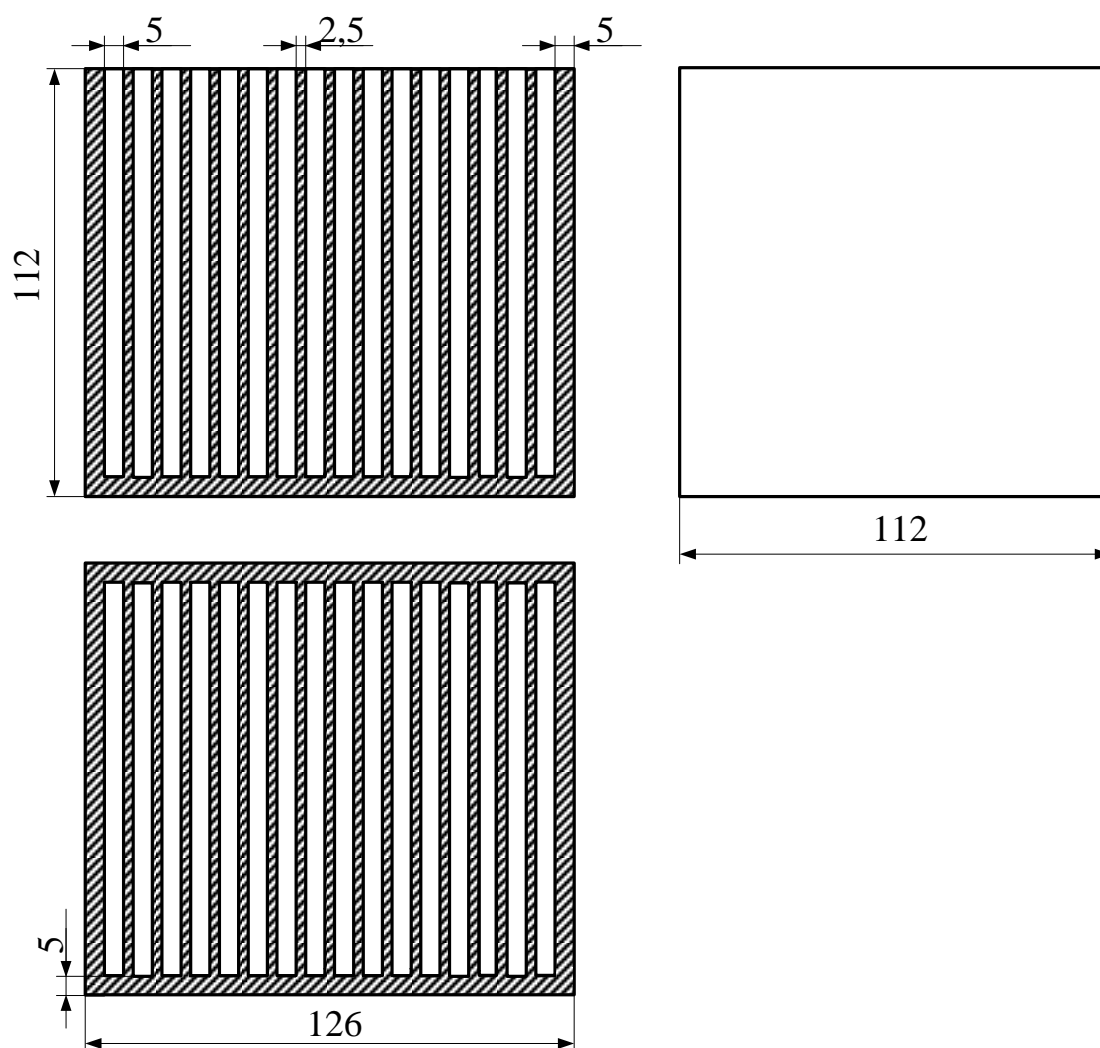


Рис. 3. Чертеж для печати на 3-D принтере, емкость для размещения пластин

Научный руководитель: В.В. Шестакова, доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## ТЕРМОГЕНЕРАТОР

Р.П. Рябинин

МАОУ гимназия № 51 г. Томск

Явление термоэффекта было открыто в 1822 г. немецким физиком Т.И. Зеебеком. Сущность открытия заключается в том, что при нагревании места соединения (спая) двух разных металлов между их свободными концами, имеющими более низкую температуру, возникает разность потенциалов, или так называемая термоэлектродвижущая сила. Если замкнуть такой термоэлемент на сопротивление, то по цепи потечет электрический ток. Таким образом, при термоэлектрическом явлении происходит прямое преобразование тепловой энергии в электрическую.

Целью данной работы является изготовление действующего термогенератора. Для изготовления термогенератора были использованы термопары железо (сталь) – константан, которые были соединены последовательно.

Термоэлектродвижущая сила на каждую пару железо-константан равна 5 мВ при разнице температур нагревателя и холодильника 100 градусов. Термопары соединяются посредством латунных клемм и располагаются на корпусе (рис. 1). Число пар равно 22. Соединяются пары по шаблону рис. 2. Теплоизоляция пар обеспечивается за счет применения термоусадочных трубок.

Корпус термогенератора был изготовлен из фольгированного теплоизоляционного материала, термически устойчивого как к высоким, так и к низким температурам.

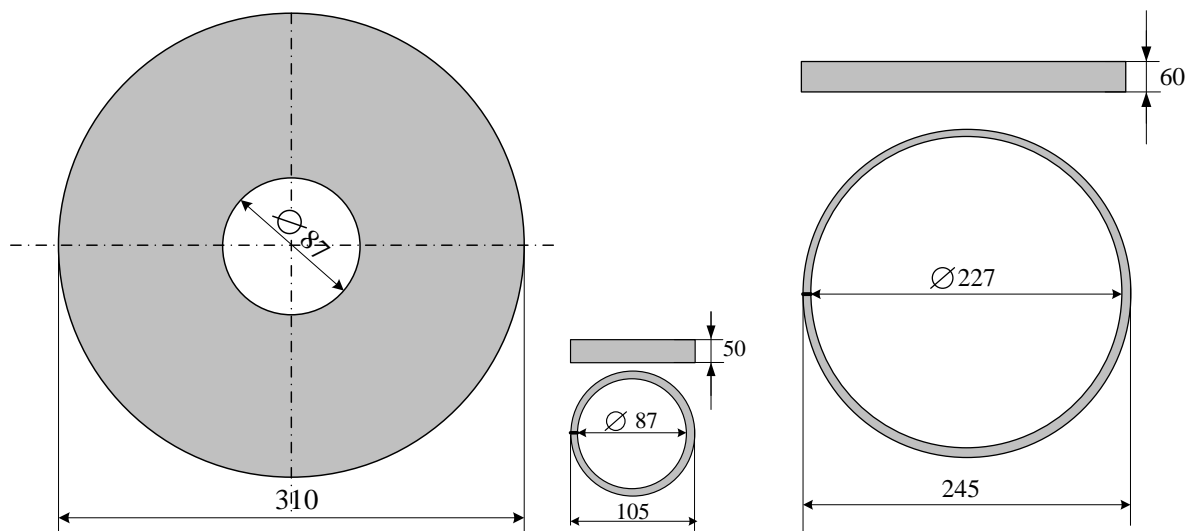


Рис. 1. Подставка, внутреннее кольцо, внешнее кольцо

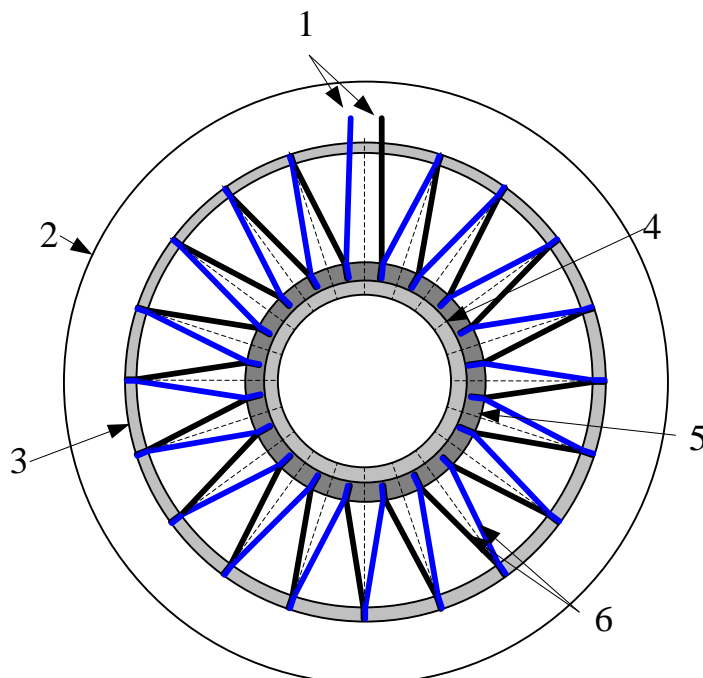


Рис. 2. Корпус термогенератора и термопары (20 пар): 1 – выводы для нагрузки, их длина около 18-20 см, 2 – подставка, 3 – внешнее кольцо, 4 – внутреннее кольцо, 5 – жаропрочная вставка, 6 – термопара

Нагревателем для горячего спая служат свечи для тортов, охладителем для холодного спая – кусочки льда, помещенные в алюминиевые гильзы от свечек. Гильзы приклеиваются на подставку по периметру внешнего кольца.

Теплопередача к горячим спаям от пламени происходит путем конвекции за счет металлических пластин.

Для горячих спаев конвекционные пластины вырезаны в форме креста из стальных полосок. Они механически крепятся на жаропрочной вставке.

Длина одной пластины около 5 см, ширина 1,5 см. Площадь 7,5 см<sup>2</sup>.

Итого на 1 проект нужно  $20 \times 7,5 = 150$  см<sup>2</sup> жести.

Охлаждение холодных спаев термопар от кусочков льда также осуществляется за счет пластин, вырезанных из тонкой медной фольги. Пластины закрепляются на внешнем кольце с помощью клея. Вместо льда может быть применено простое воздушное охлаждение.

Холодные спаи термоэлементов электрически изолированы друг от друга за счет изоляционных свойств внешнего кольца, а горячие – за счет изоляционных свойств кольца из жаропрочной резины.

Изготовленный термогенератор имеет 22 термопары и обеспечивает напряжение холостого хода около 100 мВ.

Научный руководитель: В.В. Шестакова, к.т.н., доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ РАБОТЕ С НЕЙТРОННЫМ ИСТОЧНИКОМ**

В.А. Туркасов

МБОУ Лицей при ТПУ г. Томск

Ядерные технологии в наши дни получили широкое распространение в промышленности и науке. В частности, используется нейтронный источник Am-Li. Принцип работы такого источника основан на испускании альфа-частицы со стороны альфа-активного изотопа на лёгкий металл с целью выбивания нейтрона. Такой источник имеет сплошной спектр нейтронов и высокий фон гамма-излучения. Отсюда вытекает необходимость соблюдать нормы радиационной безопасности при работе с такими источниками.

Согласно НРБ-99/2009 средняя плотность потока нейтронов с энергией 4 МэВ не должна превышать 13,1 см<sup>-2</sup>\*с<sup>-1</sup> для нейтронных источников, а суммарная мощность дозы от нейтронного и гамма-излучения не должна превышать значение в 2 мкЗв/ч. Соответственно эти требования должны быть соблюдены при работе с источниками ионизирующего излучения.

Известно, что плотность потока нейтронов, как и мощность дозы ионизирующего излучения, от точечного источника убывает с расстоянием. В соответствии с этим была поставлена следующая цель: нахождение распределения плотности потока нейтронов и мощности дозы смешанного поля ионизирующего излучения для изотопного источника Am-Li, в зависимости от расстояния до источника.

Распределение плотности потока нейтронов в зависимости от расстояния до источника и мощность дозы от нейтронного излучения регистрировалось с

помощью блока детектирования БДКН-03, а мощность дозы гамма-излучения – с помощью БДКГ-05. Информация с блоков детектирования записывалась в непрерывном режиме на ПК с помощью профильного программного обеспечения Atomtex.

В результате работы было получено рекомендуемое минимальное расстояние для работы с данным источником с целью обеспечения радиационной безопасности, которое составило 30 см.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бекман И.Н., Радиоактивность и радиация: Москва 2006. – 581с.
2. РАДИАЦИЯ. Дозы, эффекты, риск. Перевод с английского Ю.А. Банникова. М. «Мир» 1990. – стр. 12.

Научный руководитель: С.С. Чурсин, ассистент кафедры ФЭУ ТПУ.

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТОПЛИВА – ВОДОРОДА**

П.А. Колесникова, Д.С. Колупаева  
МБОУ СОШ №120 г. Новосибирск

В нашем мире много проблем - одна из них экология. Ухудшение экологического состояния воздушного бассейна представляет существенную опасность для большинства живых организмов. Значительную проблему создает автотранспорт, работающий на традиционном жидком топливе. Частичным решением данной проблемы является замена основного топлива на более экологичное - газомоторное. Поскольку метан и пропан-бутан дешевле жидкого топлива, перевод автотранспорта на него позволит снизить денежные затраты. Высокое обогащение такого топлива водородом приведет к повышению температур сгорания и большей экологичности. Кроме того, данный вид топлива находит свое применение в жилищно-коммунальном хозяйстве, газотурбинных агрегатах, топливных элементах и др.

Традиционные способы получения водорода малоэффективны для достижения поставленной цели по ряду причин, таких как большая энергозатратность, длительность, сложность процесса и условий проведения реакции, большие выбросы оксидов углерода в атмосферу.

Альтернативным способом получения метано-водородной смеси является каталитический пиролиз легких углеводородов. Данный процесс осуществляется при относительно низких температурах (500-700°C) на Ni-содержащих катализаторах, в ходе реакции мы получаем побочный продукт – нановолокнистый углерод (НВУ), который сможем использовать далее. В предлагаемой технологии метано-водородная смесь производится в одну стадию.

Основной проблемой процесса является быстрая дезактивация катализатора, причина которой связана с покрытием активного центра углеродным материалом.

В ходе исследования были протестированы катализаторы с процентным содержанием никеля 10-90 %. По результатам экспериментов было установлено, что при повышении давления и понижением температуры увеличивается жизнь катализатора и выход водорода. При давлении 1 атмосфера время жизни катализатора составило 2 часа, удельный выход водорода 20 л./гр. кат. При повышении давления до 5 атмосфер время жизни катализатора увеличилось в 16 раз и составило 32 часа, а удельный выход водорода 784 л./гр. кат.

В данной работе представлена высокоэффективная технология получения метано-водородного топлива и нановолокнистого углерода с минимальным ущербом для окружающей среды и относительно низкими затратами. Также установлено, что увеличение давления благотворно влияет на протекание процесса.

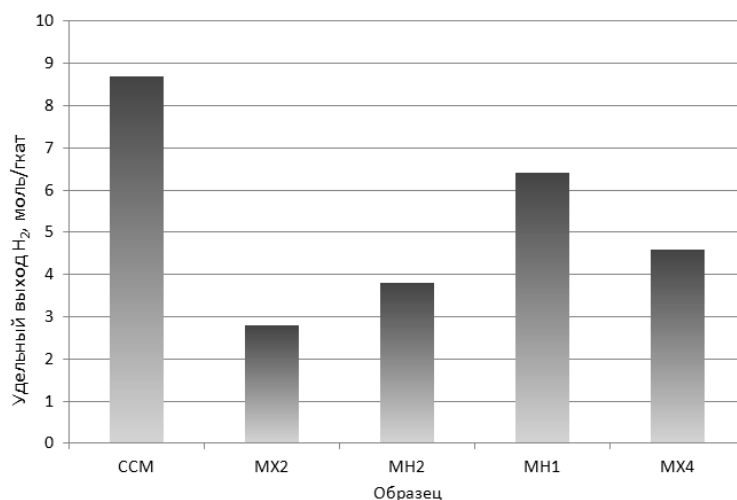


Рис. 1. Удельный выход водорода для полученных катализаторов

На рисунке 1 показано, что наибольший выход водорода достигался на катализаторе ССМ, приготовленного по методу сплавления солей металлов. Его значение составило чуть меньше 9 моль/г<sub>кат</sub>. Чуть меньший удельный выход был получен на катализаторе МН1 – около 6 моль/г<sub>кат</sub>. Удельный выход катализаторов МХ2, МН2, МХ4 варьировался в диапазоне от 2,8-4 моль/г<sub>кат</sub>. Таким образом, показано перспективность использования катализатора, приготовленного методом сплавления солей металлов.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Muradov N. Thermocatalytic CO<sub>2</sub>-free production of hydrogen from hydrocarbon fuels // Proceedings of the 2002 U.S. DOE Hydrogen Program Review, Florida Solar Energy Center. – 2002. P. 1-19
2. Ermakova M.A., Ermakov D.Y., Kuvshinov G.G. Effective catalysts for direct cracking of methane to produce hydrogen and filamentous carbon: Part I. Nickel catalysts. Appl. Catal., A 2000, – P. 61-70
3. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Майстренко Г.В. Влияние добавки водорода к природному газу на свойства смесевоего топлива // Автомобильный транспорт. – 2009. - №24. – С. 1-5

4. Ермакова М.А. Ермаков Д.Ю., Кувшинов Г.Г. Морфология и текстура кремнезема, полученного золь-гель синтезом на поверхности волокнистых углеродных материалов // Кинетика и катализ. – 2002. – Т.43. – №3. – С. 1.
5. Ермакова М.А. Структура и физико-химические свойства Ni и Fe содержащих катализаторов, приготовленных методом гетерофазного золь-гель синтеза: Автореф. дис. канд. хим. наук. – Новосибирск, 2002. – 19 с.

## **ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

О.А. Эм

МАОУ Гимназия № 8, г. Томск

Грамотное проектирование сети электроснабжения – одно из основных условий минимизации потерь электрической энергии и эффективной работы любого предприятия.

Цель данной работы – спроектировать сеть электроснабжения для изолированной энергосистемы. Согласно условию задачи в одном из мало населенных районов на востоке России были обнаружены месторождения полезных ископаемых – слюды и апатита. Также в данном районе было открыто небольшое месторождение природного газа. Район находится на значительном удалении от систем электроснабжения. Признано нецелесообразным строительство специальной воздушной линии для электроснабжения района. После тщательной оценки энергетических ресурсов района было принято решение реализовать систему изолированного электроснабжения. Это означает, что вся энергия, необходимая для работы двигателей, станков, транспортеров и т.д. на месторождениях будет вырабатываться на месте, электростанциями малой мощности.

Данная местность была изучена геологами-топографами. В результате проведенных ими исследований была определена площадка, подходящая для строительства рабочего поселка (источники чистой воды, защищенность от ветра, отсутствие заболоченности), а также площадки, на которых можно построить электростанции (ЭСТ):

- Газотурбинную ЭСТ – рядом с месторождением газа на скальной поверхности;
- Микро гидроэлектростанцию (мкГЭС) – на реке, где есть естественный перепад высот 3 м;
- Ветряную ЭСТ – рядом с небольшим, но очень глубоким озером (глубина 50 м), в ущелье, где постоянно дуют ветры. Средняя скорость ветра 15 м/с.

Вблизи рабочего поселка и двух месторождений должны быть сооружены подстанции – приемно-распределительные пункты электрической энергии.

Таким образом, изолированная электроэнергетическая система (ЭЭС) будет включать в себя 6 объектов: три подстанции и три электростанции. Все

объекты должны быть связаны друг с другом воздушными линиями электропередачи.

Нарисуйте возможные варианты прокладки линий.

При этом должны быть выполнены требования:

- Суммарная длина воздушных линий сети должна быть минимальна;
- Каждый потребитель должен получать питание по двум линиям;
- Наихудшим считаем режим, когда одна линия выведена в ремонт и одна линия аварийно отключена. При этом электрическое сопротивление между самой удаленной подстанцией и самой мощной ЭСТ не должно превышать 12 о.е., так как в этом случае напряжение на шинах подстанции будет ниже критического.

Расчет сопротивлений ведите в о.е. (относительных единицах). За единицу принимаем сопротивление линии, длина которой равна длине стороны квадрата. Для упрощения расчетов длина стороны квадрата была принята равной 1.

На рис. 1 показаны два из восьми возможных вариантов прокладки сети. На основании изложенных выше требований оптимальным является вариант, показанный на рис. 1, а.

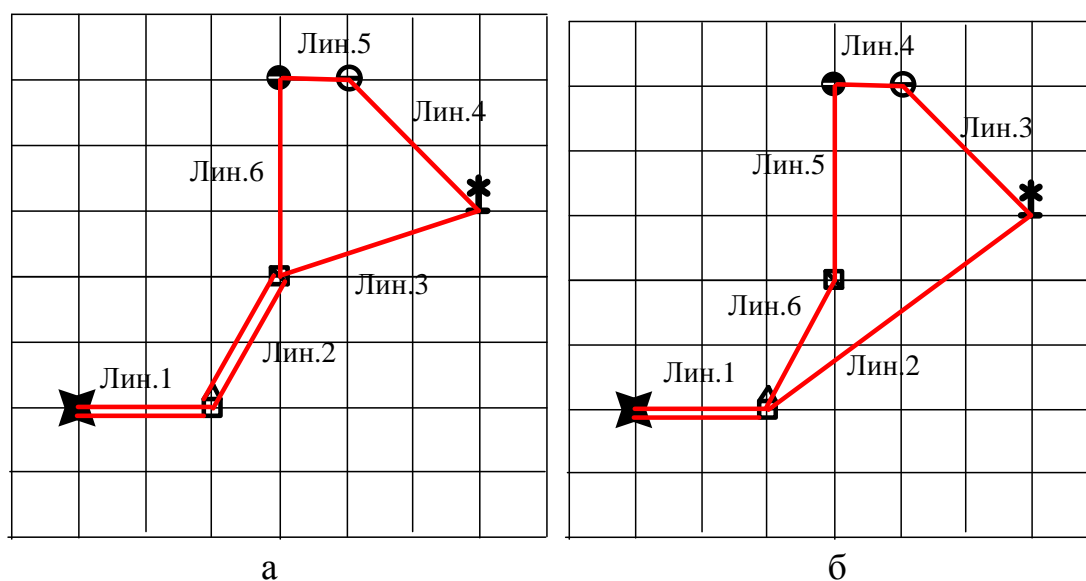


Рис. 1. Варианты топологии сети

Далее для спроектированной сети необходимо было выбрать номинальное напряжение сети  $U_{ном}$ . Номинальное напряжение сети влияет как на технико-экономические показатели, так и на технические характеристики сети.

При повышении номинального напряжения уменьшаются потери мощности и электроэнергии, т. е. снижаются эксплуатационные расходы, уменьшаются сечения проводов, растут предельные мощности, передаваемые по линиям, облегчается перспективное развитие сети. Но, с другой стороны, увеличиваются капиталовложения на сооружение сети.

Номинальное напряжение определяется по формуле Илларионова для самого загруженного участка сети:

$$U_{3к} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{50Q50n}{l} + P_{max}}}$$

где  $l$  - длина линии (км),  $n$  - число цепей линии (1 или 2),  $P_{max}$  - мощность (МВт), протекающая по самой загруженной линии.

Необходимо было выбрать один вариант из шкалы напряжений: 6 кВ, 10 кВ, 35 кВ. В данном случае 10 кВ оказалось оптимальным напряжением сети.

Таким образом, спроектированная сеть удовлетворяет всем предъявленным требованиям и может обеспечить надежное электроснабжение предприятий по добыче полезных ископаемых.

Научный руководитель: М.В. Попов, ст. преподаватель НГТУ.

## ТИПЫ ДВИГАТЕЛЕЙ РАБОТАЮЩИХ НА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

С.Р. Курбонов, А.А. Чурилов, А.А. Куренбин  
 МАОУ Гимназия №12, г. Томск

### Введение

Простота фотоэлектрических двигателей делает их идеальными кандидатами для полностью автономного использования, требующего тысячи рабочих часов без необходимости обслуживания, например, для перекачивания воды. В фотоэлектрических двигателях световая энергия преобразуется в механическую без использования щеток или силовой электроники. Это достигается благодаря использованию фотогальванических элементов, которые оптически коммутируются затвором. При снижении цен на фотогальванические элементы фотоэлектрические двигатели станут более доступными и надежными, по сравнению с обычными. Также, такие двигатели можно широко применять в районах без центрального электроснабжения. Патент на данный вид двигателей уже давно существует, но научной литературы по этой теме очень мало [1, 4].

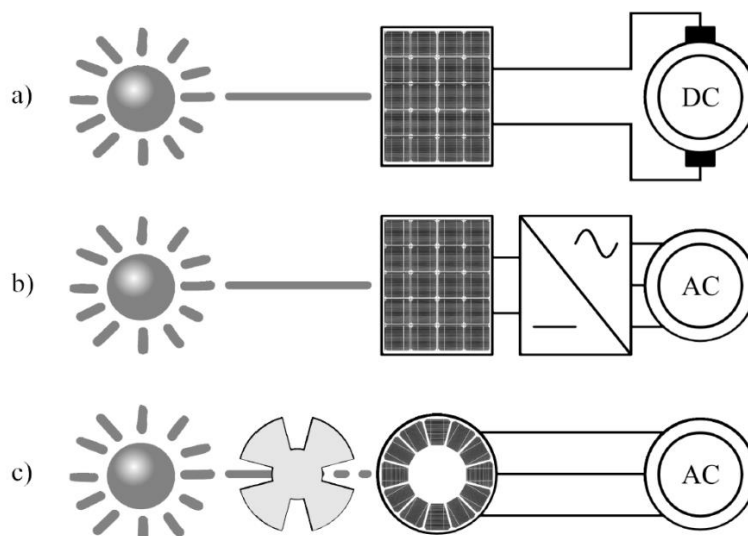


Рис. 1. Варианты системы фотоэлемент-двигатель



### **Фотоэлементы + двигатель постоянного тока**

В данной системе световая энергия преобразуется в механическую следующим образом. Сначала энергия света преобразуется в электрическую энергию. Свет попадает на солнечную батарею, которая в свою очередь вырабатывает постоянный ток и заряжает аккумуляторные батареи (аккумуляторные батареи в данной системе являются необязательным элементом и потому могут отсутствовать). Далее, параллельно с аккумуляторами подключено двигатель постоянного тока (ДПТ) [1, 2]. В результате чего уже электрическая энергия преобразуется в механическую. Это самая простая система преобразования света в движение (рисунок 1 а), которая обеспечивает надежность благодаря тому, что при интенсивном свете излишки накапливаются в аккумуляторах, а в темное время суток аккумуляторы выдают накопленную энергию. В результате получается бесперебойное снабжение двигателя электричеством. Но вместе с тем, для работы ДПТ требуются щетки (рисунок 2), которые подвержены механическому износу и частым поломкам. Этот фактор является существенным недостатком в изолированных районах и снижает надежность такой системы.

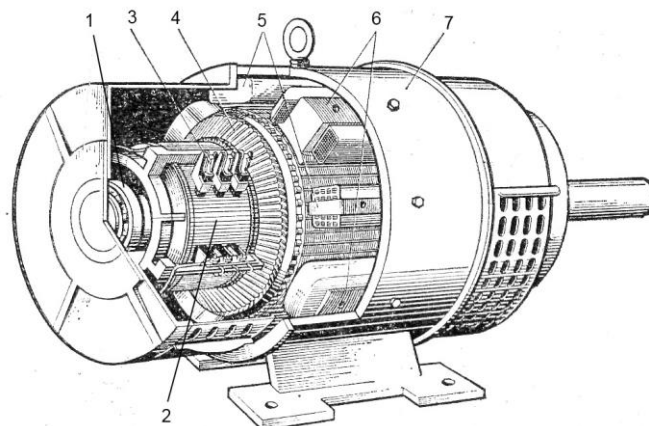


Рис. 2. ДПТ: 1 - подшипник, 2 - коллектор, 3 - щетки 4 - якорь 5 - дополнительные полюса, 6 - обмотка возбуждения, 7- станина

### **Фотоэлементы + силовая электроника + бесщеточный двигатель**

Другим вариантом системы, может являться преобразование солнечной энергии в механическую с использованием силовой электроники (рисунок 1, б). К данной силовой электронике, в частности, относится инвертор. Инвертором является устройство преобразующее постоянный ток в переменный с изменением величины напряжения, обычно, он представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала.

Все те же солнечные батареи преобразуют свет в электричество, которое запасается в аккумуляторах. К этим аккумуляторам подключается преобразователь, а к нему в свою очередь – двигатель переменного тока [3, 4]. Благодаря наличию инвертора в системе, можно отслеживать точку максимальной мощности фотоэлементов в результате чего, эффективно управлять ими. Но тут возникает другой вопрос, связанный со стоимостью и размерами данных инверторов. Кроме того, надежность данной связки в суровых климатических условиях вызывает сомнения.

## **Фотоэлементы + двигатель переменного тока = фотоэлектрический двигатель**

Также существует другой вариант выполнения двигателей. Сначала энергия света преобразуется в электрическую энергию переменного тока. Это происходит благодаря использованию фотоэлектрических элементов, которые коммутируются затвором, механически связанным с ротором. Затем используется двигатель переменного тока, который превращает электричество в механическую энергию. Данная система называется фотоэлектрический двигатель (ФЭД) (рисунок 1, с). Потенциально, ФЭД обладают низкими операционными затратами (повседневные затраты компании для ведения бизнеса, производства товаров и услуг) и капитальными расходами (капитал, использующийся компаниями для приобретения или модернизации физических активов). Это обусловлено тем, что в данной системе нет щеточной системы, а так же не требуются преобразователь постоянного в переменный ток. С другой стороны, отсутствие инвертора и наличие вращающегося затвора создают новые ограничения, которые могут ограничивать производительность системы.

### **Потенциальное применение**

Основным критерием автономной работы изолированных энергосистем является их надежность. Так, ФЭД можно применять изолированно и использовать, например, как автономные мотор-насосы для прокачки воды из скважины, для орошения культур или для хранения воды в резервуаре. Для работы насоса требуется выходная мощность от 100 до 200 Вт. Использование лопастей позволяет превратить ФЭД в вентилятор. Так вентилятор, закрепленный на крыше в солнечный день, будет осуществлять вентиляцию помещений, тогда как ночью – нет. Для такой работы, требуется выходная мощность около 50 Вт. Другими возможными применениями могут быть солнечные зонтики с охлаждением, солнечные водонагреватели, мельницы и игрушки.

### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. L. Petru, C. Ungureanu, Contribution concerning the building of some solar-electric engines. The solar- electric engine with the rolling rotor, Symposium on Unconventional Electrical Machines (ELS 2005), Suceava, Romania, Sept. 2005.
2. J. Bobitski, D. Iwrnski, Investigation of photoelectric motor with stationary axial diaphragm, static and dynamic characteristics, Optoelectronics review, vol. 12, no. 1, pp. 85-90, 2004
3. J. Appelbaum, Starting and steady-state characteristics of DC motors powered by solar cell generators, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. EC-1, no. 1, pp. 17-25, 1986.
4. S.R. Bhat, A. Pittet, B.S. Sonde, Performance optimization of induction motor-pump system using photovoltaic energy source, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. IA- 23, no. 6, pp. 995-1000, 1987.

Научный руководитель: В.В. Гречушников, ассистент кафедры ЭЭС ЭНИН ТПУ.

## РАБОТА ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А.А. Чурилов, А.А. Куренбин, С.Р. Курбонов  
МАОУ гимназия №12 г. Томск

### Введение

В настоящее время в науке делается все больший упор на возобновляемые источники энергии. Таким источником энергии является солнечный свет. Использование данного типа энергии актуально как для удаленных потребителей, так и для автономной работы некоторых агрегатов. В частности, такими устройствами могут быть фотоэлектрические вентиляторы, которые бы работали для охлаждения теплиц в солнечную жаркую погоду.

Цель данной работы – показать физические принципы работы фотоэлектрических двигателей (ФЭД). Основанием для рассмотрения этих двигателей, является тот факт, что в них отсутствует щеточная система, а также инвертор постоянного тока в переменный. Для простоты, будут описаны элементарные ФЭД, имеющие одну фазу и два полюса (два зубца статора и два зубца ротора). Очевидно, что двигатели с тремя и более фазами и большим количеством полюсов (или зубцов ротора) имеют большее практическое применение, благодаря увеличенному крутящему моменту и облегченному самозапуску. На всех рисунках, буквы НВ (направление вращения) обозначают направление вращения против часовой стрелки.

### Однополярный фотоэлектрический синхронный двигатель с постоянными магнитами

Первые конструкции однополярного фотоэлектрического синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) предложили и запатентовали Edward Hall в 1945 г. [1] и Sepp Braeutigam в 1967 г [2]. Они состояли из СДПМ, одной фотогальванической ячейки (PV1) и затвора (рисунок 1 а). СДПМ представляет собой однофазную двухполюсную машину с немагнитными зубьями, постоянный магнит у которой находится на роторе. Однофазная катушка якоря с подключенным к ней фотоэлементом расположены на статоре. Данный вид двигателя является однополярным, поскольку направление тока в катушке остается постоянным.

Пошаговая работа двигателя данного типа показана на рисунке 2. Предполагается, что начальный угол ротора находится в пределах от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$ , в результате чего, затвор позволяет попасть свету на PV1. В свою очередь, PV1 создает ток  $i$ , который намагничивает катушку якоря, что приводит к тому, что ротор начинает вращаться под действием силы отталкивания и притяжения. После поворота на  $180^{\circ}$ , затвор закрывается, и свет перестает попадать на PV1, в результате чего ток  $i$  становится равным нулю, как и намагниченность катушки якоря. После  $180^{\circ}$  на ротор действует тормозной момент. При достаточной инерции он продолжает свое вращение до тех пор, пока не достигнет положения в  $360^{\circ}$ , где затвор снова откроется. Таким образом, положительный крутящий момент генерируется с перерывами.

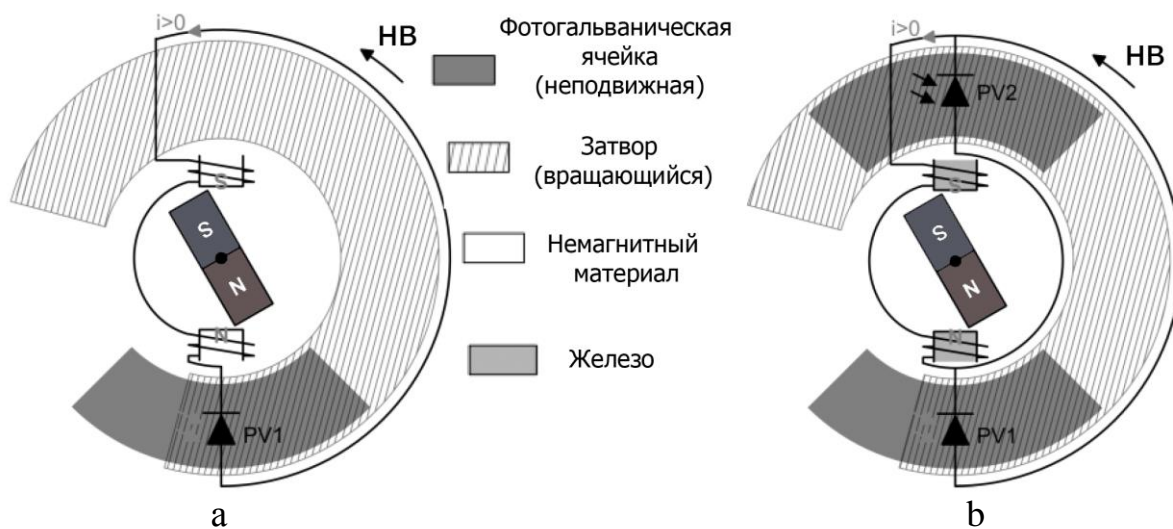


Рис. 1. Фотоэлектрический СДПМ. а – однополярный, б - биполярный.

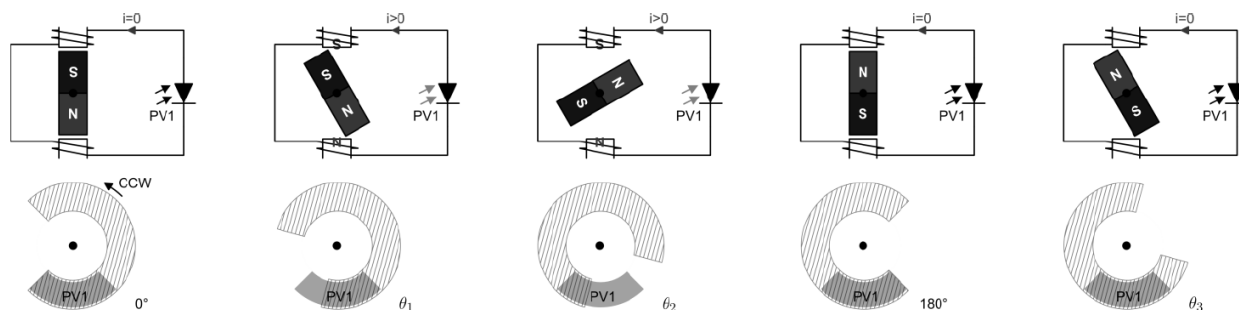


Рис. 2. Принцип работы однополярного фотоэлектрического СДПМ.

### Биполярный фотоэлектрический синхронный двигатель с постоянными магнитами

Конструкции данного типа двигателя появились немного позже чем однополярного. Патенты на конструкции принадлежат таким ученым как Y. Nakamatsu [3], H. Izawa [4], G.J. Shea [5], W.A. Marrison [6]. Они состояли из СДПМ, двух фотогальванических элементов (PV1 и PV2) и затвора (рисунок 1 б). СДПМ в данном случае представляет собой однофазную двухполюсную машину с магнитными зубьями, постоянный магнит у которой находится на роторе. Однофазная катушка якоря с подключенным к ней встречно-параллельно фотоэлементами расположены на статоре. Данный вид двигателя является биполярным, поскольку направление тока в катушке изменяется.

Пошаговая работа двигателя данного типа показана на рисунке 3. Предполагается, что начальный угол ротора находится в пределах от  $0^0$  до  $180^0$ , в результате чего, затвор позволяет попасть свету на PV1, но блокирует PV2. PV1 создает ток  $i$ , который намагничивает катушку якоря, что приводит к тому, что ротор начинает вращаться под действием силы отталкивания и притяжения. После поворота на  $180^0$ , затвор блокирует PV1, но открывает PV2. Ток  $i$  меняет свое направление, а вместе с этим меняется и полярность катушек якоря. В результате этого, ротор продолжает вращение под действием сил, воздействующих на него. Таким образом, положительный крутящий момент действует на ротор непрерывно.

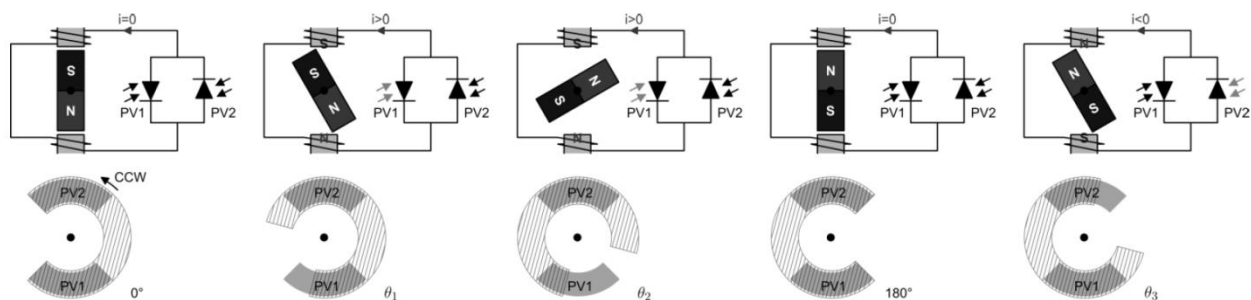


Рис. 3. Принцип работы биполярного фотоэлектрического СДПМ.

### Фотоэлектрический вентильный реактивный двигатель

Фотоэлектрический вентильный реактивный двигатель (ВРД) был предложен А. Сoty в 2012 г. [7]. Он состоял из ВРД, одной гальванической ячейки PV1 и затвора (рисунок 4). DHL в свою очередь представляет собой однофазную машину с двумя зубцами статора и двумя зубцами ротора. Однофазная катушка якоря с подключенным к ней фотоэлементом расположены на статоре.

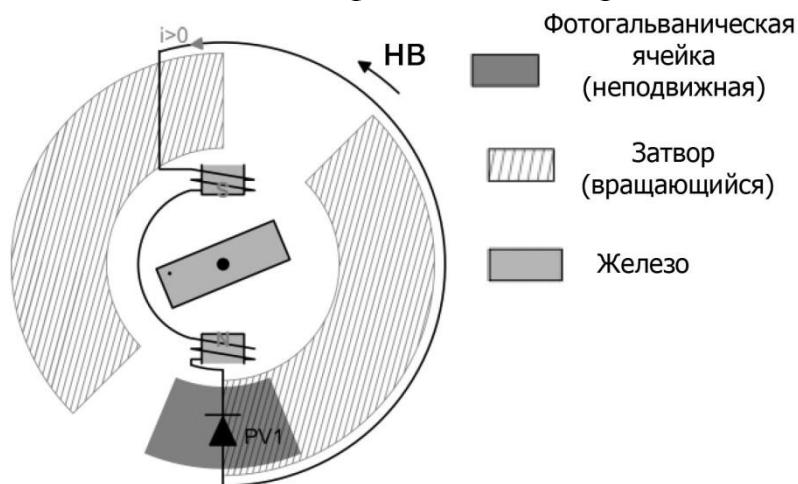


Рис. 4. Фотоэлектрический ВРД

Пошаговая работа двигателя данного типа показана на рисунке 5. Предполагается, что начальный угол ротора находится в пределах от  $0^0$  до  $90^0$ , в результате чего, затвор позволяет попасть свету на PV1. В свою очередь, PV1 создает ток  $i$ , который намагничивает катушку якоря. За счет стремления ротора скомпенсировать изменение магнитного потока, он начинает поворачиваться стремясь занять положение, при котором магнитный поток статора будет проходить по оси ротора. После поворота на  $90^0$ , затвор закрывается и свет перестает попадать на PV1, в результате чего, ток  $i$  становится равным нулю, как и намагниченность катушки якоря. После  $90^0$  на ротор действует тормозной момент. При достаточной инерции он продолжает свое вращение пока не достигнет положения в  $180^0$ , где затвор снова откроется. Таким образом, положительный крутящий момент генерируется с перерывами.

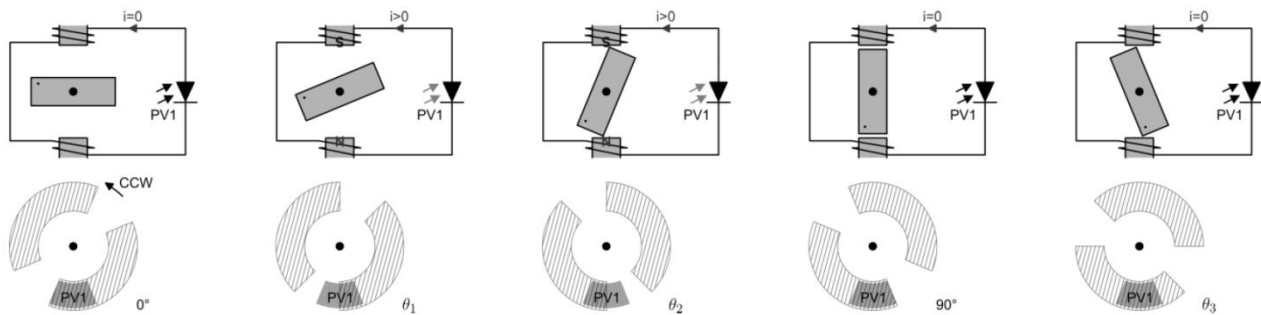


Рис. 5. Принцип работы фотоэлектрического ВРД.

Стоит отметить, что существуют и другие виды ФЭД, предложенные такими учеными как: Н. Izawa в 1997 г. [8], Y. Morikawa в 2002 г. [9] и L. Petru с С. Ungureanu в 2005г. [10].

Данные двигатели не рассматривались в этой работе, поскольку они имеют низкие эксплуатационные характеристики или высокую сложность конструкции.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. E.T. Hall, Solar motor, U.S. Patent: 3 296 469, issued date Jan. 3, 1967.
2. S. Braeutigam, Rotating advertising device, U.S. Patent: 3 325 930, issued date June 20, 1967
3. Y. Nakamatsu, Apparatus for converting radiant energy such as light or heat directly into turning force, U.S. Patent: 4 634 343, issued date Jan. 6, 1987
4. H. Izawa, Solar energy motor, U.S. Patent: 4 751 413, issued date June 14, 1988
5. G.J. Shea, Solar energy magnetic resonance motor, U.S. Patent: 5 408 167, issued date April 18, 1995.
6. W.A. Marrison, Apparatus for converting radiant energy to electromechanical energy, U.S. Patent: 2 919 358, issued date Dec. 29, 1959.
7. A. Coty, Automatically switched photovoltaic motor, EU. Patent: 2 380 261, issued date Jul. 20, 2012.
8. H. Izawa, Photovoltaic drive motor, U.S. Patent: 5 610 459, issued date Mar. 11, 1997
9. Y. Morikawa, Optical actuator, U.S. Patent: 6 342 671, issued date Jan. 29, 2002.
10. L. Petru, C. Ungureanu, Contribution concerning the building of some solar-electric engines. The solar-electric engine with the rolling rotor, Symposium on Unconventional Electrical Machines (ELS 2005), Suceava, Romania, Sept. 2005

Научный руководитель: В.В. Гречушников, ассистент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.

# УСТРОЙСТВО ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Р.А. Магеррамов  
МАОУ гимназия № 12 г. Томск

В настоящее время все более актуальной становится необходимость бесперебойного снабжения электрической энергией предприятий. К сожалению, аварии в энергетической отрасли неизбежны.

Цель данной работы – обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей в случае поломки и аварийного отключения одного из генераторов электростанции (ЭСТ) в небольшой изолированной энергосистеме.

Изолированная энергосистема – это одна или две электростанции, которые не соединены с остальными ЭСТ энергообъединения линиями электропередачи. Такая ситуация характерна для нефтегазодобывающей отрасли. Месторождения газа и нефти могут находиться в труднодоступной удаленной местности и строительство воздушных линий экономически невыгодно.

Главным недостатком в изолированной системе электроснабжения является отсутствие резерва мощности в случае аварийного отключения одного генератора. Если один из генераторов отключился, то возникает дефицит мощности, в результате роторы оставшихся генераторов начинают замедлять вращение. Частота вращения снижается очень быстро, за пару секунд она может снизиться ниже критической частоты (46 Гц), после чего аварийная автоматика выключит все генераторы.

Решение проблемы известно – если отключается один из генераторов, то нужно включить резервный генератор. Но для этого нужно время, около 30-60 с. Это слишком долго, частота снизится, генераторы будут отключены, что приведет к длительному (минуты и даже часы) перерыву электроснабжения. Если же через секунду после отключения генератора «впрыснуть» в энергосистему некоторую мощность, это даст время автоматике включить резерв и предотвратит погасание ЭСТ.

В данной работе была поставлена задача: разработать конструкцию механического накопителя энергии, основанного на потенциальной энергии поднятого груза, который позволит предотвратить снижение частоты в изолированной маломощной энергосистеме за счет выработки мощности не менее 160 кВт в течение 1-ой минуты. Один из вариантов установки – сброс груза в шахту.

Во-первых, была рассчитана глубина шахты и масса груза для получения мощности 160кВт.

По результатам расчётов был составлен график зависимости мощности от массы, которой показал, что для выработки мощности в 160кВт не обходим груз массой 16000 кг и шахта глубиной 300 м.

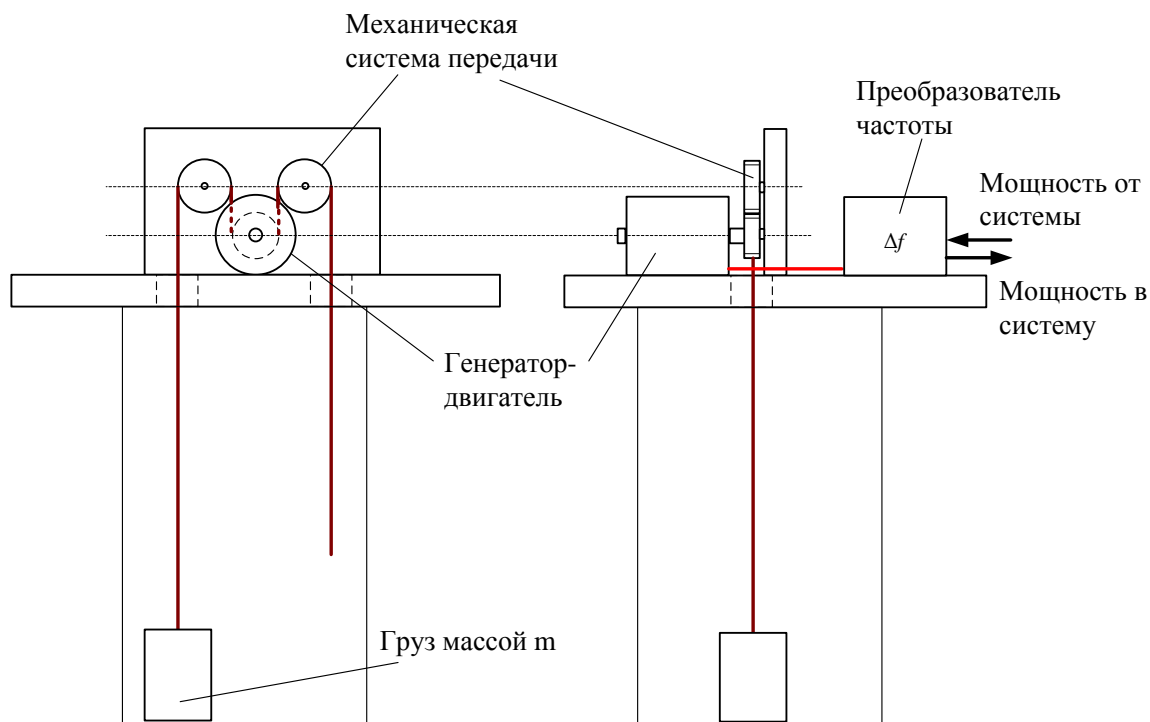


Рис. 1. Конструкция механического накопителя энергии

Следующим этапом работы стал выбор груза. Мы рассмотрели такие материалы как чугун, бетон, песок и такие формы как куб, шар, цилиндр. По результатам расчета самым выгодным вариантом стал алюминиевый цилиндр наполненный песком.

Можно отметить достоинство устройства для сохранения кинетической энергии. Энергию, запасённую при поднятии твёрдых тел, можно высвободить за очень короткое время. Ограничение на получаемую с таких устройств мощность накладывает только ускорение свободного падения, определяющее максимальный темп нарастания скорости падающего груза. При этом время хранения однажды запасённой энергии практически неограниченно, если сохранять в порядке груз и элементы конструкции, предотвращать механические поломки и т.п.

**Вывод:** Спроектированная система вырабатывает за 1 минуту 160 кВт мощности, что позволяет предотвратить снижение частоты и аварийное отключение всех генераторов ЭСТ.

Научный руководитель: С.М. Юдин, к.т.н., доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.



## ОСВОЕНИЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ – АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

К.Д. Иконникова<sup>1</sup>, Д.А. Близнюк<sup>2</sup>  
МБОУ Гимназия №56 г. Томск<sup>1</sup>  
Томский политехнический университет<sup>2</sup>  
ЭНИН

Интерес к альтернативной энергии и энергосберегающим технологиям нарастает. Изучение и понимание современных технологий получения альтернативных источников энергии – это не только сбережение энергетических ресурсов и снижение денежных затрат, но и способ успешного решения экологических, социальных и гуманитарных проблем.

На сегодняшний день существует множество направлений альтернативной энергии: ветровая энергия, энергия рек, гидротермальные системы, энергия приливов и отливов, солнечная энергия, биоэнергетика и др. [1-2].

Использование перечисленных энергетических источников требует в период создания энергоустановок повышенных капиталовложений. Для большинства их видов характерна малая плотность потока и изменчивость во времени, что требует большие «перехватывающие» площади (приемные поверхности солнечных установок, площадь ветроколеса, протяженные плотины приливных электростанций и т. п.). Но из-за высокого уровня самообеспечения и экологичности производства при низких эксплуатационных затратах первоначально высокие капиталовложения впоследствии окупаются.

В настоящем сообщении рассмотрены преимущества и недостатки использования биоэнергетических материалов. Оценены перспективы освоения и эксплуатации биогазовых станций на территории Западной Сибири [3-7].

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Алхасов А.Б. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие. /А.Б. Алхасов. – М.: МЭИ, 2011. – 272 с
2. Арбузова Е.В. К проблеме энергетической эффективности биогазовых технологий в климатических условиях России / Е.В. Арбузова, С.Е. Щеклеин // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 7(99). – С.129-134.
3. Иконникова К.Д. Нетрадиционная и возобновляемая энергетика // «Интеллектуальные энергосистемы»: материалы I Международного молодежного форума. – Томск: ТПУ. – 2013.–Т. 2 – С. 292-293.
4. Иконникова К.Д. Биоэнергетика. Биогаз.//«ЭНЕРГОСТАРТ»: материалы Всероссийской молодежной научно-практической школы. Секция 1. Теплоэнергетика. – Кемерово. – 2016. – С.9
5. Иконникова К.Д., Иконникова К.В. Характеристика возобновляемых источников энергии и проблемы их использова-

- ния//«Интеллектуальные энергосистемы»: материалы IV Международного молодежного форума. – Томск: ТПУ. – 2016.– Т. 2 – С. 158.
6. Иконникова К.Д., Колтунова Е.А. Энергоносители для автономных тепло- и электростанций //Введение в энергетику: сборник материалов II Всероссийской молодежной научно-практической конференции. – 2016. – С.21
  7. Иконникова К.Д., Близнюк Д.А. Экологические аспекты получения и использования биогаза //Химические технологии функциональных материалов: материалы III Международной Российско-Казахстанской научно-практической конференции. – 2017. – С.163-165

Научные руководители: Л.Ф. Иконникова, к.х.н., доцент ИФВТ ТПУ, А.В. Стефанова, учитель химии гимназии № 56

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ**

С.В. Мясоедов, Е.В. Якухина  
МБОУ СОШ №120 г. Новосибирск

В скором времени наиболее применяемыми устройствами для хранения и передачи энергии будут являться суперконденсаторы.

Суперконденсаторы (СК) – приборы, в которых происходят квазиоборотные электрохимические зарядно-разрядные процессы. СК состоят из электродов, сделанных из материалов с развитой внутренней поверхностью, разделенные сепаратором и помещенные в корпус. Внутренняя среда суперконденсатора заполнена электролитом.

В качестве электродного материала обычно применяют высокодисперсный углерод. Этот материал обладает развитой удельной поверхностью, которая достигает тысячи м<sup>2</sup>/г, и хорошо электропроводен. Высокодисперсный углерод представлен в виде активированного угля, сажи, нанопористых материалов.

В ходе работы для создания суперконденсатора применялись нанокпозиционные материалы, состоящие из терморасширенного графита, нановолокнистого углерода и активированного угля.

Терморасширенный графит (ТРГ) - материал, который обладает низкой плотностью, имеет огромное количество макропор. ТРГ имеет высокие значения емкости за счет высокой удельной поверхности, достигающей 350 м<sup>2</sup>/г.

Нановолокнистый углерод (НВУ) - это гранулы переплетенные между собой углеродными нановолокнами. Удельная поверхность составляет 117 м<sup>2</sup>/г, а размер достигает 10 мкм. В комплексе эти свойства (высокая прочность, высокая электро- и теплопроводность) делают данную разновидность углеродных наноматериалов перспективной для применения во многих областях. Например, в качестве наполнительных материалов для суперконденсаторов и электрохимических датчиков.

Активированный уголь (АУ) – это углерод, полученный путём сжигания рисовой шелухи и последующей химической обработке. Полученный продукт представляет собой мягкий материал, легко размельчаемый до размера 35 мкм с удельной поверхностью составляющей 169 м<sup>2</sup>/г.

Было установлено, что емкость суперконденсаторов на основе терморасширенного графита равна 176 Ф/г.

Материалы были исследованы на удельную поверхность при помощи установки Quantachrome NOVA 1000e методом низкотемпературной адсорбции азота. Кроме того, они исследовались на удельную ёмкость в трёхэлектродной ячейке при помощи установки Elins P-30SM.

Установлено, что удельная ёмкость композита ТРГ со скоростью развёртки 2,5 мВ/с достигает 169,8 Ф/г, для НВУ 36,7 Ф/г, а АУ 19,8 Ф/г с тем же показателем скорости развёртки. Удельная поверхность образцов ТРГ и НВУ составляет 45 м<sup>2</sup>/г и 227 м<sup>2</sup>/г соответственно.

С помощью растровой микроскопии (рис. 1) установили, что размер частиц варьировался от 20 до 40 нм.

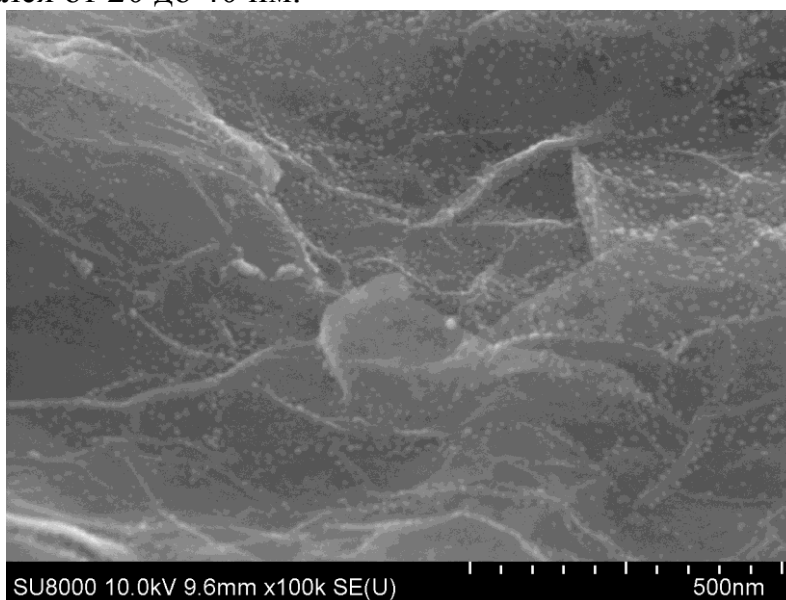


Рис. 1. Снимок образца ТРГ

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. *Conway B.E.* Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications. New York: Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 1999. – 685p.
2. Электродный материал для суперконденсаторов на основе наноструктурного углерода / С.Л. Рево, И.М. Будзуляк, Б.И. Рачий, М.М. Кузисин // Электронная обработка материалов. – 2013. – Т.49, № 1. – С. 71–75.
3. Chemical treatment of graphite nanoplatelets and their use in supercapacitors / A.A. Shibaev, S.I. Yusin, E.A. Maksimovskii, A.V. Ukhina, A.G. Bannov // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2016. – Vol. 89, iss. 5. – P. 739–745.

4. Влияние фракционного состава гранулированного нановолокнистого углеродного наполнителя на электрофизические свойства эпоксидных композитов / А.Г. Баннов, Н.Ф. Уваров, Г.Г. Кувшинов, Н.Р. Прокопчук, Э.Т. Крутько, Ж.С. Шашок, К.В. Вишневский // *Химия, технология органических веществ и биотехнология*. – 2014. – № 4. – С. 31–34.
5. *Нгуен Мань Хиеу, Коробочкин В.В.* Способ получения активированного угля и диоксида кремния из рисовой шелухи [Электронный ресурс] // «SCI-ARTICLE.RU»: электрон.научн.журн. 2014. №12. URL: <http://sci-article.ru/stat.php?i=1408911852> (дата обращения: 12.02.2017).

Научный руководитель: М.В. Попов, ст. преподаватель НГТУ.

## **О ПОЛУЧЕНИИ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА В ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Е.Б. Акимова  
МБОУ Лицей при ТПУ г. Томск

Карбид вольфрама обладает высокими физико-механическими свойствами: высокая температура плавления, высокая твердость, низкий коэффициент трения, стойкость к химически активным средам, коррозии и окислению [1]. Благодаря своей высокой твердости карбид вольфрама широко применяется в производстве твердых сплавов, используемые в режущих и буровых инструментах, ответственных деталях с высокой износостойкостью [2], фильтров, катализаторов [3, 4], топливных элементов и батарей [5]. Существует множество методов получения порошкового карбида вольфрама, в настоящее время популярна группа методов получения карбида вольфрама, основная на генерации плазмы в инертной атмосфере, например, в водороде [6, 7]. Одним из возможных известных источников плазмы является дуговой разряд [8]. При этом обычно высокие температуры приводят к образованию крупных (мкм) частиц даже в случае использования исходных наноразмерных реагентов [6].

С целью реализации электродугового синтеза карбида вольфрама в Томском политехническом университете собрана экспериментальная лабораторная установка. Система состоит из силового трансформатора с выпрямителем с рабочим током до 200 А и возможностью плавного регулирования. Регистрация электрических параметров производится при помощи цифрового осциллографа RIGOL DS 1052E, а также датчиков тока и напряжения. В зону формирования дугового разряда закладывается смесь вольфрама и углерода в виде порошка, состоящего из 18% масс углерода (графита) и 72% масс вольфрама. В рассматриваемой системе проведена серия из 5 экспериментов, в которых изменялась длительность воздействия плазмы дугового разряда на исходные реагенты от 5 с до 20 с. В ходе экспериментов поддерживался постоянным уровень силы тока – около 165 А; электроды, сделанные из графита, взвешивались до и после проведения эксперимента. После проведения эксперимента порошок собирался со

стенок электродов. Основные параметры серии экспериментов приведены в таблице 1.

Табл. 1. Основные параметры серии проведенных экспериментов.

№	t, с	m <sub>исх</sub> , Г	m <sub>анода до</sub> , Г	m <sub>катода до</sub> , Г	m <sub>анода после</sub> , Г	m <sub>катода после</sub> , Г	m <sub>продукта</sub> , Г	m <sub>эрозии анода</sub> , Г
1	5 с	2 Г	4,26 Г	53,40 Г	4,07 Г	53,38 Г	1,96 Г	0,19 Г
2	10 с	2 Г	5,46 Г	53,40 Г	5,13 Г	53,45 Г	2,21 Г	0,33 Г
3	10 с	2 Г	4,49 Г	53,54 Г	4,24 Г	53,40 Г	2,26 Г	0,25 Г
4	13 с	2 Г	4,69 Г	53,44 Г	4,56 Г	53,39 Г	1,96 Г	0,13 Г
5	19 с	2 Г	5,11 Г	53,44 Г	4,68 Г	53,44 Г	2,16 Г	0,43 Г

В таблице введены следующие обозначения t – время поддержания дугового разряда, m<sub>исх</sub> - масса исходных реагентов, m<sub>анода до</sub> – масса анода перед экспериментом, m<sub>анода после</sub> – масса анода после проведения эксперимента, аналогично - m<sub>катода до</sub> – масса катода до эксперимента, m<sub>катода после</sub> – масса катода после эксперимента, m<sub>продукта</sub> – масса полученного в эксперименте порошкового материала, m<sub>эрозии анода</sub> – масса эрозии анода в ходе эксперимента.

Таким образом, в настоящей работе представлены данные серии экспериментов и литературного обзора по получению карбида вольфрама в плазме дугового разряда постоянного тока, сгенерированного при помощи собранной лабораторной установки. В дальнейшем будет изучен вопрос энергозатрат изучаемого процесса путем анализа осциллограмм тока и напряжения; будет проанализирована температура электродов в зависимости от выделившейся в системе энергии; продукты будут проанализированы методами рентгеновской дифрактометрии и электронной микроскопии.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. V.N. Chuvil'deev, Yu.V. Blagoveshchenskiy, A.V. Nokhrin, M.S. Boldin, N.V. Sakharov, N.V. Isaeva, S.V. Shotin, O.A. Belkin, A.A. Popov, E.S. Smirnova, E.A. Lantsev. Spark plasma sintering of tungsten carbide nanopowders obtained through DC arc plasma synthesis: *Journal of Alloys and Compounds* 708 (2017) 547-561
2. Victor Ioan Stanciu, Veronique Vitry, Fabienne Delaunois. Tungsten carbide powder obtained by direct carburization of tungsten trioxide using mechanical alloying method: *Journal of Alloys and Compounds* 659 (2016) 302-308
3. Jie Zhang, Jinwei Chen, Yiwu Jiang, Feilong Zhou, Gang Wang, Ruilin Wang. Tungsten carbide encapsulated in nitrogen-doped carbon with
4. iron/cobalt carbides electrocatalyst for oxygen reduction reaction: *Applied Surface Science* 389 (2016) 157–164
5. Qiufang Gong, Yu Wang, Qi Hu, Jigang Zhou, Renfei Feng, Paul N. Duchesne, Peng Zhang, Fengjiao Chen, Na Han, Yafei Li, Chuanhong Jin, Yanguang Li & Shuit-Tong Lee. Gong, Q.et al.Ultrasmall and phase-pure W<sub>2</sub>C nanoparticles for efficient electrocatalytic and photoelectrochemical hydrogen evolution. *Nat. Commun.*7,13216 doi: 10.1038/ncomms13216 (2016)

6. Monsur Islam, Rodrigo Martinez-Duarte. A sustainable approach for tungsten carbide synthesis using renewable biopolymers: *Ceramics International* 43 (2017) 10546–10553
7. Ravi K. Enneti. Synthesis of nanocrystalline tungsten and tungsten carbide powders in a single step via thermal plasma technique: *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 53 (2015) 111–116
8. Pavel V. Krasovskii, Olga S. Malinovskaya, Andrey V. Samokhin, Yury V. Blagoveshchenskiy, Valery A. Kazakov, Artem A. Ashmarin. XPS study of surface chemistry of tungsten carbides nanopowders produced through DC thermal plasma/hydrogen annealing process: *Applied Surface Science* 339 (2015) 46–54
9. V.N. Chuvil'deev, Yu.V. Blagoveshchenskiy, A.V. Nokhrin, M.S. Boldin, N.V. Sakharov, N.V. Isaeva, S.V. Shotin, O.A. Belkin, A.A. Popov, E.S. Smirnova, E.A. Lantsev. Spark plasma sintering of tungsten carbide nanopowders obtained through DC arc plasma synthesis: *Journal of Alloys and Compounds* 708 (2017) 547-561

Научный руководитель: А.Я. Пак, к.т.н., доцент каф. СУМ ИК ТПУ.

## **ВЕЧНЫЙ ФОНАРИК**

Ф.А. Сизиков, Т.А. Тюленин  
МАОУ СОШ №4 им И.С. Черных г. Томск

Назначение: Данное устройство может применяться для подсветки, индикации, питания маломощных фонариков. Тема работы: в данной работе было проведено испытание схемы Романова Александра Васильевича Романова – качера Романова. Была проверена его работа. Был намотан трансформатор на сердечник чашечного исполнения. Трансформатор был намотан согласно схеме 1. При испытаниях схема работала неудовлетворительно, конденсатор быстро разряжался и светодиоды быстро гасли. Была проведена работа по изменению обмоток трансформатора. Положительные результаты были получены при встречной намотке 2 обмоток трансформатора и увеличение емкости конденсаторов и подборе сопротивления. Были подобраны светодиоды, горящие ярче. Данная схема при зарядке конденсатора в течение 1 минуты от батарейки 9 Вольт позволяла работать устройству в течение суток. Принцип работы: при подключении источника питания конденсаторы заряжаются. После достижения на базе транзистора значения в 0,5 Вольт, транзистор открывается, вследствие чего через обмотку L1 и L2 проходит импульсный ток. Этот ток наводит ЭДС в этих обмотках, который создает магнитный поток в сердечнике и наводится ЭДС в обмотке L3, вследствие чего зажигаются светодиоды, частота 800кГц. Этот же поток в обмотке L3 создает противоЭДС и закрывает транзистор. Когда транзистор закрывается, при спаде тока возникает противоЭДС в обмотке L1 и L2 возникает ЭДС в обмотке L3, которая открывает транзистор и так процесс закликивается. Непрерывность процесса возникает из-за малого потребле-

ния тока самой системы. Светодиоды утилизируют ток, выше тока источника питания. Светодиоды применяются для настройки и утилизации "лишнего" тока. Вывод: для постоянной работы схемы можно дополнить схему антенной для поддержания стабильной работы генератора. Электрическая цепь представлена на схеме №2. Дополнение антенной (схема №3) схемы №2 позволит увеличить время работы светодиодов более чем в 2 раза. Для «вечного» свечения требуются дополнительные исследования.



Схема 1

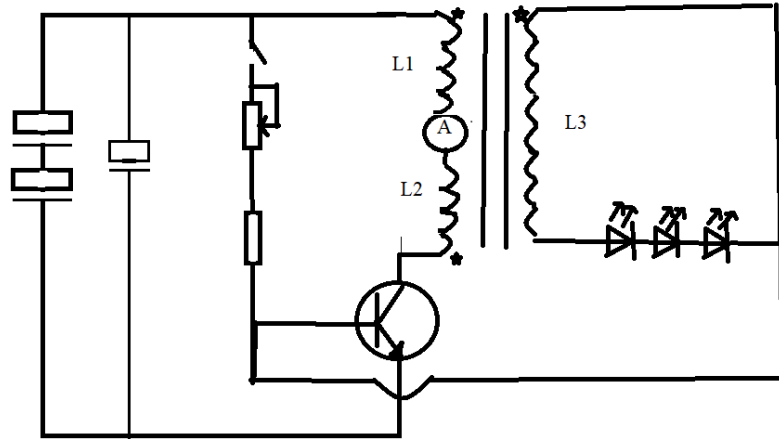


Схема 2

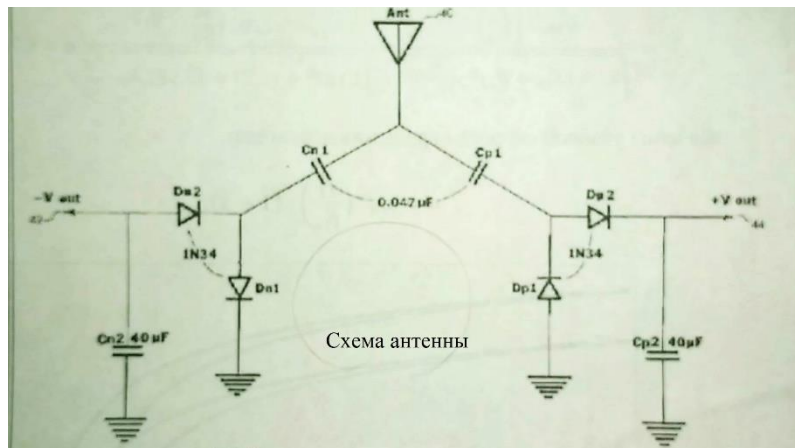


Схема антенны

Научный руководитель: Н.М. Балахонов, инженер каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 8. Релейная защита, автоматика, электрооборудование электроэнергетических систем

<b>Гречушников В.В.</b> Выбор метода реагирования для функционирования защиты от замыканий на землю в компенсированных сетях с учетом влияния угловых погрешностей трансформаторов тока.....	3
<b>Ежиков Н.И., Миронов А.В.</b> Устройство непрерывного анализа состояния контакта.....	7
<b>Ежиков Н.И., Злобин И.С., Миронов А.В.</b> Макет электрической подстанции.....	9
<b>Ворошилов С.С.</b> Изучение и анализ однолинейной схемы электро-снабжения базы по хранению и реализации ГСМ, метанола и химикатов УМТСиК.....	10
<b>Бахтеев М.К.</b> Анализ потребителей и электроснабжения газового промысла ГП-1В ОАО «Газпром добыча Ямбург».....	13
<b>Васильева Ю.З., Лубсанова А.О., Абеуов Р.Б.</b> Многофункциональное устройство адаптивной автоматики разгрузки энергоузла.....	16
<b>Фоменко В.К.</b> Автоматическое регулирование напряжения и симмет-рирование с помощью статического тиристорного компенсатора.....	20
<b>Гармонов А.В.</b> Современное состояние Экибастузской ГРЭС-2.....	24
<b>Pavlova A.V.</b> Operating conditions for current transformers in transition modes and their influence on relay protection.....	26
<b>Атакишиев Р.С.</b> Вопросы внедрения микропроцессорных устройств релейной защиты.....	28
<b>Кривоногова Д.К., Митрофаненко А.Ю., Абеуов Р.Б.</b> Адаптивная делительная автоматика для энергорайонов с электростанциями малой мощности.....	30
<b>Крыгин А.С.</b> Плазменный динамический синтез ультрадисперсного оксида цинка и спекающей керамики на его основе – для ОПН.....	34
<b>Хужина З.Б., Варганова А.В.</b> Разработка методики и определение величин экономической плотности тока для голых проводников.....	37
<b>Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан.</b> Прогностические регуляторы синхронных генераторов установок распределенной генерации....	40
<b>Проничев А.В., Солдусова Е.О.</b> Математическое моделирование трёхфазных самокомпенсированных линий электропередачи в MATLAB\Simulink.....	44
<b>Тимофеева А.И.</b> Разработка программно-технического комплекса авто-матизированной системы управления технологическим процессом подстанции	48



**Смирнов А.В.** Критерии эффективности микропроцессорной релейной защиты ..... 51

**Lavrinovich A.V., Mytnikov A.V.** Development of advanced technology for high voltage transformer winding condition control based on probing impulse of nanosecond duration..... 55

**Куликов А.Л., Лоскутов А.А., Пелевин П.С.** Принципы реализации релейной защиты, основанной на распознавании волновых портретов ..... 59

**Ковригин Б.Л., Лавринович А.В.** Применение коэффициента детерминации для сравнения осциллограмм отклика силового трансформатора, полученных при диагностике методом наносекундных низковольтных импульсов..... 63

### **Секция 9. Управление режимами энергосистем**

**Ерофеев Е.В., Федин И.В.** Разработка макета дискретного быстродействующего драйвера управления силовыми GaN транзисторами..... 68

**Федорович С.Н.** Оптимизация режимов работы электрической сети ..... 71

**Kondrashov M.A., Smirnova A.Y.** Using clustering methods for voltage steady-state load characteristics identification..... 75

**Кондрашов М.А., Смирнова А.Ю.** Применение кластерного анализа в задаче идентификации статических характеристик нагрузки ..... 79

**Непша Ф.С., Ефременко В.М.** Анализ методов расчета электрических режимов в рамках системы электроснабжения угольной шахты..... 83

**Губина О.А., Малафеев А.В.** Анализ наблюдаемости электрических сетей по «МЭС»..... 87

**Кортунков А.В.** Обзор программных продуктов для планирования ремонтов основного оборудования электростанций ..... 91

**Иманова Ю.С., Малафеев А.В.** Выбор способа эквивалентирования разомкнутой электрической сети при условии неизменности потерь мощности ..... 94

**Чубаров К.М., Сенько Н.В.** Исследование методов аппроксимации области устойчивости электроэнергетической системы..... 98

**Аришин А.В.** Перспективы и проблемы развития возобновляемой энергетики в России ..... 101

**Корнев В.А.** Анализ реализованной модели электроэнергетического рынка в России..... 105

### **Секция 10. Научно-технический дискурс «Интеллектуальные энергосистемы»**

**Zhdanova V.** Methods of desalination at Nuclear power plant ..... 110

**Dubikovskaya B.S.** Reactors of the fourth generation and their comparison with the reactors of the third generation..... 112

<b>Лемешев А.С.</b> The use of non-contact methods to measure the residual stresses in a weld as a means for improving the safety of nuclear power station.....	114
<b>Nim P.D.</b> Hydrogen energy .....	116
<b>Иванова Ж.К.</b> The comparison of complexities of the chinese and russian languages on the example of terminology of chemistry .....	117
<b>Lazarenko A.</b> Energy of the future .....	121
<b>Shteyzel A.</b> Scientific products of TPU.....	123
<b>Pilat V.O.</b> The main problems of energy and possible solutions of their solutions.....	125
<b>Zubov A.Y.</b> Rotary-screw-engines.....	127
<b>Fazlyev D.Y.</b> Development of blasting technology that reduces the harmful impact on the environment .....	128
<b>Alyunin A.</b> The method of calculation of solar radiation .....	129
<b>Nazarchuk N.V.</b> Features of the creation of underground nuclear power plants and some issues of radiation cold-fastness and working capacity of structural materials of the reactor vessel .....	131
<b>Berezikov N.I.</b> Reagentless methods of water treatment at tpps and nuclear power plants.....	133
<b>Bukarinov A.</b> International competitiveness of the Russian nuclear power industry .....	136
<b>Titov Y.</b> Investigation of search points for the point of maximum power for the increasing signal inverter voltage transducer .....	137
<b>Gutova K.A.</b> The Harmony Initiative: what`s pros and cons?.....	140
<b>Kurganovskiy A.A.</b> penetration of renewable sources in microgrids: effects of milp based control strategies .....	141
<b>ИГНАТЕНКО М.А.</b> Comparison of monocrystalline and polycrystalline solar cells.....	143
<b>Перебоева В.В.</b> Intellectual power system with active-adaptive network ...	144
<b>Krivenko O.A.</b> The main problems of power engineering and possible solution .....	145
<b>Stamikova V.A.</b> Solar battery: advantages and disadvantages .....	147
<b>Makarov A.S., Sokolova E.Y., Y. Yushkov</b> Initiation of electric discharge. Method of covering the electrode.....	149
<b>Gordeyev D.I.</b> Types and kinds of power stations.....	152
<b>Pavlova A.V.</b> Operating conditions for current transformers in transition modes and their influence on relay protection .....	153
<b>Osmolovskaya M.M.</b> Das selbständige haus – das sonnige kraftwerk plus der wasserstoff .....	155

<b>Vajtovitsch V.A., Kobenko J.V.</b> Vorteile des aktiven Blitzschutzes .....	157
<b>Serbina A.J., Kobenko J.V.</b> Drahtlose Übertragung von Elektrizität.....	158
<b>Schtscherbina B.J., Kobenko J.V.</b> Nutzung von Solarenergie.....	159

### **Секция 11. Методология формирования и оценки компетенций в подготовке инженеров в области Smart systems**

<b>Погадаев Е.А., Кузнецова Е.Ю.</b> Проблемы и перспективы внедрения Smart-образования в процесс обучения студентов .....	161
--	-----

<b>Чмыхало Д.А.</b> Применение смарт-систем и смарт-технологий в области высшего образования: сравнительный анализ основных современных концепций.....	164
--	-----

<b>Халдеева М.А., Ардашкин И.Б., Чмыхало А.Ю., Макиенко М.А.</b> Социально-ответственный бизнес: Smart-технологии в решении проблем людей с ограниченными возможностями .....	168
---	-----

<b>Нурманов Ж.А., Семёнова М.М.</b> Развитие Smart-технологий в современной жизни .....	172
---	-----

<b>Трофимов В.А.</b> Технологии Smart systems для корпоративного обучения .....	176
---	-----

<b>Наберухин М.В.</b> Единый Smart-университет. От слов к действию .....	178
--	-----

<b>Кремлев И.А., Вымятина Д.В.</b> Искусственный интеллект – проблемы правовой регламентации.....	181
---	-----

<b>Мясникова Т.В.</b> Уровни мотивации к овладению творческой компетентностью в области «Интеллектуальной электроэнергетики» .....	184
--	-----

<b>Каргин А.М.</b> Методология формирования и оценки компетенций в подготовке инженеров в области Smart systems .....	188
---	-----

<b>Кожина А.В., Старшинов В.С.</b> Влияние тренингов на качество образовательного процесса студентов .....	191
--	-----

<b>Кожина А.В., Старшинов В.С.</b> Кураторская деятельность как технология развития общекультурных компетенций студентов .....	195
--	-----

### **Секция 12. Мой первый шаг в науку (Для школьников)**

<b>Жирухин М.Р.</b> Батарейка на воде: прошлое или будущее? .....	198
---	-----

<b>Рябинин Р.П.</b> Термогенератор.....	201
---	-----

<b>Туркасов В.А.</b> Определение дозовых нагрузок при работе с нейтронным источником.....	203
---	-----

<b>Колесникова П.А., Колупаева Д.С.</b> Получение экологически чистого топлива – водорода.....	204
--	-----

<b>Эм О.А.</b> Основные принципы проектирования сети электроснабжения	206
---	-----

<b>Курбонов С.Р., Чурилов А.А., Куренбин А.А.</b> Типы двигателей работающих на солнечной энергии.....	208
--	-----

<b>Чурилов А.А., Куренбин А.А., Курбонов С.Р.</b> Работа фотоэлектрических двигателей .....	211
<b>Магеррамов Р.А.</b> Устройство для накопления кинетической энергии..	215
<b>Иконникова К.Д., Близнюк Д.А.</b> Освоение биоэнергетических материалов – альтернативных источников энергии .....	217
<b>Мясоедов С.В., Якухина Е.В.</b> Перспективы применения суперконденсаторов .....	218
<b>Акимова Е.Б.</b> О получении карбида вольфрама в плазме дугового разряда постоянного тока .....	220
<b>Сизиков Ф.А., Тюленин Т.А.</b> Вечный фонарик .....	222