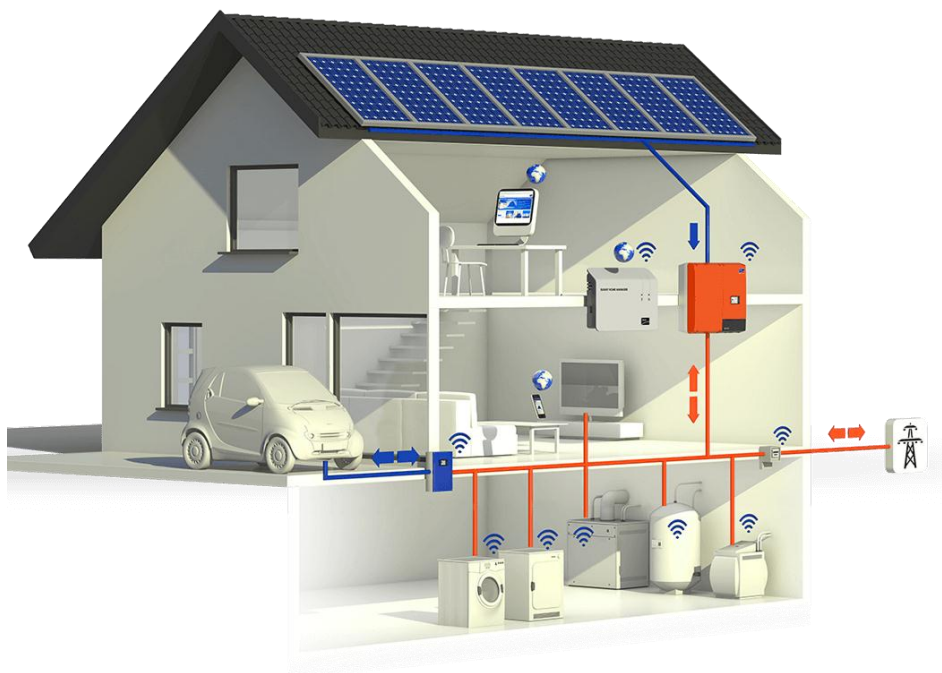


# МАТЕРИАЛЫ

## IV Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»

Научное издание  
2021 • Часть 1



Санкт-Петербург  
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»  
Высшая школа технологии и энергетики

## **МАТЕРИАЛЫ**

### **IV Международной научно-практической конференции обучающихся и преподавателей «ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»**

Научное издание  
2021 • Часть 1

*Под общей редакцией кандидата технических наук,  
доцента Т.Ю. Коротковой*

Санкт-Петербург  
2021

УДК 620.9  
ББК 31  
Э 651

**Редакционная коллегия:**

доктор технических наук, профессор *В.В. Барановский*  
(Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз»)

доктор технических наук, профессор *В.В. Пеленко*  
(Национальный исследовательский университет ИТМО)

кандидат технических наук, доцент *Г.А. Стеклова* (Санкт-Петербургский  
государственный университет промышленных технологий и дизайна)

**Э 651** Материалы IV Международной научно - практической конференции обучающихся и преподавателей. В 2 ч. / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петерб. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; сост. М.С. Липатов, Г.А. Морозов; под общ. ред. Т.Ю. Коротковой. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. - Ч. 1 — 236 с. ISBN 978-5-91646-260-9.

В настоящем сборнике представлены материалы IV Международной научно - практической конференции обучающихся и преподавателей «Энергетика и автоматизация в современном обществе», состоявшейся 04 июня 2021 года в г. Санкт-Петербурге.

Сборник предназначен для широкого круга читателей, интересующихся научными исследованиями и разработками, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов учебных заведений, а также всех, проявляющих интерес к рассматриваемой проблематике с целью использования в научной работе и учебной деятельности.

Материалы представлены в авторской редакции. Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов. Организаторы конференции не несут ответственность перед авторами и/или третьими лицами за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

*Материалы конференции размещены в научной электронной библиотеке [elibrary.ru](http://elibrary.ru) и зарегистрированы в наукометрической базе РИНЦ (Российский индекс научного цитирования).*

ISBN 978-5-91646-260-9

УДК 620.9  
ББК 31

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2021

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ  
НА НАЛИЧИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ  
МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

аспирант **Кадим Мохаммед Худаир**,  
д-р техн. наук, зав. кафедрой **Русинов Леон Абрамович**  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет),  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Керамическая плитка является одним из наиболее востребованных отделочных материалов, при этом области ее использования все время расширяются. Так, она используется для охлаждения космических аппаратов при спуске, защиты от радиации и т.п. В то же время, несмотря на достаточно высокий уровень автоматизации производства плитки, конечный ее контроль производится, практически, вручную. В статье предлагается метод автоматического контроля однотонных плиток на наличие дефектов механического происхождения. Метод состоит в обработке изображения плитки с отбраковкой по СКО интенсивности пикселей.

**Ключевые слова.** Дефекты керамической плитки, цифровая обработка изображений, контроль качества.

**AUTOMATION OF CONTROL OF CERAMIC TILES FOR  
SURFACE DEFECTS OF MECHANICAL ORIGIN**

**Kadhim Mohammed Khudhair,**  
**Rusinov Leon Abramovich**

**Abstract.** Ceramic tiles are one of the most demanded finishing materials, and the areas of their use are constantly expanding. So it is used for cooling spacecraft during descent, protection from radiation, etc. At the same time, despite the rather high level of automation of tile production, its final control is carried out, practically, manually. The article proposes a method for automatic control of plain tiles for defects of mechanical origin. The method consists in processing the image of the tile with rejection according to the standard deviation of the pixel intensity.

**Keywords.** Defects of ceramic tiles, digital image processing, quality control.

Поверхностные дефекты керамической плитки достаточно разнообразны. Требования к ее качеству определяются международными и государственными стандартами [1]. Наиболее часто поверхность плитки повреждается от механических воздействий (далее, просто - механические дефекты), которые могут произойти на всех стадиях ее производства [2]. К ним, в частности, относятся трещины (посечки), царапины, волосяные трещины на глазури (цеки), ямки и т.п.

В настоящее время контроль дефектов такого типа в большинстве случаев производится вручную, что приводит к многочисленным ошибкам вследствие большой нагрузки на зрение операторов, требований напряженного внимания, ограничения времени для принятия ими решения из-за движения конвейера, быстрого развития их усталости.

В статье предлагается метод автоматического обнаружения механических дефектов на лицевой поверхности гладких и однотонных керамических плиток с возможностью их отбраковки в реальном времени с конвейера. Метод предполагает получение изображения контролируемой плитки с последующей его обработкой. Основное требование к алгоритму, реализующему этот метод, касается быстродействия.

Изображение формируется цветной веб-камерой с разрешением не менее 2000x2000 пикселей в формате \*.jpg. Обработка производилась в среде открытой библиотеки OpenCV с привлечением других библиотек, которые используются для анализа 2D-изображений. Программа была написана на языке Python 3.7. В рабочей среде PyCharm 2019.3.5 (communityedition). Блок-схема предлагаемого алгоритма приведена на рисунке 1.

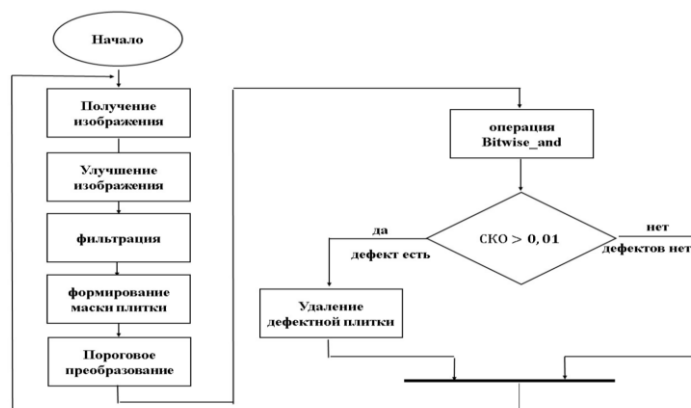


Рис. 1 - Блок-схема алгоритма классификации керамической плитки на хорошие и дефектные плитки

Первой операцией обработки является переход от полихромного изображения в монохромное полутонное («оттенки серого»), что позволяет значительно ускорить дальнейшую обработку.

Так как исходное изображение как правило, освещается недостаточно равномерно, контрастность в зонах дефектов также различна, то необходимо провести улучшение изображения повысив яркость и контрастность.

Низкоконтрастные изображения могут возникнуть в нашем случае из-за небольшой разности в контрасте между дефектом и тоном поверхности плитки. Идея повышения контраста заключается в увеличении динамического диапазона уровней интенсивности пикселей (расширению активной зоны гистограммы) при обработке изображения. Естественно, если динамический диапазон изменения интенсивности равен диапазону кодирования (обычно используется 8-байтовое представление интенсивности, т.е. динамический диапазон равен 256), то методы, ориентированные на изменение гистограммы не пригодны.

Одним из распространённых методов увеличения контраста является эквализация гистограммы [3]. Фактически при этом достигается равномерная плотность распределения интенсивностей пикселей изображения по всему диапазону их изменения. Такой глобальный подход оказался полезным при обнаружении дефектов, достаточно сильно контрастирующих с тоном плитки (трещины, темные пятна и т.п.), но практически не влиял на контраст пятен с небольшими изменениями цвета по отношению к общему тону плиток.

В этом случае удобно использовать простой метод линейного контрастирования, на основе преобразования исходного изображения вида [4]:

$$\begin{cases} y_{max} = \alpha x_{max} + \beta \\ y_{min} = \alpha x_{min} + \beta \end{cases}, \quad (1)$$

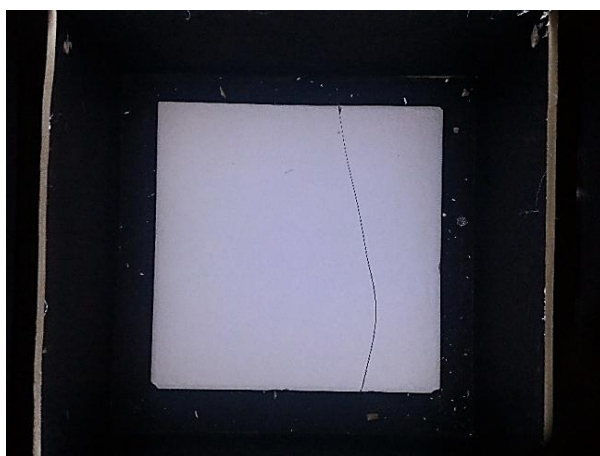
где  $y_{max}$  и  $y_{min}$  – максимальное и минимальное значения интенсивности преобразованного изображения (при 8-ми байтном кодировании 255 и 0 соответственно);  $x_{max}$  и  $x_{min}$  – максимальное и минимальное значения интенсивности пикселей исходного изображения;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты. При этом  $\alpha$  - влияет на расширение динамического диапазона, а  $\beta$  – параметр его сдвига на оси гистограммы.

Улучшить результат контрастирования можно, если предварительно отсечь «хвосты», хорошо видимые на интегральной кривой гистограммы, где число пикселей мало (например, менее 1-2%). Это позволит определить  $x_{max}$  и  $x_{min}$ , найти из уравнений (1)  $\alpha$  и  $\beta$ , и провести

контрастирование для оставшейся части гистограммы. При этом отсечку удобно производить, задавшись процентной долей отсекаемой части интегральной кривой (`clip_hist_percent`). Если требуется повысить контраст низкоконтрастных участков плитки можно выделить и растянуть требуемую часть динамического диапазона исходного изображения. Участки, не попавшие в эту часть, будут черными. Достоинство метода – высокая скорость обработки.

Для удаления шума, часто имеющего в своем составе аномальные значения, в большинстве случаев используется нелинейная медианная фильтрация. В этом случае уровни яркости пикселей, которые принадлежат окну фильтра, ранжируются по возрастанию интенсивности (вариационный ряд). Центральному пикселу присваивается значение интенсивности среднего члена этого ряда (или полусуммы пары средних значений при четном числе пикселей в маске). Обычно окно выбирается размером 5x5 пикселей.

Так как исходное изображение включает фон, окружающий лежащую на ленте конвейера плитку (рисунк.2), то необходимо выделить область собственно плитки. Для этого используется пороговая обработка с глобальным порогом Отсу [3]. В этом случае, если интенсивность пиксела менее некоторого порогового значения, то пиксел обнуляется (становится черным), в противном случае – белым. Чтобы очистить поле маски, выполняется операция закрытия, убирающая мелкие темные шумовые точки, представляющая собой составной оператор, при котором сначала выполняется дилатация, а потом эрозия с тем же структурным элементом [3]. Чтобы убрать полосы и дефекты фона производится обратная морфологическая операция открытия.



*Рис.2. - Исходное изображение  
(видны вертикальные полосы – границы ленты конвейера)*

В результате получаем белое изображение плитки на темном фоне, которое далее используется как маска для ограничения поиска дефектов только в области, соответствующей лицевой поверхности плитки. (рис.3).

Для выделения дефектов также используется бинаризация изображения. Но в этом случае, учитывая для снижения требований к равномерности освещения плитки, предлагается использовать адаптивную бинаризацию с локальными порогами [5]. При этом в OpenCV предлагается для такой бинаризации использовать варианты вычисления локальных порогов по среднему значению или по средневзвешенному значению интенсивностей соседних пикселей. Во втором случае веса  $w(i,j)$  определяются функцией Гаусса:

$$w(i,j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma^2}\right\}. \quad (2)$$

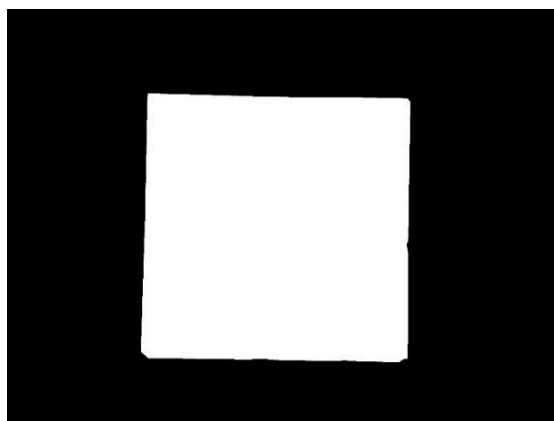


Рис.3 - Изображение плитки, используемое в качестве маски для устранения фона

Соседние пиксели определяется квадратным блоком с преобразуемым пикселем в его центре. Размеры блока обычно варьируются в широких пределах и определяют зону задания функции бс.

Именно этот вариант вычисления порогов при бинаризации принят в предлагаемом алгоритме. При этом OpenCV позволяет настраивать метод, вводя константу  $C$ . Тогда пороговое значение будет представлять собой взвешенную по Гауссу сумму значений интенсивностей соседних пикселей за вычетом константы  $C$  [6]. Экспериментально был подобран размер блока  $59 \times 59$  и  $C=10$ .

Далее операцией по-пиксельного сравнения с маской (Bitwise\_and) получаем изображение с выделенными дефектами на лицевой поверхности плитки (рис.4). Для определения дефектная плитка или нет алгоритм подсчитывает среднеквадратичное отклонение СКО и сравнивает с порогом  $\gamma$ :



$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (I_{(i,j)} - K_{(i,j)})^2} \geq \gamma, \quad (3)$$

где  $M, N$  - количество пикселей в строке и столбце соответственно;  $I_{(i,j)}, K_{(i,j)}$  - интенсивности пикселей маски (эталонного изображения) и обработанного изображения. Значение порога  $\gamma=0,01$  было найдено экспериментально. Для этого было исследовано 90 плиток, из которых 40 штук были без дефектов, а остальные с различными механическими дефектами. Число правильных обнаружений составило 98%.



Рис.4. - Обработанное изображение плитки с дефектом в виде неглубокой трещины

Как уже отмечалось выше важным требованием к алгоритму обработки является время, затрачиваемое на прием и обработку изображения очередной плитки. Время, затрачиваемое на обработку изображения одной плитки, практически менее 550 мс (таблица 1).

Таблица 1. Затраты времени на обработку изображения одной плитки

Время (мс)	Хорошие плитки		Дефектные плитки	
	Кол-во плиток	процент	Кол-во плиток	процент
Время $\leq 500$	31	77.5 %	35	70 %
$500(\text{нс}) < \text{Время} < 550$	9	22.5 %	14	28 %
$550 < \text{Время} < 600$	0	0 %	1	2 %

Таким образом, предложена методика и скоростной алгоритм обработки изображений однотонной плитки, эффективно выявляющий поверхностные дефекты механического происхождения.

#### **Список использованных источников:**

1. ГОСТ 13996—2019. Плитки керамически. Общие технические условия (ISO 13006:2018, NEQ)/ М.: Стандартиформ, 2019 – 42 с.
2. Hocenski Ž., Keser T. Failure Detection and Isolation in Ceramic Tile Edges Based on Contour Descriptor Analysis // 15<sup>th</sup> Mediterranean Conference on Control & Automation, Athens, 2007, – 6 p. doi: 10.1109/MED.2007.4433713.
3. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
4. Грузман И.С., Киричук В.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002 -352 с.
5. Dnyandeo S.V., Nipanikar R.S. A Review of Adaptive Thresholding Techniques for Vehicle Number Plate Recognition // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, 2016. - Vol. 5, - No 4. - P. 944-946.
6. Open Source Computer Vision.Image Thresholding.  
URL: [https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial\\_py\\_thresholding.html](https://docs.opencv.org/3.4/d7/d4d/tutorial_py_thresholding.html)  
(дата обращения 31.04.2021).

© М.Х. Кадим, Л.А. Русинов, 2021

## СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

студент гр. 241712 **Хакимбеков Темурмалик Турсунпулот угли**,  
канд. техн. наук, доцент **Смолина Наталья Владимировна**  
Высшая школа энергетики, нефти и газа САФУ,  
г. Архангельск, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность использования технологических и инженерных методов обеспечения энергоэффективности многоквартирного жилого дома в г. Архангельске. Изучен опыт использования возобновляемых источников энергии для энергоснабжения жилых зданий. Приведен пример расчета теплового насоса.

**Ключевые слова.** Энергосбережение, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, адаптивная вентиляция.

## METHODS TO ENSURE THE ENERGY EFFICIENCY OF A RESIDENTIAL BUILDING IN HARSH CLIMATIC CONDITIONS

**Khakimbekov Temurmaliq Tursunpulot ugli,**  
**Smolina Natalia Vladimirovna**

**Abstract.** The article explores the possibility of using technological and engineering methods to ensure the energy efficiency of an apartment building in Arkhangelsk. The experience of using renewable energy for residential buildings has been studied. An example is given of calculating the heat pump.

**Keywords.** Energy saving, energy efficiency, renewables, adaptive ventilation.

Жилищно-коммунальный сектор России является одним из основных потребителей теплоэнергетических ресурсов. В целом объем теплопотребления по стране составляет более 1600 млн Гкал/год, при этом только на отопление жилых зданий расходуется более 600 млн Гкал. Стратегически важным направлением развития экономики России является

энергосбережение, в том числе и в жилых домах. Отметим, что сокращение расхода топлива выгодно с точки зрения, как экономики, так и экологии. Ряд энергоэффективных решений можно предусмотреть еще на стадии проекта здания.

В данной работе рассмотрено среднеэтажное жилое здание (5 этажей, 80 квартир). Здание имеет прямоугольную форму, показатель компактности равен 0,32 (для пятиэтажных жилых домов эта величина, как правило, не превышает 0,36). Площадь здания в плане 960 м<sup>2</sup>.

Наиболее уязвимым участком ограждающей конструкции здания является световой проем. Окна – это каналы теплопотерь, поэтому желательно, чтобы проем был минимальным, но для достаточной освещенности он должен быть больше. Это противоречие разрешается разработанными нормативными документами.

Приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ от 14 декабря 2018 года №807/пр введено в действие Изменение № 1 к СП 50.13330.2012. Изменение касается значений требуемого сопротивления теплопередаче для светопрозрачных конструкций. Начиная с 15.06.2019 для условий Архангельска величина  $R_{\Sigma}^{TP}$  для жилого здания составляет 0,73 (м<sup>2</sup>·К)/Вт вместо ранее требуемого значения 0,61. Высокое сопротивление теплопередаче возможно при использовании низкоэмиссионных стекол, заполнении межстекольного пространства инертным газом и применении многокамерных ПВХ-профилей.

Определены климатические данные района расположения объекта [1]: температура наиболее холодной пятидневки –33 °С; средняя температура отопительного периода –4,5 °С; продолжительность отопительного периода 250 суток.

В суровых климатических условиях в строительстве необходимо использовать материалы с хорошими теплоизоляционными характеристиками. В наши дни строительство многоквартирных жилых домов ведётся по нескольким основным технологиям: кирпич, панели и монолитный железобетон.

Кирпич очень прочен и долговечен, при нормальных условиях эксплуатации может прослужить до 150 лет. Отличается огнестойкостью и экологичностью, обладает низкой теплопроводностью по сравнению с железобетоном, из которого строят и монолитные, и панельные дома. Кирпич может как впитывать, так и отдавать влагу, что имеет значение для климатических зон с высокой относительной влажностью воздуха.

Монолитно-кирпичное жильё дешевле, чем кирпичное. Но данный тип строительства недостаточно изучен. Монолитно-кирпичная технология появилась в России относительно недавно, и делать выводы об особенностях этих домов рано.

Основное преимущество панельных домов перед кирпичными заключается не в качестве, а в дешевизне строительства, в конечной стоимости квадратного метра для покупателя. Такие дома очень быстро строятся.

Проведен опрос, целью которого было выяснить, каким строительным материалам люди на Севере доверяют. Был задан вопрос: «Если бы Вы могли выбирать, в каком доме жить, что бы Вы выбрали?» Предложены варианты ответов: а) панельный; б) монолитный; в) кирпичный; г) другой вариант. В таблице 1 показано, как распределились ответы. Как видно из таблицы, большинство опрошенных предпочли бы жить в кирпичных домах.

Немаловажно и то, какой утеплитель использовать. Он должен быть пожаробезопасным, не выделять вредных веществ, не впитывать влагу, не разрушаться в течение длительного времени. Всеми этими качествами обладает каменная вата.

Таблица 1. Результаты опроса

Тип здания	Возраст участвовавших в опросе, лет			Итого
	18...30 (27 чел. - 39, 7%)	31...50 (23 чел. - 33,8 %)	51...70 (18 чел. – 26,5 %)	
а (панельный)	2 (7,4 %)	3 (13,0 %)	1 (5,6 %)	6 (8,8 %)
б (монолитный)	9 (33,3 %)	8 (34,8 %)	5 (27,8 %)	22 (32,4 %)
в (кирпичный)	12 (44,4 %)	9 (39,1 %)	8 (44,4%)	29 (42,6 %)
г (другое)*	4 (14,9 %)	3 (13,1 %)	4 (22,2%)	11 (16,2 %)

\*Участниками опроса были названы следующие варианты: деревянный и любой из предложенных.

В работе принято конструктивное решение наружной стены здания: кирпичная стена с утеплителем (каменная вата) и воздушным зазором. Слой облицовки из кирпича армируют и скрепляют с несущей стеной связующими элементами из базальто- или стеклопластика для устранения мостиков холода.

Для ограждающих конструкций по известной методике были определены сопротивления теплопередаче [2, с. 74], коэффициент теплопередачи. Рассчитаны теплопотери за счет теплопередачи через ограждающие конструкции. Предварительные расчетные теплопотери составляют 80 кВт.

В настоящее время из-за постоянного роста цен на топливо, тепловую и электрическую энергию, вырабатываемую с помощью невозобновляемых источников, возобновляемые источники приобретают все большую популярность. Рассмотрим некоторые из них.

Как правило, ветрогенераторы используются для производства электрической энергии. Их использование сопровождается недостатками:

- для работы необходимо обеспечить расстояние между ветроустановками не менее их утроенной высоты;
- районы с постоянными ветрами обычно удалены от населенных пунктов. Например, в Архангельске средняя скорость ветра 3 м/с, а значит, ветрогенератор может вырабатывать только 2–3% от своей номинальной мощности, так как номинальную мощность получают при скорости ветра 8,5–10 м/с [3].

В Новосибирске в лабораториях проблем энергосбережения и термогазодинамики ИТ СО РАН сотрудники работают над ветрогенератором, который нагревает жидкость, используя тепловую энергию. Удельная тепловая мощность, выделяемая в теплогенераторе, может составлять около 1 МВт/м<sup>3</sup>. Это говорит о перспективности использования таких аппаратов для преобразования ветровой энергии в теплоту [4, с. 284]. Но данная установка находится на стадии разработки и работает при минимальной скорости ветра 4 м/с.

Земля ежедневно получает от Солнца огромное количество энергии – в тысячу раз больше, чем вырабатывается всеми электростанциями мира. Солнечную энергию выгодно аккумулировать и использовать в виде тепла, как показывает опыт ее применения в южных и умеренных широтах.

Например, в Узбекистане в рамках проекта «Содействие в развитии строительства энергоэффективного жилья» в Самаркандской, Сурхандарьинской, Ферганской, Хорезмской и в Бухарской областях построено 800 трехкомнатных домов с низким потреблением энергии. В каждом доме установлены и работают фотоэлектрические станции (ФЭС) мощностью 300 Ватт для нужд освещения. В десяти домах установлены солнечные водонагреватели. Нагретая вода может быть использована для

душа. Снижение энергопотребления в этих домах достигается также за счет использования качественных специальных строительных материалов, утепления ограждающих конструкций, уплотнения окон, автоматического регулирования температуры помещений.

Воздушно-солнечные коллекторы используются для преобразования лучевой энергии солнца в тепловую. Холодный наружный воздух или остывший воздух из помещения, проходя через гелиоабсорбер, нагревается и подается в помещение, замещая остывший отработанный воздух.

Но во всех вышеперечисленных областях Узбекистана солнечных дней в году более 320, а в Архангельске количество солнечных дней (когда слой облаков не превышает 20%) изменяется от 0,5 в январе до 7,5 в июле. Общее количество солнечных дней в году на севере почти в 5 раз меньше, чем дней сплошной облачности (более 80% покрова).

В США и странах Европы для отопления домов, в том числе и многоэтажных, используются геотермальные тепловые насосы (ТН). Например, для пятиэтажного дома, где предварительные расчетные теплопотери составляют 80 кВт, можно принять к установке рассольно-водяные тепловые насосы Viessmann Vitocal 300-G (производство Германии) двухступенчатые мощностью 11,4-34,4 кВт [5]. Потребуется три насоса.

Коэффициент трансформации теплоты (COP) для такого теплового насоса составляет 4,8.

Тепловая мощность контуров грунтового теплообменника для одного теплового насоса, кВт:

$$P = P_n \cdot (1 - 1/\text{COP}), \quad (1)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность теплового насоса.

$$P = 34,4 \cdot (1 - 1/4,8) = 27,2 \text{ кВт.}$$

Необходимая длина горизонтального теплообменника одного теплового насоса, м:

$$l = P/q, \quad (2)$$

где  $q$  - мощность, снимаемая с одного метра труб. В глине  $q = 50 \dots 60$  Вт, в песке – 30...40 Вт для умеренных широт, на севере значения меньше [6, с.210]. Принимаем для горизонтальных коллекторов  $q = 25$  Вт/м.

$$l = 27,2/0,025 = 1088 \text{ м.}$$

Для работы одного насоса требуется 10 грунтовых контуров длиной по 110 м каждый.

Площадь коллектора для одного теплового насоса,  $m^2$  :

$$F = l \cdot s, \quad (3)$$

где  $s$  – шаг укладки труб,  $s = 0,8 \dots 1,0$  м.

$$F = 10 \cdot 110 \cdot 0,8 = 880 \text{ м}^2.$$

Тогда площадь коллекторов для работы трех насосов составит  $2640 \text{ м}^2$ .

Таким образом, площадь коллектора почти в 3 раза превышает площадь, занимаемую зданием. Учитывая стоимость оборудования, работ и цену на землю, вариант использования теплового насоса для рассматриваемого здания вряд ли осуществим.

При укладке труб в вертикальные скважины глубиной 100 м мощность, снимаемая с одного метра трубы, увеличивается до 50-60 Вт/м; тогда, принимая исходные данные как и для предыдущего расчета, определяем общую длину зонда. Она составит 1600 м. Потребуется 16 скважин глубиной 100 м.

При условии, что расстояние между скважинами составляет не менее 7 м, минимальная площадь, занимаемая зондами, для рассмотренного здания составит  $\approx 450 \text{ м}^2$ , что существенно меньше, чем для горизонтального коллектора. Но при этом возрастает сложность и стоимость работ.

Кроме того, при использовании теплового насоса более 1800 часов в год, участки вокруг скважины промерзают. Для Архангельска при продолжительности отопительного периода 250 сут. (6000 часов) только 30% потребности в тепле покрывается тепловым насосом.

Расход топлива на отопление и вентиляцию квартир в России соизмеримы. Поэтому вопрос о системах вентиляции жилых зданий в целях экономии теплоты очень важен.

На большей части территории России средние температуры существенно ниже, чем в других странах. Средние температуры самого холодного месяца для некоторых городов составляют: Лондон –  $(+5,3) \text{ }^\circ\text{C}$ , Париж –  $(+3,4) \text{ }^\circ\text{C}$ , Нью-Йорк –  $(-0,8) \text{ }^\circ\text{C}$ , Стокгольм –  $(-3) \text{ }^\circ\text{C}$ , Берлин –  $(-3) \text{ }^\circ\text{C}$ , Архангельск –  $(-13,6) \text{ }^\circ\text{C}$ . Зная эти значения температур, можно определить, что в январе в Архангельске расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий значительно (на  $45 \dots 180$ )% выше, чем в других городах. Кроме того, в Архангельске продолжительность отопительного периода больше, чем в названных городах, а значит, при расчетах расхода теплоты за год эта разница окажется ещё заметнее [6].



Система вентиляции с рекуперацией теплоты – одно из решений для уменьшения потерь энергии. Она позволяет использовать теплоту отработанного воздуха для подогрева свежего приточного. Основное преимущество системы заключается в том, что параметры воздухообмена и температуры можно задавать в индивидуальном режиме. За счет этого снижение потребления тепловой энергии составляет около 35%.

Разработана адаптивная вентиляция по потребности. Здесь экономить возможно на том, что жилые помещения заселены далеко не круглые сутки (люди покидают жилые помещения на длительное время – уходят на работу, уезжают на выходные). В пустующих помещениях можно снизить расчетный воздухообмен без ущерба для качества воздуха. Это происходит автоматически. Определяются индикаторы присутствия людей в помещении (инфракрасное излучение от человека, концентрация углекислого газа, пары воды). Такой способ позволяет экономить 30–50% тепла.

При сочетании двух энергосберегающих технологий можно получить максимальную экономию. Сначала с помощью датчиков углекислого газа и движения понижается расход воздуха на вентиляцию, а затем используется традиционный рекуператор.

При централизованной системе вентиляции ее устройство будет более простым и требующим меньших единовременных затрат. Но при использовании централизованной системы затрудняется возможное сокращение воздухообмена для снижения расхода теплоты на вентиляцию. При использовании квартирной системы сокращение воздухообмена является возможным, поэтому оптимальным вариантом следует считать квартирную систему. Она позволяет существенно сократить расходуемую теплоту.

Таким образом, выполненные исследования и расчеты показывают, что энергоэффективный многоквартирный дом в Архангельске – это здание с минимальным энергопотреблением, так как пока в суровых условиях существующие технологии не позволяют построить, тем более, за разумную стоимость, дом без использования традиционных источников энергии. В то же время, если предусмотреть энергоэффективные решения при проектировании здания, и снизить энергоемкость объекта, то можно уменьшить и мощность теплового пункта, и использовать меньший диаметр у сетей теплоснабжения.

### Список использованных источников:

1. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. Введ. 2019-05-29. – М.: Минрегион, 2018. 107 с.
2. Малявина Е.Г. Справочное пособие «Теплопотери здания». М.: Издательство АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.
3. Ветрогенераторы: НПК «ЭЛПРОМ». Url:<http://www.elprom-st.ru/home/stati/vetrogeneratory/>(дата обращения 23.03.2021).
4. Серов А.Ф., Назаров А.Д., Мамонов В.Н., Терехов В.И., Миськив Н.Б. Экспериментальное исследование конверсии механической энергии в тепло в мультицилиндровой системе Куэтта-Тэйлора с независимо вращающимися цилиндрами.// Седьмая российская национальная конференция по теплообмену Москва, 22–26 октября 2018 года. С. 281-284. Url:<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36831097&> (дата обращения 25.03.2021).
5. Тепловой насос Viessmann Vitocal 300-G. Url:[https://viessmann-rus.ru/product/pumps/teplovoj\\_nasos\\_viessmann\\_vitocal\\_300/](https://viessmann-rus.ru/product/pumps/teplovoj_nasos_viessmann_vitocal_300/)(дата обращения 18.02.2021).
6. Опарина, Л.А. Основы ресурсо- и энергосбережения в строительстве: учеб. пособие. Иваново: ПресСто, 2014. 256 с.

© Т.Т. угли Хакимбеков, Н.В. Смолина, 2021

## ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ

аспирант 2 курса **Титоренко Ксения Викторовна**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доц. **Добрынин Евгений Викторович**  
Самарский государственный университет путей сообщения,  
г. Самара, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье изложены основные существующие технологии сетей дальнего радиуса действия. Предложена система контроля уровня напряжения в контактной сети, которая способна решить следующие проблемы: оперативный контроль уровня напряжения в контактной сети, мониторинг состояния и эффективное управление системами тягового электроснабжения.

**Ключевые слова.** Системы тягового электроснабжения, мониторинг состояния системы, управление режимами, напряжение.

## EFFICIENT CONTROL OF THE CONTACT MAINS VOLTAGE

**Titorenko Ksenia Viktorovna**

**Abstract.** The article outlines the main suitable technologies for long-range networks. The proposed system for monitoring the voltage in the contact network is able to solve the following problems: operational control of the voltage level in the contact network, monitoring the condition and effective control of the traction power supply system.

**Keywords.** Traction power supply systems, system state monitoring, mode control, voltage.

Управление системами тягового электроснабжения как постоянного, так и переменного тока особенно актуально в перспективе повышения энергоэффективности перевозочного процесса. Эффективное управление возможно обеспечить только с помощью интеллектуальных систем обработки информации с автономных устройств сбора данных, способных в режиме реального времени собирать, обрабатывать данные и на основе результатов обработки выдавать управляющие решения в систему тягового

электроснабжения. Существует множество подходов, на которых строятся современные подобные системы связи между устройствами. В основном при создании таких систем предпочтение отдается таким параметрам как: эффективность, дальность, скорость. Оптимальными считаются системы, которые способны обеспечить любые два из перечисленных параметра.

Ключевым направлением развития систем связи сегодня является концепция Интернета вещей. Проблема питания устройств, составляющих данные системы решена с помощью батарейного питания, так как наличие батареи исключает постоянную подзарядку и минимизирует необходимость частого обслуживания устройств. Наиболее популярными среди подобных технологий являются LoRa, SIGFOX, NB-IoT, WeightlessP и другие.

Из общих преимуществ этих сетей перед WiFi и сотовыми сетями отмечают высокую дальность связи, низкое электропотребление, повышенную помехозащищенность, высокую степень автономности конечных устройств.

Одна из проблем всех систем достаточно низкая скорость передачи данных.

Однако скорость передачи данных в NB-IoT достигает 200 кбит/с, что является достаточным для устройств, периодически передающих однотипные данные небольшого объема.

В технологии WeightlessP проблему со скоростью решают с помощью использования метода адаптивной скорости передачи данных. При передаче данных регулируется фактическая скорость в зависимости от близости каждого узла к базовой станции. Чем ближе к базовой станции конечные узлы, тем более высокая скорость передачи данных (эфирное время становится короче, выходная мощность становится более низкой). Обратное, узлы, которые наиболее удалены от базовой станции, используют самую низкую скорость передачи данных и самую высокую выходную мощность. Данный метод обеспечивает оптимальную производительность сети, таким образом срок службы батарей конечных устройств увеличивается [3, с. 33-48].

Для решения проблемы сбора данных на всем участке движения поезда с минимальной задержкой ранее в публикации [2, с. 73-76], предлагалась система контроля уровня напряжения в контактной сети, в которой устанавливаются дополнительные датчики напряжения на перегоне. Установка дополнительных датчиков напряжения на перегоне позволит определять распределение нагрузки по тяговой сети, динамику уровня напряжения при движении ЭПС по участку, а также производить

расчет потерь электроэнергии в реальном времени и выполнять анализ процесса электропотребления.

Система, состоящая из контактной подвески двух смежных путей (КС) тяговых подстанций (ТП), питающих линий тяговых подстанций (ПЛ), датчиков тока и напряжения (Д), поста секционирования (ПС), датчиков напряжения (ДН), пунктов параллельного соединения (ППС) [4, с. 411-414]. Система получает информацию об уровне напряжения в тяговой сети по тем координатам, где установлены ДН. Система определяет значение токов в ПЛ на ТП и ОЛ ПС, ПС. Информация о полученных значениях с датчиков напряжения ДН передаются на устройства сбора и анализа данных на тяговых подстанциях. Передача осуществляется через радиоканал с возможностью (функцией) ретрансляции у других датчиков напряжения [1, с. 28-31].

Для обеспечения передачи данных от места фиксации до сервера предлагается использование системы, состоящей из:

1) датчиков, установленных на участке (1, 2, 3, 4). Датчики тока и напряжения являются ретрансляторами и имеют возможность передавать данные на соседние датчики по всему участку движения поезда;

2) регистраторов (Р), функционал которых включает - сбор данных, обеспечение доступа к ним через различные сети, и осуществление их передачи по определяемому пользователем протоколу. С помощью регистратора появится возможность производить принятие решений локально или дистанционно по управлению и межмашинным обменом данными, решение конкретных задач, требующих долговременного дистанционного контроля и управления сервера.

3) модуля сбора данных (М). Он предназначен для сбора, хранения и передачи данных, полученных от других устройств, для измерения унифицированных сигналов тока, сохранения и их передачи.

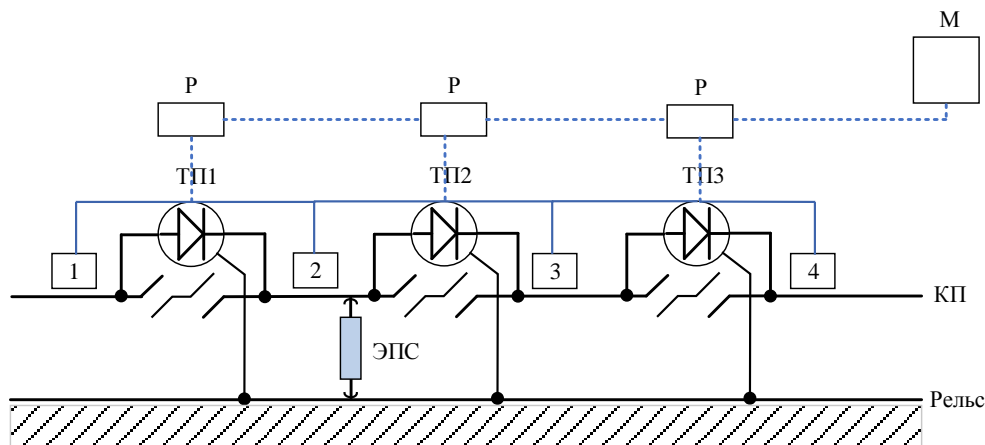


Рис. 1 - Структурная схема управления СТЭ

На представленной схеме (рис.1) показана структура системы управления системой тягового электроснабжения, в которой устройства предлагается подключить по сети с применением технологий сетей дальнего радиуса действия (синие пунктирные линии). Эта система позволит, контролируя уровень напряжения в контактной сети на перегонах, согласованно управлять мощностью на тяговых подстанциях (ТП).

Таким образом, предлагаемая система контроля уровня напряжения в контактной сети с применением технологий сетей дальнего радиуса действия, имея низкое энергопотребление, позволяет по полученной информации проводить мониторинг состояния системы тягового электроснабжения, выявлять места возможных повреждений и предупреждать их появление. Также подобные системы, с помощью анализа полученных данных, позволят самым оптимальным и эффективным образом управлять системами тягового электроснабжения.

#### **Список использованных источников:**

1. Добрынин Е.В., Титоренко К.В. Система контроля уровня напряжения в контактной сети/ Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Электроэнергетические комплексы и системы: история, опыт, перспектива»/ - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2020. - С. 28-31.
2. Добрынин Е.В., Титоренко К.В. Управление системами тягового электроснабжения / Академическая наука и высшая школа: стратегии и тренды развития// - Уфа № 5 (49). – С. 73-76.
3. Кумаритова Д. Л., Киричек Р. В. Обзор и сравнительный анализ технологий LPWAN сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 4.- С. 33–48.
4. Титоренко К.В., Добрынин Е.В., Бошкарева Т.В., Табаков О.В. Оперативный контроль уровня напряжения в контактной сети/ Наука и образование транспорту / Самара: СамГУПС. 2019. № 1. - С. 411 – 414.

© К.В. Титоренко, 2021

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ЛУЩЕНИЯ ШПОНА С УЧЕТОМ  
ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ**

магистрант гр. 1УТСм-03-21оп **Купрейчук Роман Сергеевич**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Смыслова Алена Леонидовна**  
Череповецкий государственный университет,  
г. Череповец, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматривается задача создания имитационной модели для анализа технологических норм, поиска проблемных мест, отладки технологических режимов на оптимальных технических параметрах работы линии лущения шпона на фанерном производстве АО “Череповецкий фанерно-мебельный комбинат”, с целью увеличения производительности линии лущения шпона, для увеличения рентабельности фанерного производства. Эффективность данной модели достигается путем сбора в режиме реального времени статистических данных, на основе которых выводятся данные технологических параметров на графики в различных вариантах технической логистики производства.

**Ключевые слова.** Имитационная модель, AnyLogic, лущеный шпон, ножницы лущения шпона.

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF A SIMULATION MODEL OF  
THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF VENEER PEELING,  
TAKING INTO ACCOUNT  
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL DATA**

**Kupreychuk Roman Sergeevich**

**Abstract.** The task of creating a simulation model for analyzing technological standards, finding problem areas, debugging technological modes on the optimal technical parameters of the veneer peeling line at the plywood production of JSC “Cherepovets Plywood and Furniture Plant”, in order to increase the productivity of the veneer peeling line, to increase the profitability of plywood production, is considered. The effectiveness of this model is

achieved by collecting real-time statistical data, on the basis of which the data of technological parameters are displayed on graphs in various variants of technical logistics of production.

**Keywords.** Simulation model, AnyLogic, peeled veneer, veneer peeling scissors.

### *Введение*

Луцильный цех любого фанерного предприятия представляет собой уникальную архитектуру внутреннего расположения оборудования с учетом особенностей конкретного производства [2, с. 349].

Заказ нового или модернизация эксплуатируемого оборудования, в частности линии лущения шпона, основывается на показателях и параметрах уже наработанных временем оборудовании без просчета узких мест и вытекающих проблем при увеличении некоторых значимых производственных достижений, таких как, производительность [3, с. 185].

Узким местом в работе линии лущения шпона, является образование набеганий ленты березового шпона ввиду разности инерционной составляющей вращения чурака в шпинделях и движения входного транспортера ножниц [1, с. 78].

При синхронизации системы управления скоростными режимами станка и ножниц лущения шпона, в следствии чего повысится производительность линии лущения шпона, точнее ее автоматизированная часть, отбор полноформатного шпона.

Отбор кускового шпона, который используется в средних слоях клейки фанеры осуществляется вручную и при увеличении выпускаемого объема лущеного шпона, окажется проблемным, что приведет к перерасходу сырья. Средние показатели производительности линии лущения шпона приведены в таблице 1.

При уравнивании повышенной производительности всех технологических процессов линии лущения шпона, вытекающей проблемой в дальнейшем производственной линии, будет ее конструктивная часть.

Решение данных проблем можно достичь разными методами, например разработкой новых или усовершенствованием алгоритмов основанных на нечеткой логике [4, с. 14], имитационным моделированием [5, с. 70 - 75], математическим моделированием [7, с. 42].



Таблица 1 – Средние показатели выхода шпона за 2019 год

	<i>Заболонь</i> (м <sup>3</sup> /смена)	<i>Ложное ядро</i> (м <sup>3</sup> /смена)	<i>Кусковой шпон</i> (м <sup>3</sup> /смена)
<i>Январь</i>	33,7	6,5	3,7
<i>Февраль</i>	31,5	5,3	3,5
<i>Март</i>	33,1	7,3	3,4
<i>Апрель</i>	29,7	8,4	3,2
<i>Май</i>	34,2	6,3	3,7
<i>Июнь</i>	33,5	5,7	3,3
<i>Июль</i>	35,2	7,1	3,8
<i>Август</i>	27,9	6,8	3,4
<i>Сентябрь</i>	28,7	5,9	3,2
<i>Октябрь</i>	31,9	6,9	3,9
<i>Ноябрь</i>	34,6	7,4	3,8
<i>Декабрь</i>	32,1	6,3	3,7

Имитационное моделирование широко используется для решения различных проблем от оптимизации промежуточных процессов до стратегического управления параметрами производственного оборудования [6, с. 245 - 242]. Проведение имитационных экспериментов позволяет оценить влияние изменения различных параметров системы и принять правильное решение. Моделирование позволяет анализировать не только конкретный процесс, но и систему производства в целом, что дает возможность проверить капиталоемкость той или иной стратегии управления.

Проведение экспериментов с использованием модели избавляет от необходимости проведения экспериментов в реальной жизни и не мешает работе производства.

Имитационную модель, как правило строят всегда проще реального объекта и в ней опускают несущественные детали для конкретного исследования и выделяются наиболее важные. На всех этапах разработки модели и после ее создания, исследуется структура и поведение системы, осуществляется проверка ее поведения в определенных условиях, задаются и сравниваются разные сценарии работы и способы оптимизации. При полном анализе найденного оптимального решения, его можно применить в реальной системе.

### *Постановка задачи*

Учитывая особенности технологических процессов лущения шпона, определим в качестве объектов моделирования следующие узлы и параметры:

- скорость ленты;
- система сортировки;
- стопа чистого шпона;
- стопа ложного ядра;
- время работы оператора отбора кускового шпона;
- время отдыха оператора отбора кускового шпона;
- стопа кускового шпона;
- количество шпона в дробилку (перерасход сырья).

Текущая версия имитационной модели разработана с учетом ряда допущений:

- не учитывается возможное неудовлетворительное техническое состояние узлов и механизмов станка и ножниц линии лущения;

- в текущей версии модель является вспомогательным инструментом для поиска проблемных мест, отладки технологических режимов по анализу исторических данных и планирования оптимизации оборудования в перспективу;

- в текущей версии модели разбирается один из экспериментов «что – если», без изменений в конструктивной части ножниц лущильного станка, по одной из проблем при увеличении производительности линии лущения шпона.

### *Разработка имитационной модели*

Для визуализации технологических процессов и ограничения производственных возможностей оборудования: сортировки полноформатного шпона на столы чистого и ложного ядра, а так-же кускового шпона, воспользуемся дискретно-событийным моделированием, где процессы представляются в виде потоковой диаграммы (см. рис. 2).

Таким образом, с помощью пакета AnyLogic существует возможность имитации всего технологического процесса производства лущеного шпона.

Учитывая особенности технологических процессов лущения шпона, определим в качестве объектов моделирования следующие узлы и параметры:

- скорость ленты;
- система сортировки;
- стопа чистого шпона;
- стопа ложного ядра;

- время работы оператора отбора кускового шпона;
- время отдыха оператора отбора кускового шпона;
- стопа кускового шпона;
- количество шпона в дробилку (перерасход сырья).

Текущая версия имитационной модели разработана с учетом ряда допущений:

- не учитывается возможное неудовлетворительное техническое состояние узлов и механизмов станка и ножниц линии лущения;

- в текущей версии модель является вспомогательным инструментом для поиска проблемных мест, отладки технологических режимов по анализу исторических данных и планирования оптимизации оборудования в перспективу;

- в текущей версии модели разбирается один из экспериментов «что – если» по одной из проблем при увеличении производительности линии лущения шпона.

С помощью пакета инструментария AnyLogic построен план технологической цепочки процесса распределения шпона по сортности ножниц линии лущения шпона. Реализована симуляция работы существующей системы управления распределения шпона, а так – же ее возможный вариант исполнения для решения проблемы по ручному отбору кускового шпона, под различные заданные скоростные режимы подачи ленты шпона и возможностью изменения технологических параметров сортировки шпона (см. рис. 1).

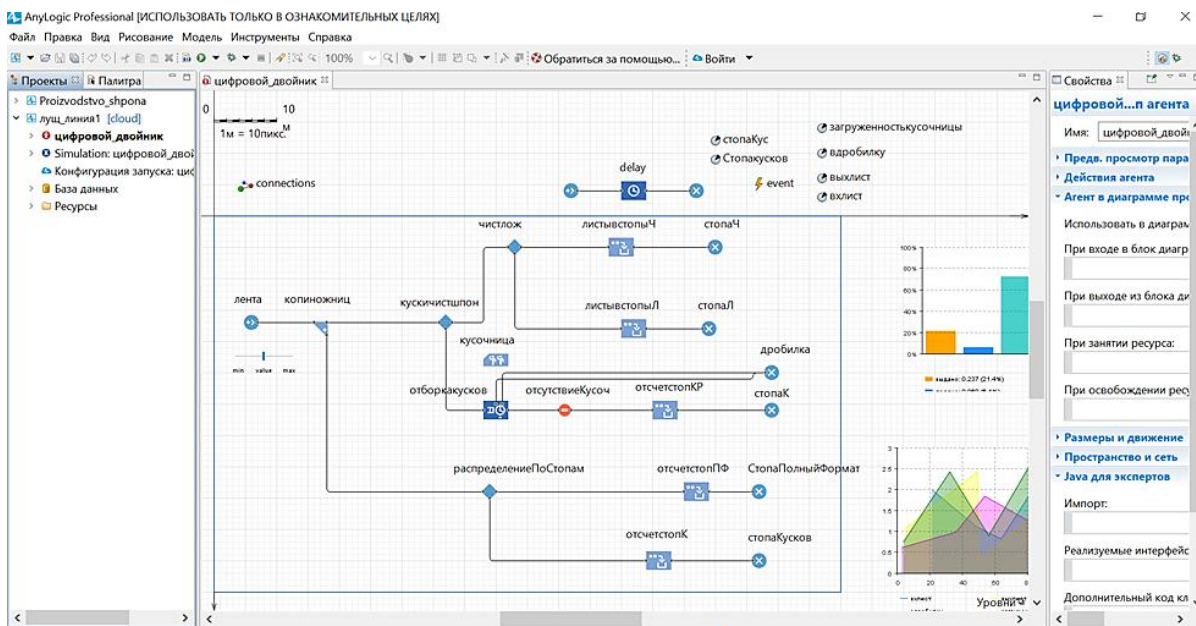


Рис. 1 - Дискретно-событийная модель сортировки шпона на линии лущения

Задачи вида «что – если», так называемая прямая задача имитационного моделирования в AnyLogic решаются с помощью простого эксперимента, он поддерживает средства для отладки модели. Простой эксперимент, с именем Simulation, создается автоматически при создании проекта (см. рис. 2). В этой модели блок лента моделирует поступление отформатированных листов с ленты шпона, заданного скоростного режима модельного времени.

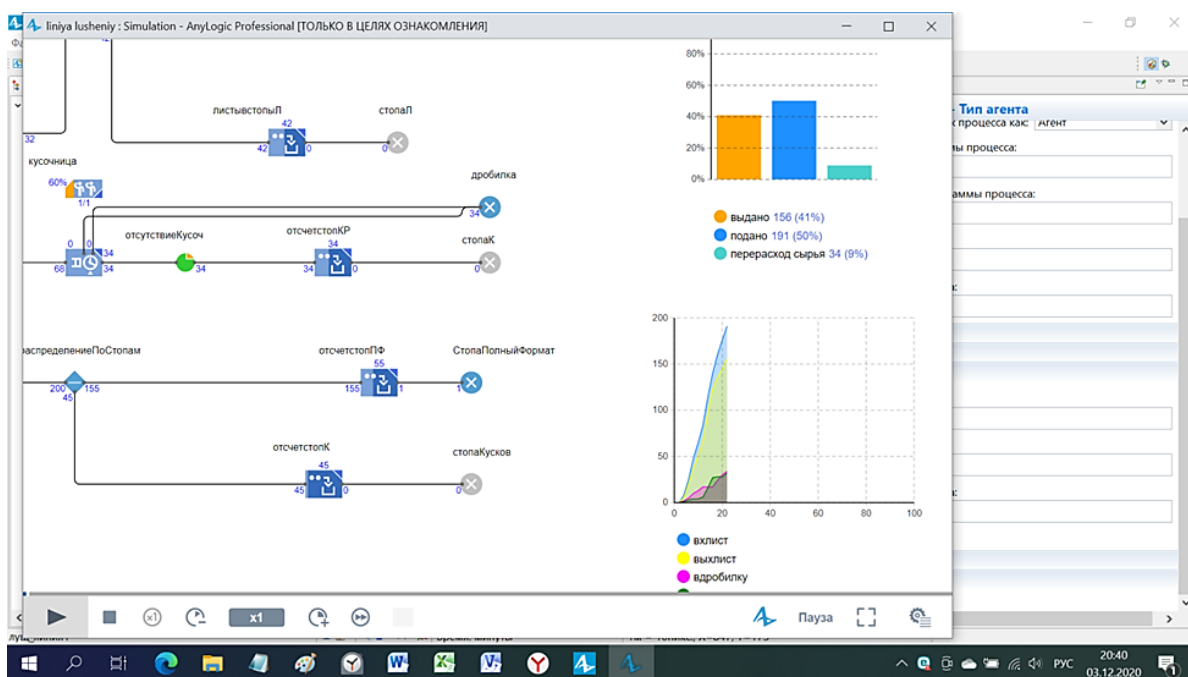


Рис. 2 - Дискретно-событийная модель сортировки шпона на линии луцения

На графике аналитических параметров (см. рис. 3) в процессе запуска экспериментов можем наглядно видеть ряд необходимых данных о проведенном технологическом процессе.

График столбиковой диаграммы, показывает процент перерасхода сырья относительно поданных и выданных листов шпона;

Круговой график диаграммы показывает отношение величины отбора кусков при заданной скорости в ручном режиме (стопаКус) и с измененным технологическим процессом отбора кусков в стопу чистого шпона;

По линейному графику можно отследить загруженность оператора отбора кусков с повышением скорости подачи ложного и чистого ядра.

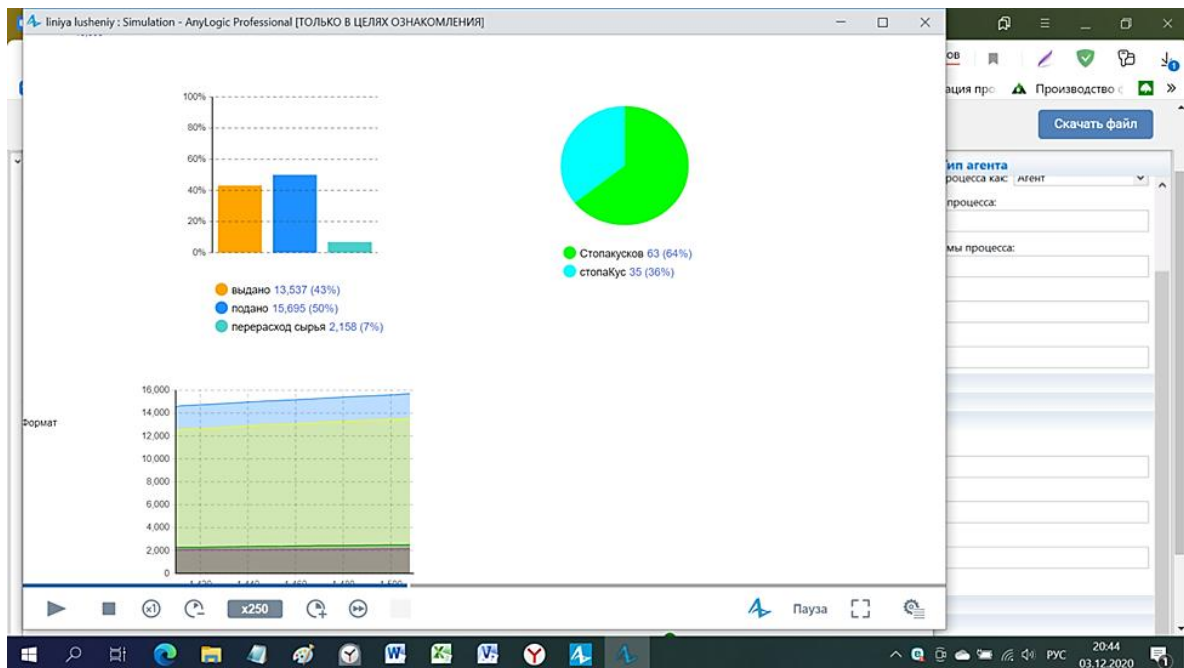


Рис.3 - Графики аналитических параметров

Результаты моделирования свидетельствуют о существенном влиянии повышения производительности линии лущения шпона на перерасход сырья при использовании ручного труда оператора отбора кускового шпона.

### Выводы

Исследована проблема ручного труда линии лущения шпона. Разработана имитационная модель с одним из решений по исключению ручного труда ножниц линии лущения с помощью программного комплекса AnyLogic. Выполнен ряд экспериментов с созданной моделью. В ходе экспериментов выявлено, что при превышении максимальной скорости работы линии лущения 2м/с, именно перемещения шпона на текущий момент, повышение производительности не будет рентабельным для производства лущения шпона без внесения изменений в алгоритмы системы управления технологическими процессами.

Нормативный расход сырья составляет на 1м<sup>3</sup> шпона 1,675м<sup>3</sup> фанерного сырья, норма отбора кускового шпона 10% от общего объема произведенного шпона.

При производительности свыше 40 м<sup>3</sup> в смену ручной отбор кускового шпона не увеличивается, в следствии чего перерасход сырья достигает 70% и увеличивается с течением времени, что недопустимо по технологии производства лущеного шпона.

В предложенном варианте решении проблемы по укладке кускового шпона, без изменения конструктивной части ножниц лущения шпона в

стопу сорта – заболонь, расход сырья не превышает допустимых 67,5% от выработки шпона при любом технически возможном повышении производительности линии.

#### **Список использованных источников:**

1. Технологические инструкции работы лущильного станка 3VKKT фирмы RAUTE АО “ЧФМК”. 1990. С. 78.
2. Техническая документация лущильной линии фирмы RAUTE АО “ЧФМК”. 2003. С. 349.
3. Техническая документация на лущильный станок 3VKKT фирмы RAUTE АО “ЧФМК”. 1987. С. 185.
4. Стжелецки Р., Демидова Г.Л., Лукичев Д.В., Поляков Н.А., Абдуллин А.А., Ловлин С.Ю. Алгоритмы управления электромеханическими объектами с использованием регуляторов на основе нечеткой логики // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. Т. 19. № 1. С. 1–14.
5. Шадрин А. А., Макаренко А. В. Разработка модели функционирования технологического процесса лесообрабатывающего цеха// Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2000. №4. С. 70 – 75.
6. Чижов М.И., Скрипченко Ю.С., Гусев П.Ю. Имитационное моделирование производства деталей из полимерных композиционных материалов, 2014. Т. 6, №2. С. 245-252.
7. Савин А.Г., Князев Д.Н., Андреев Д.С. Математическое моделирование пятикоординатного двухшпиндельного намоточного станка // ИВД. 2016. №3. С. 42.

© Р.С. Купрейчук, 2021

**ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ  
БЕЛАРУСЬ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ АЭС**

аспирант **Богдан Елена Валерьевна**,  
Науч.руководитель: д-р техн. наук., проф. **Карницкий Николай Борисович**  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье проанализировано влияние ввода в эксплуатацию крупных атомных энергоблоков на суточные графики нагрузок белорусской энергосистемы в отопительный и межотопительный периоды. Указаны основные проблемы, возникающие вследствие изменения структуры генерирующих мощностей и изменения базовой части графика электрических нагрузок.

**Ключевые слова.** Энергосистема, суточный график электрических нагрузок, тепловые электрические станции, регулирование, атомная электростанция, покрытие пиковых нагрузок, резерв.

**PROBLEMS OF REGULATION OF THE DAILY SCHEDULE OF  
ELECTRICAL LOADS OF THE POWER SYSTEM OF THE REPUBLIC  
OF BELARUS WITH AN INTEGRATED NPP**

**Bohdan Elena Valer'yevna**

**Abstract.** The article analyzes the impact of commissioning of large nuclear power units on the daily load schedules of the Belarusian power system during the heating and inter-heating periods. It indicates the main problems that arise due to changes in the structure of generating capacities and changes in the basic part of the electrical load schedule.

**Keywords.** Power system, daily schedule of electrical loads, thermal power plants, regulation, nuclear power plant, peak load coverage, reserve.

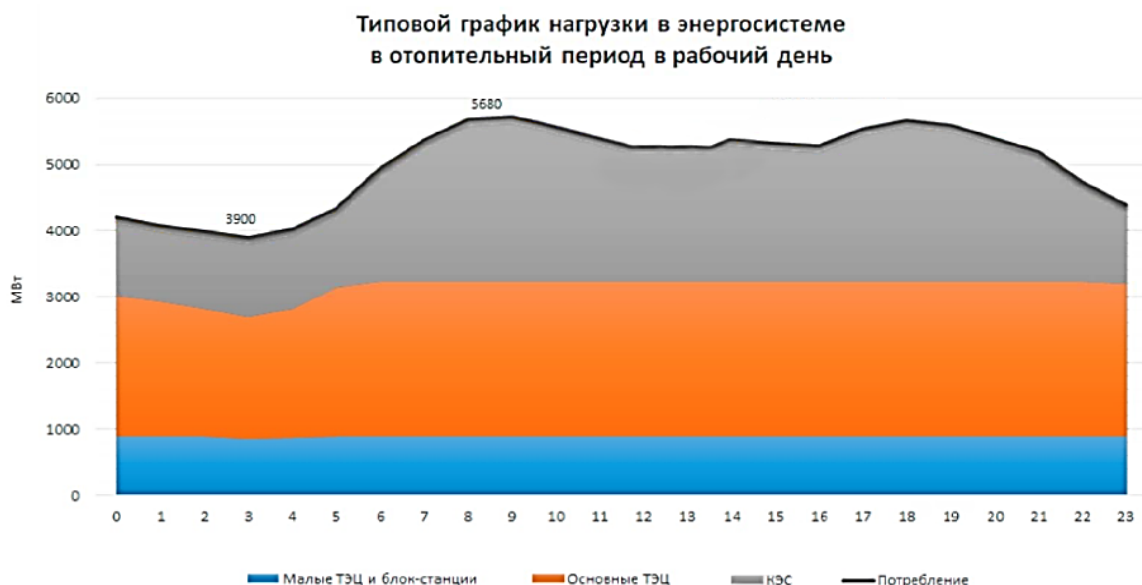
Установленная мощность энергосистемы Республики Беларусь на начало 2021 года составила 10 073,99 МВт [1]. Установленная мощность 67 генерирующих энергоисточников ГПО «Белэнерго» - 8 897,31 МВт, из них:

- 42 тепловых электрических станций электрической мощностью 8 800,19 МВт;
- 24 гидроэлектростанций установленной мощностью 88,11 МВт;
- Новогрудская ветроэлектрическая станция мощностью 9 МВт.

Вместе с тем, помимо электростанций, входящих в состав ГПО "Белэнерго", эксплуатируется 183 блок-станции, суммарная мощность которых составляет 1176 МВт. За последнее десятилетие в Республике Беларусь реализован ряд проектов реконструкции или установки новых генерирующих мощностей на основе парогазовых установок [2].

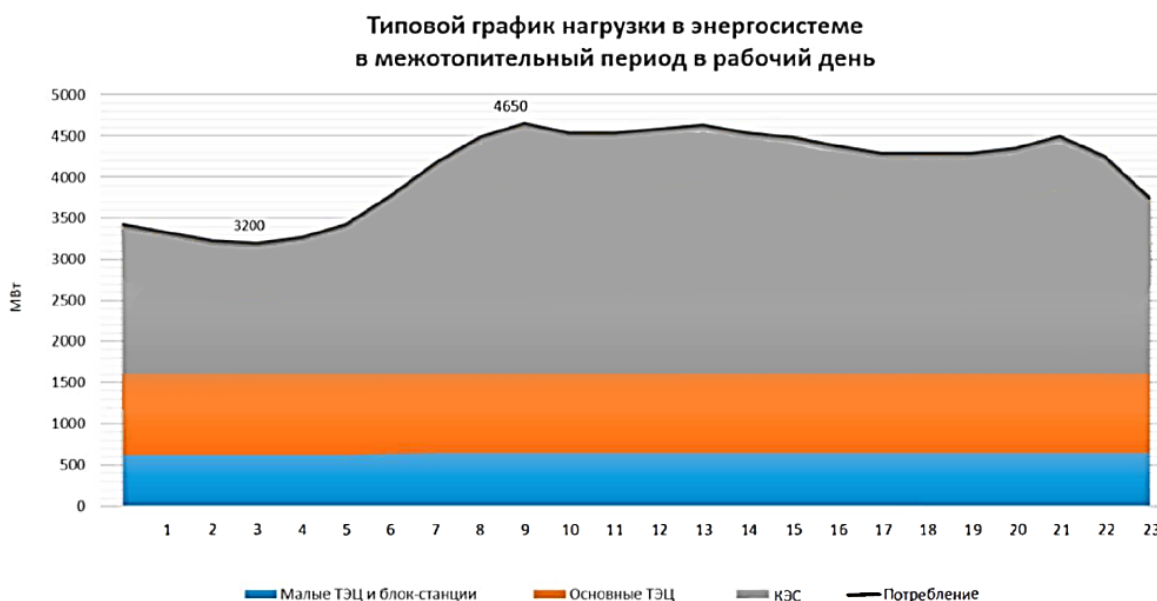
В рамках выполнения Государственных программ с 2006 года в системе ГПО «Белэнерго» введены в эксплуатацию десять энергоисточников на местных видах топлива. Существенной составляющей в решении энергетической проблемы является развитие малой энергетики на биотопливе, в частности, использование мини-ТЭЦ на древесных отходах и фрезерном торфе. В настоящее время энергетические установки, работающие на местных видах топлива, построены в Жодино, Пинске, Осиповичах, Вилейке, Лунинце, Бобруйске, Пружанах, Речице, Барани и других городах страны [3].

Типовые суточные графики нагрузок в энергосистеме Беларуси в отопительный и межотопительный период в рабочий день 2019 года приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.



*Рис. 1 - Суточный график нагрузок (зима)*





*Рис. 2 - Суточный график нагрузок (лето)*

Следует отметить, что существующий суточный график позволяет задействовать самые эффективные источники – ТЭЦ, блок-станции, ПГУ – практически без ограничений (ТЭЦ задействуются без ограничений в неотопительный период и с минимальным ограничением в ночное время в отопительный период). Регулирование суточного графика обеспечивается в большей степени за счет конденсационных блоков КЭС. Резерв в размере мощности самого крупного энергоблока 427 МВт гарантированно обеспечивается за счет вращающихся мощностей недогруженных блоков в системе (горячий вращающийся первичный резерв). Таким образом, суточный график нагрузок сбалансированный, резерв – надежный.

Эффективность работы электростанций Белорусской энергосистемы определяется совокупностью показателей работы отдельного энергетического оборудования. Существенное снижение удельного расхода условного топлива на действующем оборудовании за счет проведения различных технических мероприятий не представляется возможным, поскольку технико-экономические показатели работы оборудования определены нормативными энергетическими характеристиками. Целесообразно замещать неэффективные устаревшие мощности КЭС, занимающие существенную долю в суточном графике, за счет эффективных источников энергии (децентрализованные когенерационные блок-станции, ПГУ-ТЭЦ, АЭС). Одним из ярких примеров повышения эффективности энергосистемы в целом является вывод из работы неэкономичных агрегатов Березовской ГРЭС (2 энергоблока) [4].

В соответствии с государственной программой в 2021 году вводится в промышленную эксплуатацию первый блок Белорусской АЭС мощностью 1194 МВт. БелАЭС – результат эволюционного развития наиболее распространенного и технически совершенного типа станций – АЭС с ВВЭР. Ближайший аналог – Ленинградская АЭС, строящаяся по серийному проекту [5].

Ввод АЭС первого энергоблока АЭС мощностью 1194 МВт в 2021 году и в дальнейшем второго энергоблока той же мощности - непосредственно скажется на изменении базовой части графика электрических нагрузок и ограничит ввод электрических мощностей за счет развития паротурбинных и парогазовых технологий ТЭС. Возникнет необходимость эффективного покрытия пиковой мощности и сопутствующая этому проблема рационального размещения подобных электростанций [6].

На рисунках 3, 4 приведены прогнозные суточные графики нагрузок на 2025 год с учетом ввода и выхода на проектные мощности Белорусской АЭС в отопительный и межотопительный периоды соответственно.

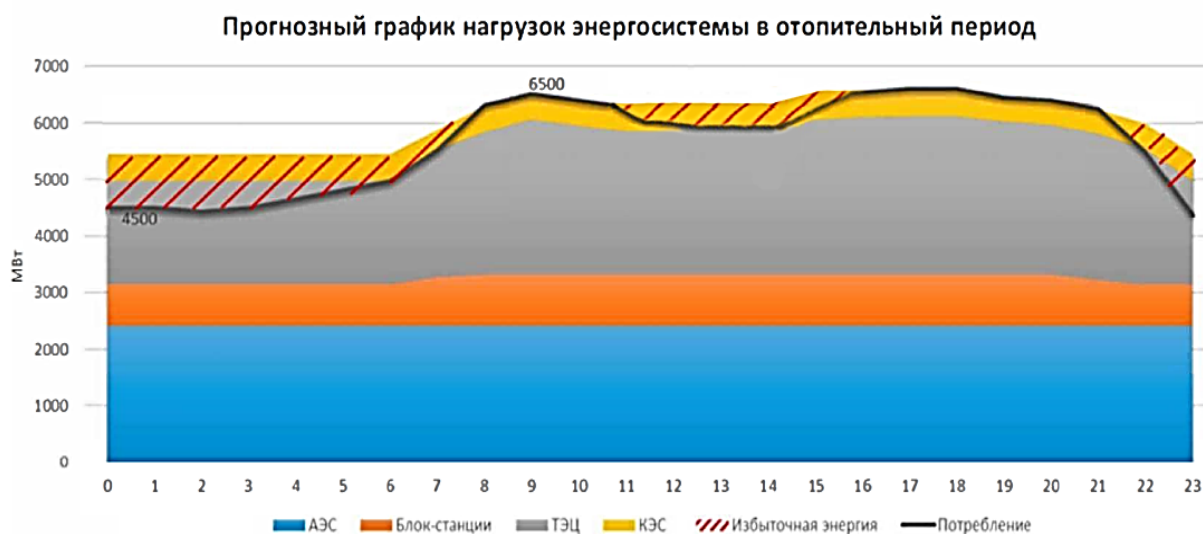
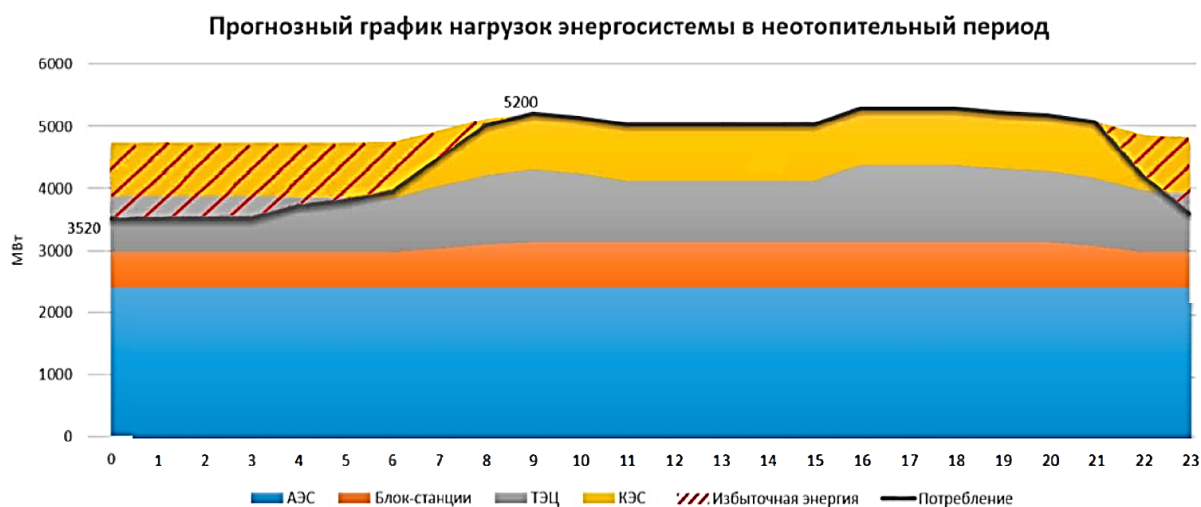


Рис. 3 – Прогнозный суточный график нагрузок (зима)

В целях наибольшего замещения природного газа в размере около 5 млрд. кубометров в год Белорусская АЭС ориентируется на работу с полной загрузкой в базовом режиме. Со вводом её в эксплуатацию на полную мощность в Белорусской энергосистеме сложится ситуация, когда ныне действующие традиционные КЭС и ТЭС, работающие на природном газе, начнут испытывать достаточно существенную недогрузку по

мощности. При этом, как показывают расчёты, чисто избыточная электрическая мощность может превысить 1,5 млн. кВт.



*Рис. 4 – Прогнозный суточный график нагрузок (лето)*

Суточные графики построены с учетом прогнозируемого прироста максимальной нагрузки до 6500 МВт в отопительный период и до 5200 МВт в неотапительный. Однако, даже с учетом вышесказанного, после ввода АЭС наблюдается избыточность генерирующих активов, что приводит к нагрузке со стороны амортизации капитала на тарифы, а также задействование остальных активов рискует быть не оптимальным, что может привести к увеличению общей себестоимости в энергосистеме.

Из всей суммарной электрической мощности ТЭС, для которых базовый режим работы в зимний период является естественным, только половина может рассчитывать на работу в базовой части суточного графика электрической нагрузки энергосистемы, а другая половина должна быть переведена в маневренный полупиковый режим с ежесуточной разгрузкой отборов теплофикационных турбин непосредственно на котлы ТЭС или другие теплоисточники. Исследования, проведенные в РУП «Белнипиэнергопром», показали, что в этой ситуации для разгрузки отборов турбин наиболее эффективно в энергетическом отношении использовать электродкотлы. Образующий при этом сравнительно небольшой перерасход топлива в размере 0,4—0,8 % сопровождается получением дополнительной маневренной полупиковой мощности, спрос на которую в энергосистеме существенно возрастает. Исходя из графиков, ТЭС будут ограничены в отопительный и неотапительный период и замещены в части выработки тепловой энергии электродкотлами и пиковыми котлами и бойлерами.

Для остающихся в работе конденсационных энергоблоков в зимний период наиболее характерным явится пиковый режим, что потребует оценки возможности работы в подобных режимах и при необходимости соответствующей доработки их технических схем. В летний же период, когда ТЭЦ разгружаются по теплу и переводятся в стадию ремонтов, конденсационные энергоблоки частично могут загружаться и по базовому режиму. Таким образом, регулирование суточного баланса должно обеспечиваться за счет конденсационных блоков в дневное время и электрокотлов в ночное время. Суточный график не сбалансирован, требует искусственной нагрузки, предполагает пуски-остановы КЭС.

Резерв в размере мощности самого крупного блока 1200 МВт не обеспечивается за счет вращающихся мощностей недогруженных блоков в системе (горячий вращающийся резерв не обеспечен). Согласно отраслевой программе развития электроэнергетики на 2021 – 2025 годы запланировано строительство пиково-резервных источников суммарной мощностью до 800 МВт. ПРЭИ рискуют стать избыточным решением в условиях общей избыточности мощностей.

К настоящему времени все электростанции энергосистемы в той или иной мере принимают участие в покрытии пиковых нагрузок. Наряду с этим, ввод мощности АЭС станет причиной возникновения необходимости поиска других эффективных способов покрытия пиковых нагрузок. Для энергосистемы Беларуси с интегрированной АЭС в качестве пиковых источников наиболее рационально применять ГТУ, и в некоторых случаях ПГУ, когда нужно быстро набрать/сбросить нагрузку. К примеру, пуск из холодного состояния ПГУ мощностью 170 МВт на Минской ТЭЦ-3 занимает 12-15 минут. Высокоманевренные свойства газовых турбин обуславливают их использование для покрытия остропиковой и полупиковой частей графиков нагрузки.

Ввод АЭС в эксплуатацию приведет к существенному ухудшению показателей работы действующих электростанций, однако это является определённой платой за достигаемое при этом сокращение расхода природного газа и повышение энергетической безопасности. Облегчить положение может более высокий прирост электрической нагрузки, по сравнению с тем, что учитывался в прогнозных расчётах в размере, не превышающем 1% в год, за счёт более интенсивного развития электрификации, установление внешних электроэнергетических связей с выдачей электроэнергии в соседние страны, и в некоторой степени систематически проводимая оптимизация загрузки всех электрогенерирующих установок [7].

### Список использованных источников:

1. Государственное производственное объединение электроэнергетики «Белэнерго» [Электронный ресурс] / «Белэнерго». – Минск, 2021. – Режим доступа: <http://belenergo.by/>. – Дата доступа: 29.03.2021.
2. Богдан, Е. В. Парогазовые установки. Внедрение в Белорусскую энергосистему/ Е.В. Богдан, Н. Б. Карницкий // Электроэнергетика глазами молодежи: труды VI международной молодежной научно-технической конференции. 9–13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т.– Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. Т. 2. – С. 299–300.
3. Богдан, Е.В. Мини-ТЭЦ на местных видах топлива в Беларуси / Е.В. Богдан, Н.Б. Карницкий // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. 1–4 декабря 2015. Кемерово. – Кемерово: ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 2015. – С. 56–58.
4. Савчук Е.Л. Состояние энергосистемы Республики Беларусь и краткая оценка ее эффективности // Энергоэффективность. – 2013. – №6. – С. 14-15.
5. Богдан, Е.В. Особенности инновационного проекта Белорусской АЭС / Е.В. Богдан, Н.Б. Карницкий // XI международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2016»: материалы конференции. 5–7 апреля 2016, Иваново. – В 6 т. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2016. Т. 1. – С. 7–9.
6. Богдан, Е.В. Изменение условий эксплуатации станций при вводе Белорусской АЭС / Е.В. Богдан, Н.Б. Карницкий // X международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Энергия-2015»: материалы конференции. 21–23 апреля 2015, Иваново. – В 7 т.– Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. Т. 1. – С. 24–25.
7. Трутаев, В.И. Взгляд на отечественную энергетику через призму проблем мирового энергообеспечения / В.И. Трутаев // Энергия и Менеджмент. – 2010. – № 4. – С. 3–11.

© Е.В. Богдан, 2021

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНДЕНСАЦИОННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА В ПАРОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ

студент гр. 513 **Савенко Александр Вячеславович**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доцент **Злобин Владимир Германович**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье разобран принцип работы и конструкция конденсационного экономайзера, также приведены основные типы экономайзеров и проанализирована эффективность применения конденсационного оборудования в паровой котельной с целью увеличения КПД за счет нагрева подпиточной воды. Рассчитана ежегодная экономическая выгода для котельной.

**Ключевые слова.** Конденсационный экономайзер, КПД, котельная, паровая котельная.

## EFFICIENCY OF THE CONDENSING ECONOMIZER IN STEAM BOILERS

**Savenko Aleksander Vyacheslavovich**

**Abstract.** The article discusses the principle of operation and design of a condensing economizer, also lists the main types of economizers and analyzes the efficiency of using condensing equipment in a steam boiler house in order to increase efficiency by heating the make-up water. The annual economic benefit for the boiler house has been calculated.

**Keywords.** Condensing economizer, efficiency, boiler room, steam boiler room.

Коэффициент полезного действия современных паровых котельных, достаточно высокой и достигает 90–94 процентов [1]. Однако это не предел производительности, ее можно увеличить путем установки современного конденсационного экономайзера, позволяющего эффективно

утилизировать тепло дымовых газов парогенераторов. Данная установка состоит из следующих элементов: канала впуска дымовых газов, патрубка выпуска воды, патрубка для приборов, коллектора, патрубка для изменения параметров технологического процесса. Изготавливаются конденсационные экономайзеры из стальных трубных пакетов устойчивых к коррозии и имеют водотрубную конструкцию.



Рис. 1 - Принципиальная схема конденсационного экономайзера

Существует два типа конденсационных экономайзеров. Первый тип экономайзер с прямым контактом включает камеру кондиционирования пара, которая соединена с камерой противоточного распыления. Внутри распылительной камеры капли холодной жидкости контактируют с горячим газом, что способствует теплообмену. Этот вариант обеспечивает высокую скорость теплопередачи и позволяет относительно легко восстановить с конденсируемую воду, хотя этот метод может нагревать воду только до 60 °С.

Второй тип экономайзер с непрямым контактом использует кожухотрубчатый теплообменник для улавливания дымовых газов. Этот тип предлагает большую мощность нагрева и охлаждения; воду можно нагреть до 95 °С и охладить до 20 °С [2].



Но не смотря на различие в типе основной принцип работы конденсационного экономайзера состоит в следующем. Сжигаемый газ содержащий водород, при сгорании превращается в водяной пар. Затем дымовые газы, в которых присутствует пар, охлаждаются в экономайзере, где из него выделяется конденсационное тепло. Как показывают исследования наиболее выгодно охлаждать дымовые газы водой обратной линии тепловых сетей, так как это дает прямую выгоду, уменьшая потребление газа в котле.

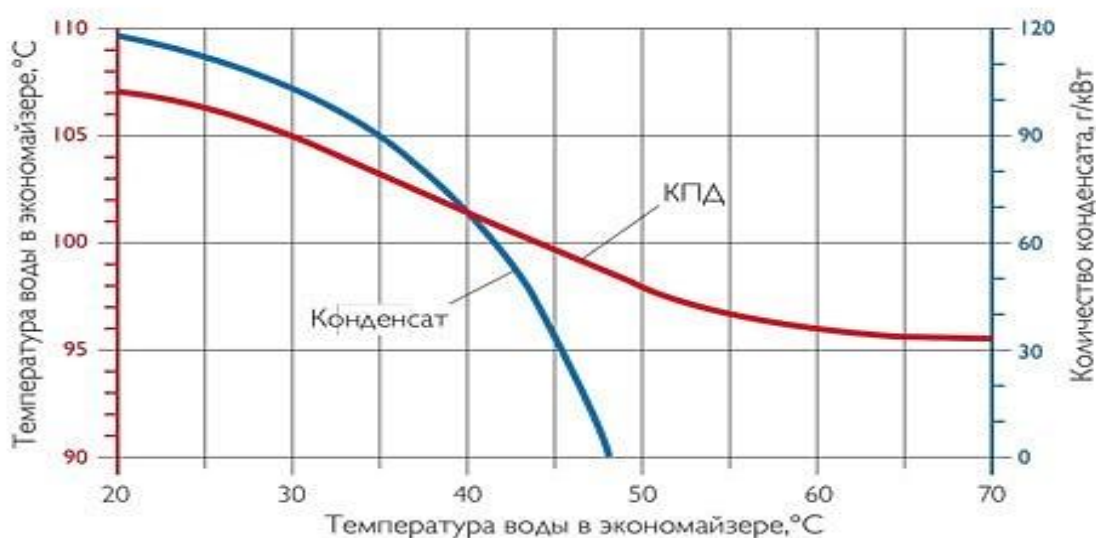


Рис. 2 - Зависимость КПД и конденсата от температуры

Это можно увидеть по графику, где рассмотрена зависимость КПД парового котла и количества полученного конденсата от температуры воды, поступившей в экономайзер. Из графика видно, чем ниже температура воды, тем выше КПД и количество получаемого тепла. Если при температуре обратной воды 70 °C будет достигнут КПД котла свыше 95 %, то понижение температуры обратной воды до 44 °C обеспечивает повышение КПД котла до 100 % [1]. К тому же уменьшение температуры уходящих газов приведет к снижению тепловых потерь в соответствии с формулой Равича М.Б [3].

$$q = 0,01 * (t_{у.г} - t_{х.в}) * Z\%$$

$t_{у.г}$  – температура уходящих газов, °C

$t_{х.в}$  – температура холодного воздуха, °C;

$Z$  – безразмерный коэффициент, который зависит от топлива и состава продуктов сгорания.



Также при проектировании котла с конденсационным экономайзером необходимо учитывать высшую теплоту сгорания топлива. Согласно определению, высшей теплоте сгорания соответствует количество теплоты, выделившейся в результате полного сгорания 1 килограмма топлива при условии, что продукты сгорания охлаждены до температуры содержащихся в них водяных паров. Высшая теплота сгорания определяется по формуле:

$$Q_{рв} = Q_{рн} + 600 \left( 9 * \frac{H_p}{100} + \frac{W_p}{100} \right) = Q_{рн} + 6(9H_p + W_p) \text{ (Ккал/кг)},$$

$H_p$  - величина водорода, имеющегося в топливе в процентах

$W_p$  - величина влаги в процентах.

Таким образом, различие между низшей и высшей теплотой сгорания зависит от количества водорода и влаги. У топлива с малым содержанием водорода и влаги разница не велика. Что также положительно скажется на экономии финансовых средств на закупку топлива.

Рассмотрим на примере эффективность конденсационного экономайзера в паровом котле, работающем на природном газе, который производит 45 тонн в час насыщенного пара под давлением 45 килограмм на квадратный метр. При КПД 94% мощность сжигания котла составляет около 33 мВт/ час. На полной мощности котел потребляет более 2,2 тонн природного газа ежечасно, при этом выпуская 5 тонн высокотемпературного водяного пара каждый час. Пар в дымовых газах содержит более 3,1 мВт/час скрытой теплоты, но количество тепла, доступного для рекуперации, сильно зависит от температуры дымовых газов. Предположим, что конденсационный экономайзер с непрямым контактом установлен в паровую котельную для нагрева 50% подпиточной воды с 12 ° С до 95 ° С, а дымовые газы охлаждаются до 35 °С. В этих условиях 3,1 мВт/ час доступной энергии, будет рекуперировано только 1,8 мВт / час для нагрева подпиточной воды в конденсационном экономайзере [4]. Учитывая 8000 часов работы котла в год и стоимость кВт\ч 4,82 рублей по городу Санкт-Петербург [5], экономия паровой котельной оценивается следующим образом.

$$S_r = 1800 \text{ кВт/ч} * 8000 \text{ ч} * 4,82 \text{ руб} = 77 \text{ млн рублей}$$

За счет, сэкономленных денежных средств, можно продолжить дальнейшую модернизацию котельной.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что внедрение конденсационного экономайзера в паровые котельные позволит не только увеличить КПД энергетических котлов, но и снизит энергетические затраты на подогрев подпиточной воды. А также сократит объем используемой воды за счет эффективного использования конденсата, образовавшегося при глубоком охлаждении части дымовых газов.

#### **Список использованных источников:**

1. Некоммерческое инженерное общество АВОК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.abok.ru/>
2. Первый инженер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://1-engineer.ru/vybiraem-kondensacionnyj-ekonomajzer/>
3. Равич М.Б. Упрощенная методика тепловых расчетов. М.: Наука, 1966. -361с.
4. Теплогенерирующие установки: учеб. для вузов./ Г. Н. Делягин, В. И. Лебедев, Б. А. Пермяков. М.: Стройиздат, 1986. -559 с.
5. Петроэлектросбыт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: [https://www.pes.spb.ru/for\\_customers/electricity\\_tariffs/electricity\\_tariffs\\_for\\_st\\_petersburg/](https://www.pes.spb.ru/for_customers/electricity_tariffs/electricity_tariffs_for_st_petersburg/)

© А.В. Савенко, 2021

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛЭП 500 КВ

студент гр.19ЭЭ(м)АЭСК Маслов Владимир Анатольевич

Науч.руководитель:

канд. техн. наук., доцент Быковская Людмила Владимировна

Оренбургский государственный университет,

г. Оренбург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье представлено моделирование магнитных полей ЛЭП 500 кВ для двух случаев: с учетом расщепления каждой фазы на два провода и при замене проводов расщепленной фазы одним проводом с эквивалентным радиусом в программе FEMM. Полученные результаты сравниваются между собой, а также сравниваются со значениями напряженности магнитного поля, полученными при теоретическом расчете методом зеркальных изображений.

**Ключевые слова.** Моделирование, имитационная модель, магнитное поле ЛЭП, расщепление фазы.

## MODELING OF MAGNETIC FIELDS OF 500 KV ELECTRIC LINE

Maslov Vladimir Anatolyevich

**Abstract.** The article presents a simulation of the magnetic fields of 500 kV transmission lines for two cases: taking into account the splitting of each phase into two wires and when replacing the split phase wires with one wire with an equivalent radius in the FEMM program. The obtained results are compared with each other, and also compared with the values of the magnetic field strength obtained during the theoretical calculation by the method of mirror images.

**Keywords.** Modeling, simulation model, magnetic field of power lines, phase splitting.

Как известно в линиях сверхвысокого напряжения (ВЛ 330-750 кВ) каждая фаза расщеплена на несколько проводов, для увеличения пропускной способности. При определении значений напряженности магнитного поля ЛЭП расщепленную фазу заменяют одним проводом с эквивалентным радиусом.

Цель данного исследования заключается в выяснении влияния замены расщепленной фазы одним проводом с эквивалентным радиусом на значение напряженности магнитного поля ЛЭП 500 кВ.

Исходные данные: примем что фаза расщеплена на два провода марки АС 700/86 [1, с. 15]; максимальный ток фазы 1180 А; радиус провода 0,0181 м; расстояние между проводами фаз 12 м; шаг расщепления 0,4 м; число проводов в фазе 2; высота размещения провода над землей 8,65 м; эквивалентный радиус 0,085 м.

Строим по заданным точкам геометрию проводов ЛЭП. Вводим свойства материалов: воздуха и проводов (алюминий). Также вводим граничные условия (PrescribedA). Далее задаем токи поочередно максимальные значения в каждой фазе (1180 А), в двух других, следовательно значения в два раза меньше и с противоположным знаком (-590 А). В итоге, получаем картину магнитного поля при задании максимального тока в каждой фазе без учета расщепления фазы (рис. 1-3) и с учетом расщепления фазы (рис. 4-6).

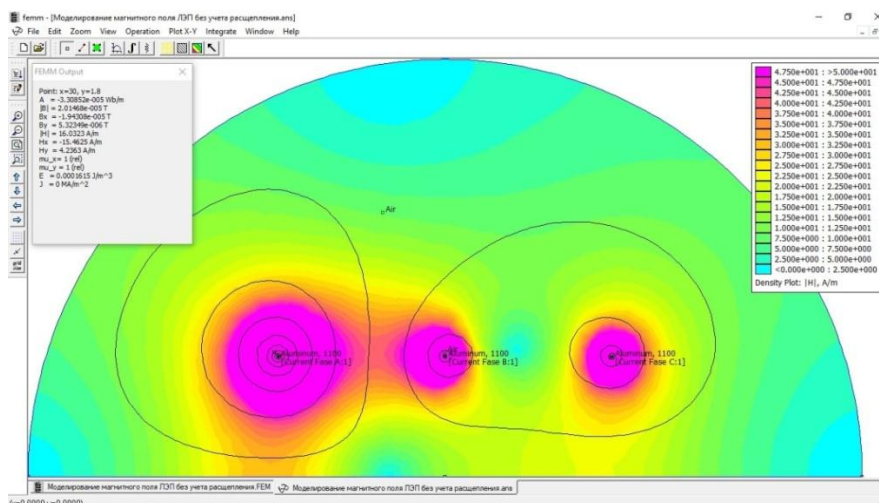


Рис. 1 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе А

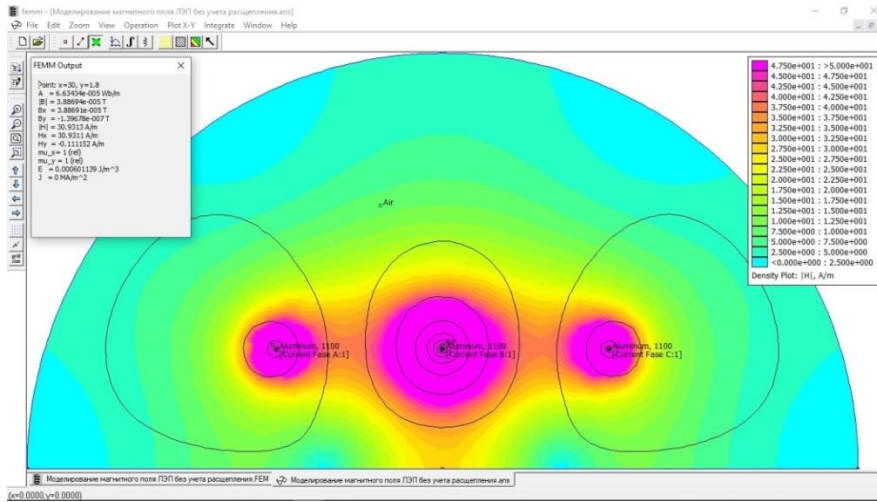


Рис. 2 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе В

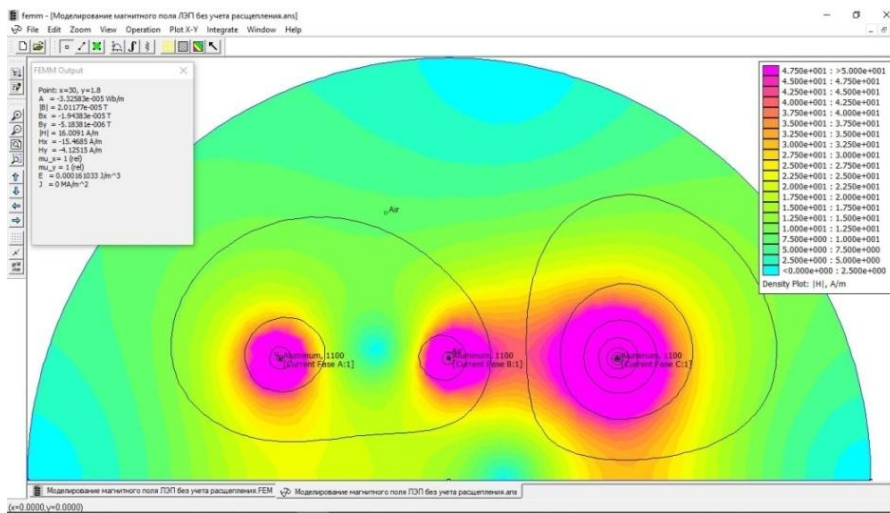


Рис. 3 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе С

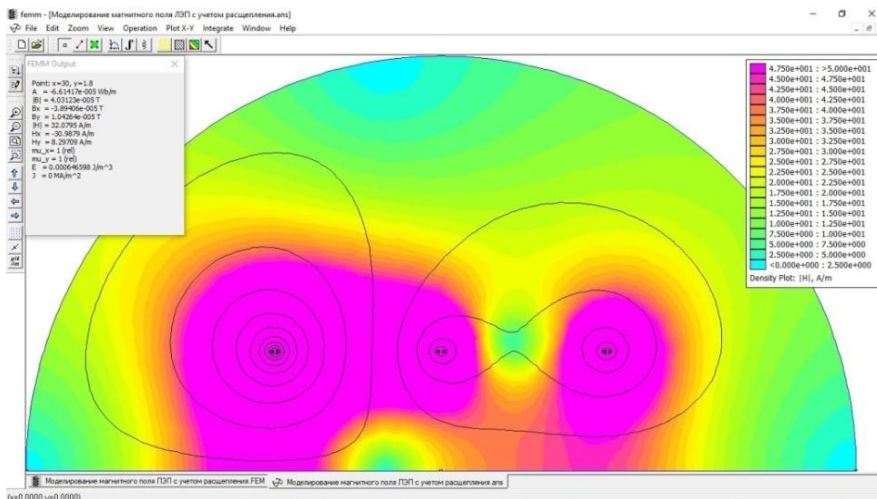


Рис. 4 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе А

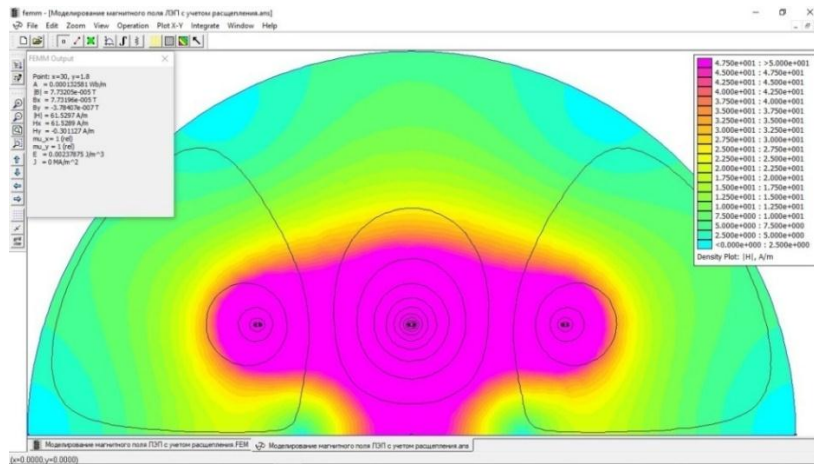


Рис. 5 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе В

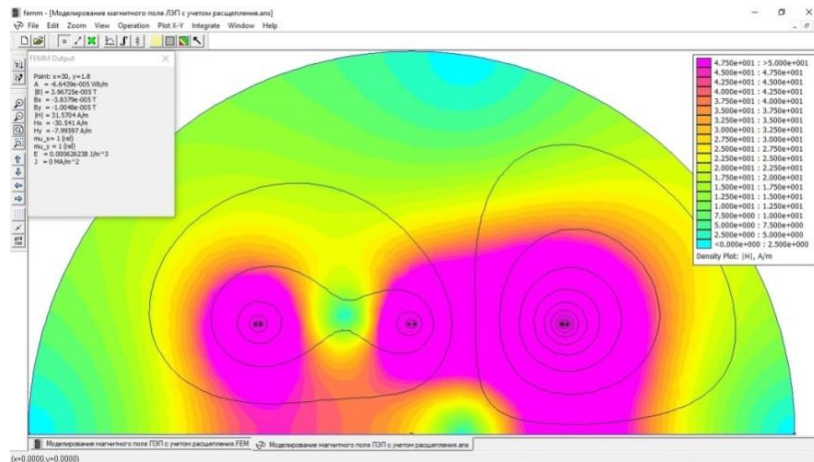


Рис. 6 - Картина магнитного поля при максимальном токе в фазе С

Находим параметры напряженности магнитного поля в заданных точках без учета расщепления фазы и заносим результаты в таблицах 1-3, а также с учетом расщепления фазы (таблицы 4-6).

Таблица 1. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе А

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (X)							
A=1180A; B=-590 A; C=-590 A.	X, м	0	5	10	15	20	25	30
	H, A/м	16,3	19,8	23,3	18,7	10,5	3,5	0,9

Таблица 2. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе В

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (X)							
A=-590A; B=1180 A; C=-590 A.	X, м	0	5	10	15	20	25	30
	H, A/м	30,9	16,8	8,3	10,7	5,6	2,1	0,6

Таблица 3. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе С

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (Х)							
А=-590А; В=-590 А; С=1180 А.	Х, м	0	5	10	15	20	25	30
	Н, А/м	16,2	12,3	30,8	28,7	12,1	5,2	1,4

Таблица 4. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе А

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (Х)							
А=1180А; В=-590 А; С=-590 А.	Х, м	0	5	10	15	20	25	30
	Н, А/м	32,1	39,4	47,4	38,5	17,6	5,8	1,9

Таблица 5. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе В

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (Х)							
А=-590А; В=1180 А; С=-590 А.	Х, м	0	5	10	15	20	25	30
	Н, А/м	61,5	35,3	16,1	20	9,8	3,6	1,1

Таблица 6. Параметры напряженности магнитного поля при максимальном токе в фазе С

Токи в фазах	Зависимость напряженности (Н) МП от расстояния (Х)							
А=-590А; В=-590 А; С=1180 А.	Х, м	0	5	10	15	20	25	30
	Н, А/м	31,5	20,7	67,1	58,8	26,3	9,7	3,1

Теоретические значения напряженности магнитного поля были получены в результате расчета методом зеркальных изображений и были отражены в статье [2]. Сравнение осуществляется для точки (х=0; у=1,8) что соответствует росту взрослого человека и находится под фазой В.

Таблица 7. Сравнение полученных значений напряженности магнитного поля

Напряженность магнитного поля, А/м			
Расчет методом зеркальных изображений		Моделирование в FEMM	
Без учета расщепления фазы	Н=31,306 А/м	Без учета расщепления фазы	Н=30,9 А/м
С учетом расщепления фазы	Н=62,34 А/м	С учетом расщепления фазы	Н=61,5 А/м

В результате значения напряженности магнитного поля ЛЭП 500 кВ полученные при моделировании в программе FEMM, полностью подтверждаются теоретическим расчетом методом зеркальных изображений.

Так же стоит отметить превышение значения напряженности магнитного поля, полученного при расчете с учетом расщепления фазы над величиной напряженности электрического поля, полученной при расчете без учета расщепления фазы практически в два раза.

#### **Список использованных источников:**

1. Ключкова Н.Н. Расчет электропитающих сетей: учеб. пособ. / Н.Н. Ключкова, А.В. Обухова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – 146 с.
2. Маслов В.А. Учет расщепления фазы при расчете магнитного поля ЛЭП 500 кВ./ В.А. Маслов, Л.В. Быковская.// Труды XI Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы»; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2020.

© В.А. Маслов, 2021



## О СПОСОБАХ ОЧИСТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ

студент гр. ЭН – 380018 **Бессонов Илья Алексеевич**,  
студент гр. ЭН – 470018 **Чалпанов Сергей Валерьевич**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доц. **Ташлыков Олег Леонидович**  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ),  
г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** Описаны различные способы очистки натриевого теплоносителя первого контура реакторов на быстрых нейтронах. Проведен анализ результатов использования цезиевых ловушек на реакторах БОР-60 и БН-350. Рассмотрена возможность применения технологий, которые использовались для очистки натрия первого контура реактора БН-350, при выводе из эксплуатации БН-600.

**Ключевые слова.** Изотопы цезия, реакторы на быстрых нейтронах, натрий, вспененный углерод.

## ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THERMOSIPHONS AS PASS HEAT SINK SYSTEMS

**Bessonov Ilya Alekseevich,  
Chalpanov Sergey Valerievich**

**Abstract.** Various methods of purification of the sodium coolant of the primary circuit of fast reactors are described. The analysis of the results of using cesium traps at the BOR-60 and BN-350 reactors is carried out. The possibility of using the technologies that were used to purify sodium in the primary circuit of the BN-350 reactor during the decommissioning of the BN-600 was considered.

**Keywords.** Cesium isotopes, fast reactors, sodium, foamed carbon.

В настоящее время реакторы на быстрых нейтронах являются перспективным направлением развития атомной энергетики, поэтому следует ожидать увеличения количества быстрых реакторов в мире.

Отличием данных реакторов от ВВЭР и РБМК является наличие большого объема жидкометаллического натрия. Во время работы быстрых реакторов происходит разгерметизация некоторых твэлов, что приводит к попаданию в натриевый теплоноситель изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ , которые вносят основной вклад в радиоактивность теплоносителя первого контура. Высокий уровень радиоактивности натрия первого контура создает потенциальные риски для проживающего рядом населения в случае аварии, а также приводит к резкому увеличению финансовых и материальных затрат при выводе АЭС из эксплуатации.

Впервые проблема очистки натрия от цезия возникла при эксплуатации быстрого опытного реактора БОР-60. При проектировании реактора БОР-60 предполагали, что после месяца облучения поврежденного твэла выход  $^{137}\text{Cs}$  не превысит 10% от накопившейся активности и что 90% его будет выводиться из теплоносителя в холодную ловушку. Поэтому допускалась работа с примерно 1% разгерметизированных твэлов (от загрузки) [1].

Через три года эксплуатации реактора с дефектными твэлами, после останова реактора и распада  $^{22}\text{Na}$ , основной вклад (до 80%) в мощность дозы в помещениях первого контуре давали изотопы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{134}\text{Cs}$ . Активность цезия в теплоносителе достигала 74 ГБк/кг, а его суммарная активность в контуре превышала 18 ТБк.

Первоначально для очистки натриевого теплоносителя первого контура использовались холодные ловушки окислов (ХЛО) (рис.1). Эффективность очистки в ней натрия от I и Zn составляет соответственно 99 и 86 %, от других нуклидов - значительно ниже. Сопоставление результатов измерений за 1972-1973 гг. показало, что отношение активностей в ловушке и контуре для большинства нуклидов с погрешностью 30% оставалось неизменным (табл.1).

Таблица 1. Эффективность очистки натрия от радионуклидов холодной ловушкой реактора БОР-60, %

$^{22}\text{Na}, ^{110}\text{Ag}$	$^{60}\text{Co}, ^{124}\text{Sb}$	$^{65}\text{Zn}$	$^{134}, ^{136}, ^{137}\text{Cs}$	$^{131}\text{I}$
4,3 – 5,4	21-22	86	30-38	99

В 1976 г. в период проведения плановых ремонтных работ на остановленном реакторе активность цезия в натрии уменьшилась в четыре раза и увеличилась в холодной ловушке в пять раз в результате протечки масла. Эффективность улавливания цезия ловушкой (отношение активности цезия в ловушке и всей активности цезия в контуре) за

несколько дней изменилась от 0,2 до 0,9 в результате чего радиоактивность ловушке резко выросла (рис.2). Анализ изменения уровня активности цезия в контуре реактора БОР-60 в сентябре-ноябре 1976 г. выявил четкую зависимость в его поведении от содержания в натрии неактивных примесей.

Такое поведение цезия можно объяснить его сорбцией на продуктах разложения масла в натрии. В дальнейшем при подъеме температуры в контуре с работающей холодной ловушкой эти продукты взаимодействия вместе с сорбированным цезием постепенно были переведены в ловушку; масса сорбирующих примесей оказалась достаточной, чтобы в течение последующих лет поддерживать эффективность очистки контура на уровне 90%.

Таким образом, эффективность улавливания цезия холодной ловушкой определяется содержанием в натрии неактивных примесей (углерод и водород). При условии поддержания нормальной технологии натриевого теплоносителя холодные ловушки не могут рассматриваться как эффективное средство очистки теплоносителя от цезия. Следует также отметить, что вследствие больших размеров холодных ловушек и высоких уровней активности в них не были полностью решены вопросы их удаления и захоронения, поэтому на реакторе БОР-60 были проведены лабораторные и петлевые эксперименты по разработке более эффективных методов очистки натрия от радиоактивных примесей, в первую очередь от цезия.

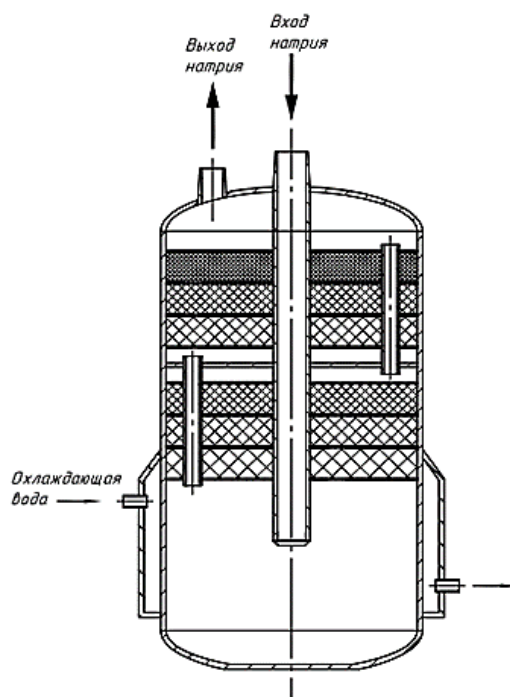


Рис. 1 - Холодная ловушка окислов (ХЛО)

Специальные графитовые ловушки впервые были испытаны на реакторе БОР-60 в 1975 г. и позволили существенно уменьшить активность долгоживущих нуклидов цезия в натрии. Ловушка 1 (рис.3) представляла собой цилиндрический сосуд (объемом ~5 л.), в котором натрий проходил по внутренней трубе до нижнего основания, затем – через слой графита (общая масса 3,7 кг), фильтр и выходил по внешней трубе. Специально подготовленный очищенный графит служил поглотителем цезия, а фильтр из прессованной стружки (нержавеющая сталь) предотвращал вынос частиц графита в контур. Очистка продолжалась 39 ч и была остановлена до достижения равновесного уровня вследствие накопления большой активности в ловушке.

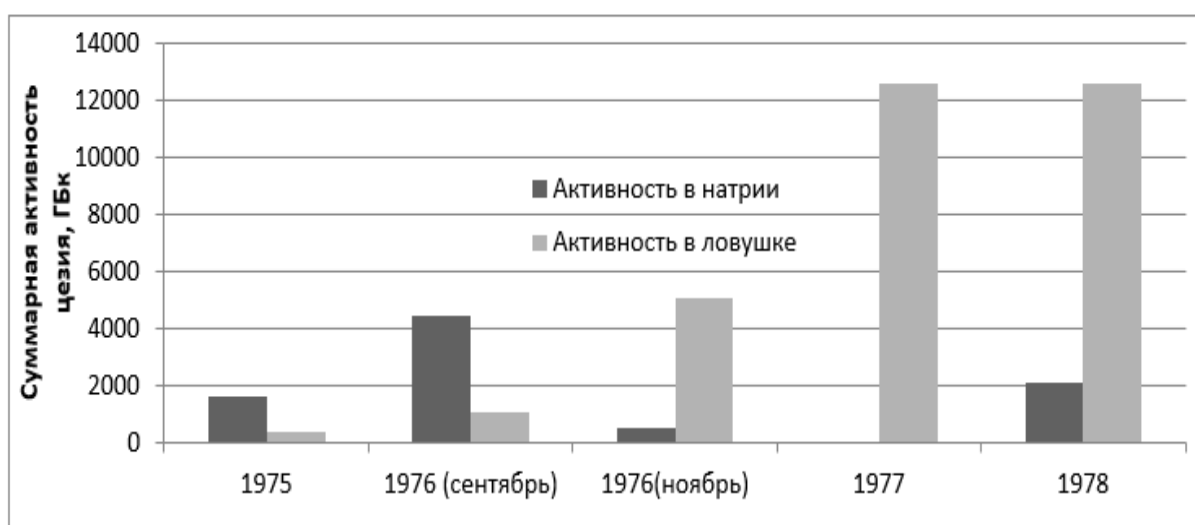


Рис. 2 - Изменение распределения цезия до и после ремонтных работ

Удаление и захоронение ловушек такого типа представляют определенные трудности, поэтому были сконструированы и испытаны ловушки, размещенные в чехлах штатных ТВС. Эти ловушки (рис.3, б), которые имели один или несколько слоев графита общей массой 1,1 кг и фильтр. Использование ловушек, встроенных в кожух штатных ТВС, дает определенные преимущества, такие как простота конструкции, низкая стоимость изготовления, отсутствие работ по резке трубопроводов первого контура для монтажа-демонтажа ловушки и, главное, - возможность радиационно-безопасного удаления из контура штатным оборудованием системы перегрузки ТВС. Ловушки этого типа устанавливались в активную зону реактора только на период проведения перегрузочных работ [2, 3].

Использование графитовых ловушек позволяет быстро, эффективно и с небольшими затратами проводить очистку теплоносителя от долгоживущих нуклидов цезия, которые определяют радиоактивное загрязнение теплоносителя быстрого реактора.

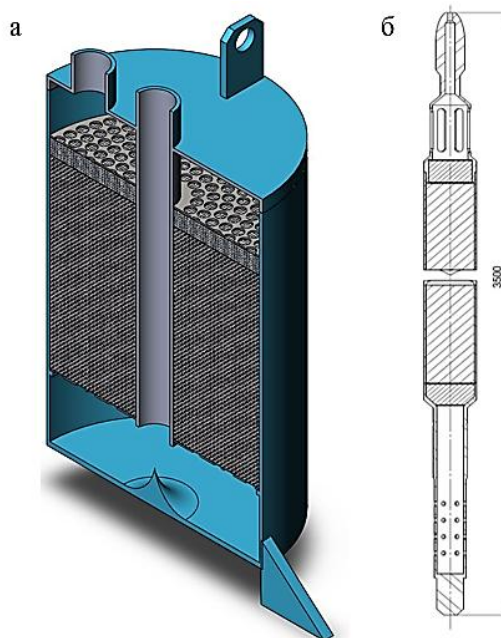


Рис. 3 - Схема графитовых ловушек в реакторе БОР-60: а) ловушка 1; б) ловушка

Реактор БН-350 с натриевым охлаждением эксплуатировался с 1972 года, обеспечивая население г. Актау (Казахстан) теплом и электричеством. Реактор был остановлен в 1999 году и с этого времени начался его вывод из эксплуатации [4].

Согласно данным по изучению проб натрия, взятым в 2001 году, через два года после остановки реактора, удельная активность радионуклидов натрия-22 ( $^{22}\text{Na}$ ) и цезия-134 ( $^{134}\text{Cs}$ ) в первом контуре реактора БН-350 составляла менее 3% от радиоактивности  $^{137}\text{Cs}$  в системе. Это означало, что приблизительно 259 000 ГБк (7000 Ки) радиоактивного  $^{137}\text{Cs}$  в натрии первого контура являлось доминирующим радиоактивным источником, влияющим на последующую деятельность по выводу из эксплуатации. К тому времени концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в первом контуре составляла около 296 Бк/кг (8000 мкКи/кг) [5].

Такой уровень радиоактивности цезия значительно увеличивал степень риска и стоимость перевода реакторной установки в промышленно и радиологически безопасное состояние (SAFSTOR). Высокий уровень радиоактивности по цезию создавал потенциальные риски для проживающего рядом населения в случае возникновения возможной

аварии. Поэтому было решено удалить по возможности максимальное количество цезия из теплоносителя перед его дренированием из первого контура.

Следует отметить, что натриевый теплоноситель очищали от цезия и в период эксплуатации БН-350 на малогабаритных внутриреакторных адсорберах МАВР, которые были спроектированы и изготовлены в НИИАРе. В качестве сорбента использовали обычный гранулированный малозольный графит типа ГМЗ-ОСЧ. Ловушки имели форму обычной ТВС и устанавливались в ячейку активной зоны во время планово-предупредительных ремонтов. Натриевый теплоноситель прокачивался насосами первого контура при температуре натрия 260°C. Первые две ловушки позволили снизить мощность дозы  $\gamma$ -излучения от трубопровода первого контура примерно в 4–5 раза. В результате четырех очисток из первого контура удалось вывести радионуклиды цезия Cs-134, Cs-137 суммарной активностью  $\approx 5,8 \cdot 10^{14}$  Бк. Применение отдельно смонтированной системы очистки позволило более глубоко очистить натрий и поверхности оборудования.

Система очистки натрия от цезия разработана на основании конструкции, которая успешно использовалась в экспериментальном реакторе размножителе EBR-2 и работает на принципе преимущественной адсорбции цезия из натриево-цезиевого раствора углеродом. Семь ловушек, содержащих стеклоуглеродный сорбент, были изготовлены и последовательно соединены к первому контуру для проведения очистки натрия. Каждая ловушка работала до полного насыщения сорбента цезием, после чего вырезалась и замещалась новой. Очищенный натрий возвращался в систему и продолжал циркулировать в петлях первого контура. Было удалено 255300 ГБк (6900 Ки) (более 98%). Цезия-137 из первого контура, что привело к снижению удельной активности цезия в 800 раз до концентрации 0,37 МБк/кг (10 мкКи/кг) [5].

На рисунке 5 показано как изменялась масса и доля удаленной активности каждой ловушки.

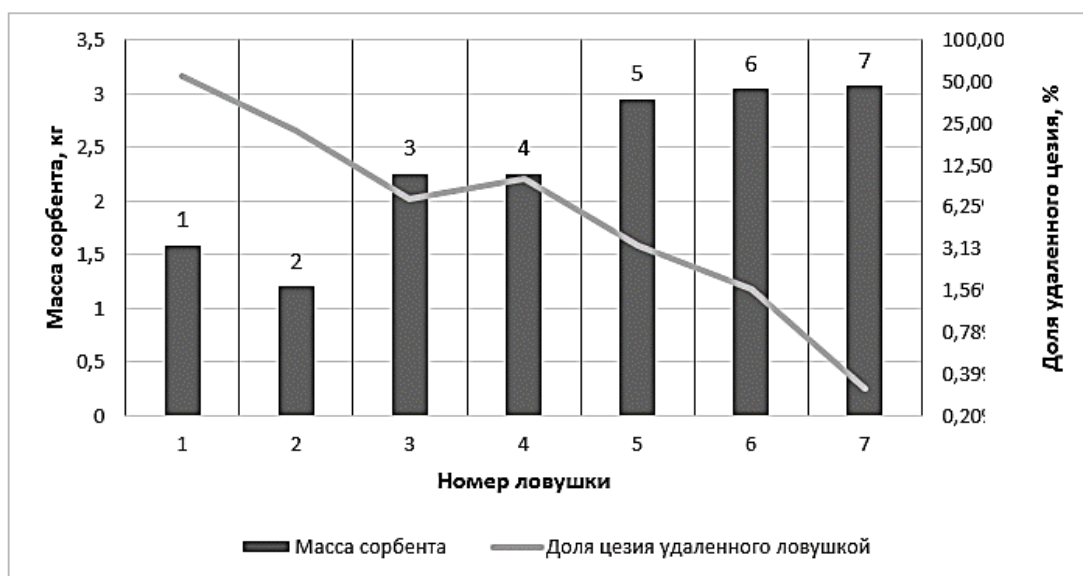


Рис. 5 - Масса сорбента каждой ловушки и график изменения доли удаленной активности

На площадке Белоярской АЭС находится в эксплуатации энергоблок БН-600. В период с 1998 по 2010 гг. был проведен комплекс работ по продлению срока эксплуатации энергоблока и получена лицензия сначала до 2020 г., а затем до 2025 г. на эксплуатацию блока [6]. В настоящее время ведутся подготовительные работы по обоснованию продления срока эксплуатации блока до 2040 г. Поскольку останов и вывод из эксплуатации реакторной установки длительный и требует детальной подготовки и проработки проектных решений, целесообразно проанализировать разработанные для БН-350 технологии применительно к БН-600.

Для безопасного использования натрия первого контура БН-600 необходимо очистить натрия от продуктов деления и радионуклидов. Основные элементы, создающие повышенный фон теплоносителя,  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ . Радиоактивность теплоносителя первого контура при работе реактора определяется  $^{24}\text{Na}$ , после останова реактора и распада  $^{24}\text{Na}$  –  $^{22}\text{Na}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , небольшой вклад вносят  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{54}\text{Mn}$ .  $^{131}\text{I}$  на радиационную обстановку мало влияет, так как быстро соединяется с натрием и в виде  $\text{NaI}$  удерживается в холодных ловушках. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  составляет 36–45 МБк/кг без учета поверхностного загрязнения этим изотопом оборудования и трубопроводов, контактирующих с натрием первого контура [7]. Для выхода  $^{137}\text{Cs}$  их поверхностного слоя необходимо повысить температуру трубопроводов и оборудования, затем снизить температуру натрия.

При этом  $^{137}\text{Cs}$  выйдет из поверхностного слоя металла в натрий, что увеличит удельную активность натрия первого контура примерно в 1,5 - 2 раза. Цезиевые ловушки, примененные на БН-350, – одна из технологий, которая возможна для очистки натрия БН-600. Для эффективной очистки всего объема натрия от  $^{137}\text{Cs}$  может понадобиться до трех ловушек с 2,25 кг вспененного углерода [8]. После очистки натрия от него, основным элементом, создающим повышенный радиационный фон, будет  $^{22}\text{Na}$ .

#### Список использованных источников:

1. Поведение нуклидов цезия при очистке натриевого теплоносителя холодными и специальными ловушками./ В.Д. Кизин, Н.В. Краснояр, В.И. Поляков, А.М. Соболев. – НИИАР-33(548). – Димитровград, 1982.
2. Ташлыков О.Л. Технологии ремонта и технического обслуживания атомных электростанций с реакторами на быстрых нейтронах: учебное пособие. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 201 с
3. Бельтюков А.И., Карпенко А.И., Полуяков С.А. и др. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. - Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 548 с.
4. Ровнейко А. В., Ташлыков О. Л., Щеклеин С. Е. Особенности вывода из эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах // Перспективные энергетические технологии. Экология, экономика, безопасность и подготовка кадров – 2016: материалы научно-практической конференции (Екатеринбург, 11 октября 2016 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2016. С.61-66.
5. Тажибаева И., Пустобаев С., Жанткин Т. и др. Обращение с натриевым теплоносителем реактора на быстрых нейтронах БН-350; Алматы, 2010. 320 с.
6. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Экологическое прогнозирование в ядерной энергетике XXI века // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 8-9 (172-173). С. 50-58.
7. Носов Ю.В., Ровнейко А.В., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Особенности вывода из эксплуатации быстрых реакторов БН-350, -600 // Атомная энергия. 2018. Т. 125. № 4. С. 195-199.
8. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Булатов В.И., Шастин А.Г. О проблеме снижения дозовых затрат персонала АЭС // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2011. №1. С.55-60.

© И.А. Бессонов, С.В. Чалпанов, 2021



## ОСМОТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

студентка гр. 421 **Кучерова Надежда Александровна**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доц. **Злобин Владимир Германович**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Моря, реки и озера – неиссякаемые источники энергии, они задают движение турбинам не только приливных электростанций и гидроэлектростанций, но и способны обеспечить энергией осмотические станции. В статье рассмотрен принцип работы таких станций, который, как ни странно, основан на изменении солености воды.

**Ключевые слова.** Осмос, энергия, осмотические электростанции, альтернативные источники энергии, гидроэлектростанции.

## OSMOTIC POWER PLANTS

**Kucherova Nadegda Alexandrovna**

**Abstract.** Seas, rivers and lakes are inexhaustible sources of energy, they set the movement of not only turbines tidal power plants and hydroelectric power plants, but also are able to provide energy to osmotic stations. In our report we will consider the operation of such stations, which is based on a change in the salinity of water

**Keywords.** Osmosis, energy, osmotic power plants, alternative energy sources, hydroelectric power plants.

Исследование альтернативных источников энергии, например, тепловой световой, кинетической (энергии движения), электрической, химической и так далее, является ведущей сферой получения энергии в наши дни. В течение того времени, пока развивалась наука и техника, был открыт еще один способ получения энергии. Речь идет о прототипе гидроэлектростанции, которая работает на основе такого физического явления как осмос. Осмос – процесс самопроизвольного переноса растворителя через полупроницаемую мембрану, молекулы которого переносятся в сторону вещества с большей концентрацией. Данную гидроэлектростанцию в первый раз применили 24 ноября 2009 года в

Норвегии, в городе Тофте, и таким образом Норвегия стала первой страной, которая преобразовала солевую энергию в электрическую.

Осмотическая электростанция – это гидроэлектростанция, работающая по принципу смешивания пресной и соленой воды. В основе принципа работы осмотической электростанции станции лежит давно известный человечеству физический процесс – осмос [1].

Если говорить более кратким языком – то можно сказать, что принцип работы осмотической электростанции основан на диффузии, то есть молекулы пресной воды проникают в молекулы соленой воды, и как уже упоминалось выше - от вещества с меньшей концентрацией к веществу с большей концентрацией. Важно отметить, что на осмотических электростанциях растворимое вещество - морская соль. Итак, принцип работы ОЭС заключается в следующем: растворы соленой и пресной воды, расположенные в одном общем сосуде, разделены полупроницаемой мембраной, и из-за разных концентраций растворов возникает осмотическое давление, поэтому через некоторое время в сосуде уровень воды становится разным. Полупроницаемая мембрана удерживает соли, поэтому в части с морской водой появляется избыточное давление, которое поднимается из-за потока пресной воды, непрерывно протекающего через мембрану в отсек с морской водой. Для полного понимания принципа работы ОЭС ниже приведен рисунок (рис 1):

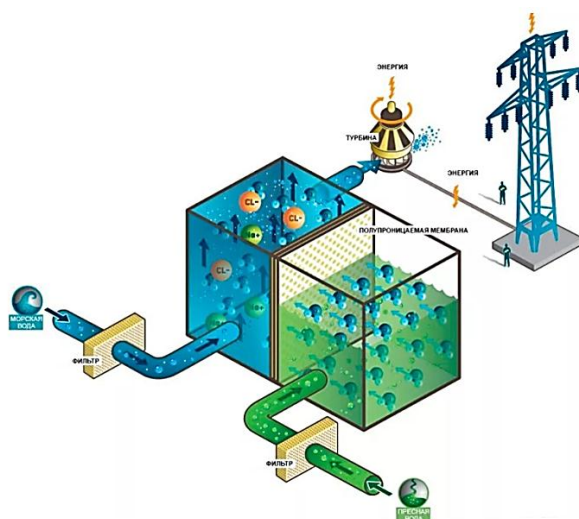


Рис. 1 - Схема осмотической станции

Если рассмотреть отдельно осмотическую мембрану, то в сущности она выглядит как свёрток или рулон, помещенный в цилиндрический корпус (рис. 2). Он имеет многослойное строение, внутри которого чередуются уровни пресной и соленой воды. Чем больше таких

конструкций установят на станции, тем больше энергии сможет вырабатывать станция, потому что увеличится пропускная способность системы, которая приведет к увеличению избыточного давления. Вода отводится из резервуара и придает движение рабочему колесу гидротурбины, которая вырабатывает энергию [2].

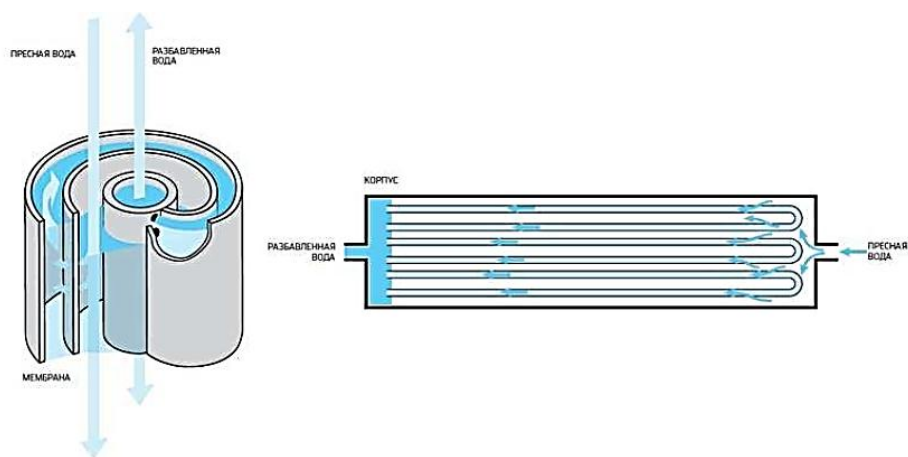


Рис. 2 - Осмотическая мембрана

Важно отметить, что у мембраны есть две главных характеристики: селективность и проницаемость. В основном, турбины вырабатывают механическую энергию не в результате перепада давления, а как раз из-за расхода воды. Используемая осмотическая мембрана должна сдерживать высокое давление и обладать большой пористостью, а также сдерживать молекулы солей. Такой набор противоречивых требований долгое время останавливал ученых использовать осмос в энергопромышленных целях.

Существует еще один способ получения электроэнергии на ОЭС. Речь идет об использовании только морской воды. Иначе говоря, в случаях, когда имеются высокоэффективные мембраны, возможно использование энергии глубин океана, так как показатель концентрации солей в воде зависит от глубины. Но принцип работы при таком способе получения электроэнергии на ОЭС не меняется.

По эффективности осмотическая электростанция стоит ниже биотопливных станций, солнечных батарей и ветрогенераторов, однако ОЭС находится выше приливных гидроэлектростанций [3].

Рассмотрим преимущества осмотической электростанции :

1. ОЭС очень устойчивы к любым погодным условиям, например, к ветру или солнцу. Это преимущество благоприятно отличает осмотическую электростанцию от ветровой, солнечной или приливной электростанций.

2. Важнейшим преимуществом, на мой взгляд, является отсутствие выбросов токсичных веществ, благодаря чему, ОЭС можно располагать на окраине города, не нанося ущерба его жителям. Поэтому станции не нужно строить на каких-то специальных участках местности, так как они не угрожают окружающей среде парниковыми газами.

3. Биоресурсы, использованные для работы осмотической станции возобновляемы.

4. Морская и пресная вода очень легкодоступны и пребывают в больших количествах, поэтому еще одним преимуществом ОЭС является дешевое сырье.

5. Такие гидроэлектростанции всегда производят прогнозируемое количество энергии.

Конечно, у осмотической электростанции есть и недостатки [4]:

1. Из-за особенности принципа работы ОЭС, она может использоваться только вблизи морских побережий. Неосуществимость ее повсеместного использования – отсутствие морской и пресной воды в одном месте одновременно.

2. Низкая мощность установок, около 2-5 кВт.

3. Полупроницаемые мембраны необходимо отчищать от органических остатков, которые задерживаются в микропорах, несмотря на то, что морскую воду берут с глубины более 35 метров.

Осмотические гидроэлектростанции могут работать непрерывно, в независимости от погодных условий, чем они превосходят другие виды альтернативных источников энергии, например, приливные, солнечные или ветряные станции. Решение проблемы, касающейся разработки высокоэффективных мембран для ОЭС, позволит данному источнику энергии занять значительное место в обеспечении электрической энергией таких территорий, которые находятся на морских побережьях.

#### **Список использованных источников:**

1. <https://oko-planet.su/science/sciencenews/375285-osmoticheskaya-elektrostantsiya-alternativnaya-energiya-iz-morskoy-vody.html>
2. <https://water-service.com.ua/chto-interesnogo/istoriya-sozdaniya-obratnogo-osmosa.html>
3. <https://втораяиндустриализация.рф/osmoticheskaya-elektrostantsiya/>
4. <https://www.popmech.ru/technologies/11203-solenyy-kilovatt-osmos/#part1>

© Н.А. Кучерова, 2021

## ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА И КОНЦЕПЦИИ МИКРОГРИДА В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

студент гр.10602118 **Борщевский Андрей Викторович**,  
Науч. руководитель: ст. преподаватель **Гецман Екатерина Михайловна**  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В данной работе рассмотрен пример интеграции локальных энергоресурсов в систему электроснабжения объектов легкой промышленности. Приведены способы оптимизации обеспечения предприятия электроэнергией в случае недостаточности электроснабжения за счет локальных энергоресурсов.

**Ключевые слова.** Микрогрид, возобновляемые источники энергии, блокчейн, солнечные панели, аккумуляторные устройства.

## INTEGRATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AND MICROGRID CONCEPT IN LIGHT INDUSTRY

**Borshchevsky Andrey Viktorovich**

**Abstract.** In this article, an example of the integration of local energy resources into the power supply system of light industry facilities is considered. The ways of optimizing the supply of electricity to the enterprise in the case of insufficient power supply at the expense of local energy resources are given.

**Keywords.** Microgrid, renewable energy sources, blockchain, solar panels, battery operated devices.

Применение локальных энергоресурсов в промышленности – одна из актуальных тем в настоящее время. Наибольшее внимание уделяется возобновляемым источникам электроэнергии (ВИЭ), так как перевод производства на низкий или нулевой углеродный след – это в первую очередь запрос не только правительства многих стран, но и самого общества.

В Республике Беларусь (РБ) в качестве локального энергоресурса как раз могут выступать ВИЭ, так как местоположение и небольшое количество полезных ископаемых, наиболее используемые в РБ в процессе производства электроэнергии: нефть и природный газ – являются веской причиной невозможности применения их для локального энергоснабжения. Что касается ВИЭ, то ситуация предполагает более оптимистичный характер, однако перед окончательным решением нужно тщательно учесть следующие факторы: солнечную активность и скорость ветра в конкретном регионе; наличие предприятий, заинтересованных в данной инициативе; возможность внедрения ВИЭ без значительных изменений распределительной сети, в которой будет подключен микрогрид.

Проанализировав перечисленные критерии для примера рассмотрим молочный завод в городе Новогрудке Гродненской области (рисунок 1).



*Рис. 1 – Фото со спутника  
(красным овалом обозначение предприятие ОАО «Новогрудские дары»)*

В данном решении предлагается гибридное электроснабжения от 3 источников: ветроустановки, солнечные панели, общая сеть. Месторасположение объекта легкой промышленности располагает наиболее выгодными условиями для установки ветрогенераторов и приемлимым для подключения солнечных панелей (рисунок 2 [1] и рисунок 3 [2]).



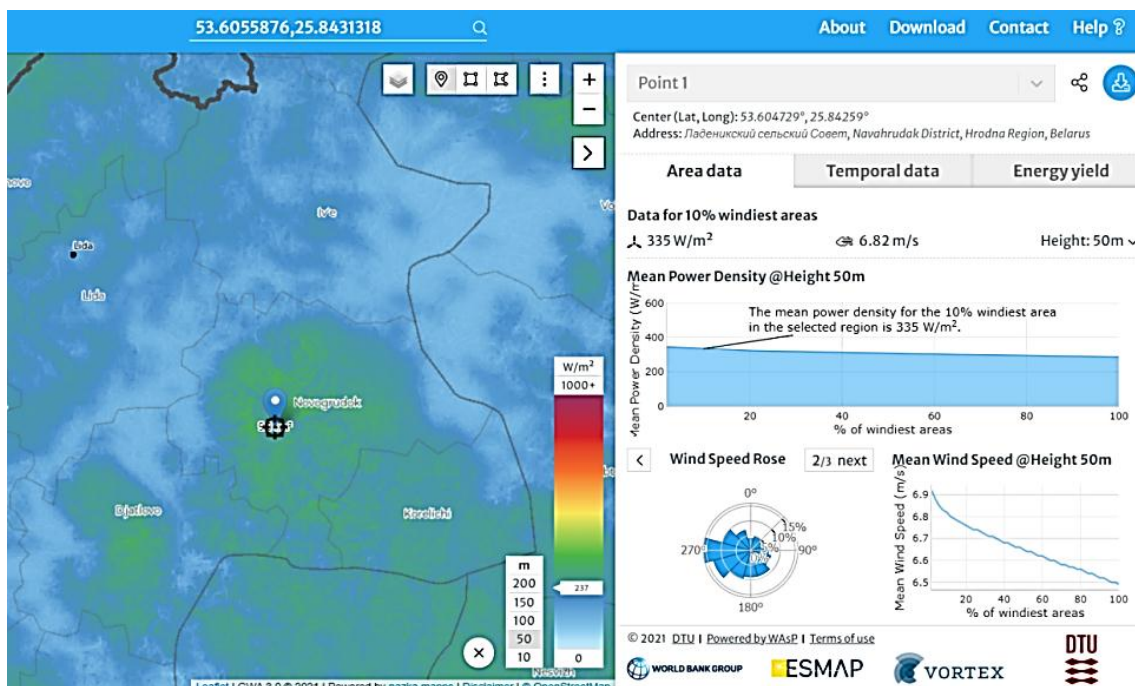


Рис. 2 – Карта электроэнергии от ветровых установок(высота 50 м) в районе расположения предприятия

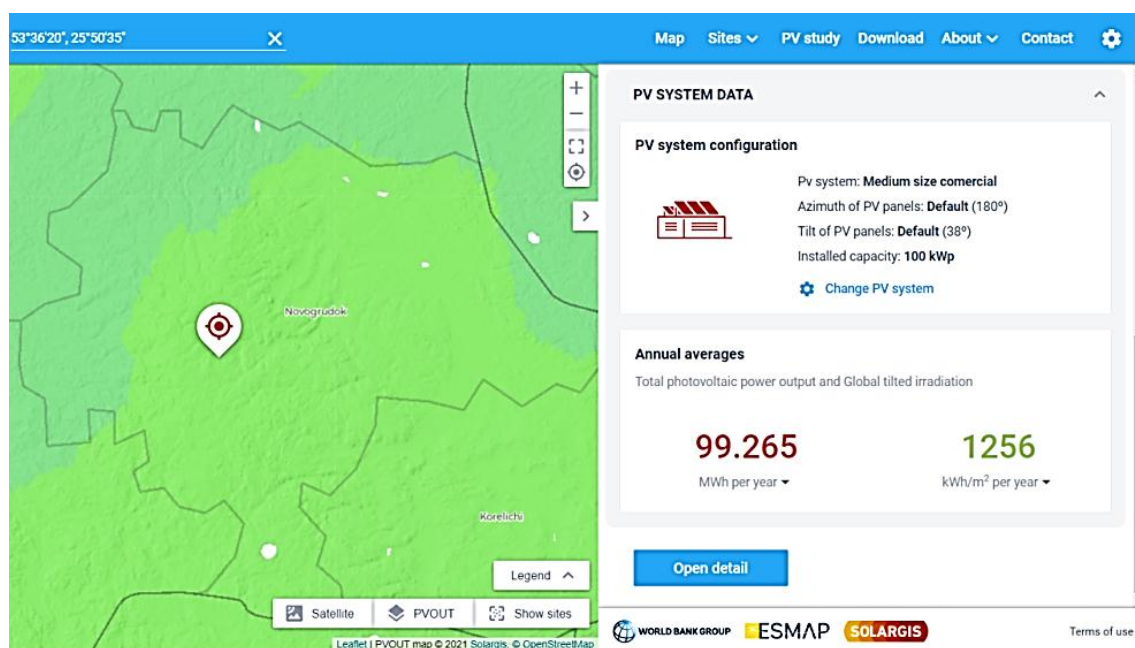


Рис. 3 – Карта солнечной активности в районе расположения предприятия

В нашем случае основным источником электроэнергии будут являться ветровые установки, в качестве вспомогательного – солнечные панели, в качестве резервного(аварийного) – общая энергосистема.

Предположим, что данное предприятие работает на полную мощность в 3 смены, согласно режиму работы смен суточный график нагрузки будет выглядеть следующим образом (рисунок 4):

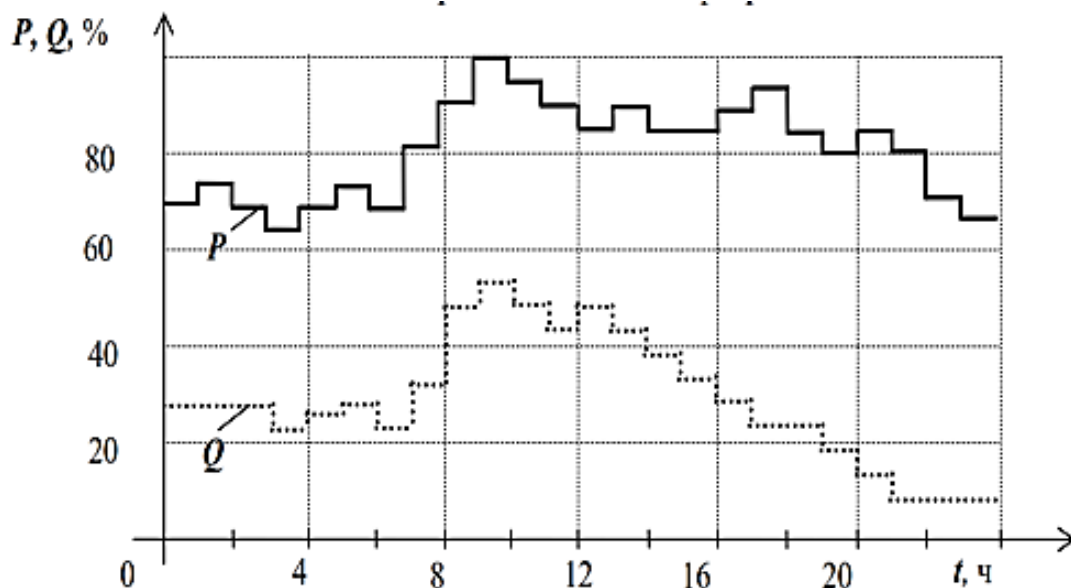


Рис. 4 – Суточный график нагрузки предприятия легкой промышленности

Номинальная возможность ветровых установок будет рассчитана для покрытия большей части потребности в электроэнергии. Предположим, что скорость ветра в течение дня неизменна (в действительности это невозможно), однако можно предложить решение данной задачи. Исходя из графика, представленного на рисунке 4 номинальная мощность всех ветрогенераторов должна составлять 60% от максимальной в течение дня. Остальную часть электроэнергии предполагается выработать за счет солнечных панелей.

В данном случае возможны 2 варианта установки солнечных панелей: на крыше либо на открытой местности (в сельскохозяйственном поле). Первый вариант менее затратный на согласование установки, так как во втором случае следует провести ряд мероприятий по разрешению установки солнечной электростанции на земле, находящейся под использованием местных сельскохозяйственных организаций. Обратившись снова к графику нагрузки, пик нагрузки приходится на промежуток времени: 8 часов утра и 8 часов вечера. Учитывая, что наибольшая солнечная активность приходится на промежуток времени от 10 часов утра до 16 часов дня, следовательно номинальная мощность всех солнечных панелей должна быть рассчитана на возможность генерировать в этом промежутке времени электроэнергию для мгновенного потребления, а также на аккумуляцию, чтобы покрыть график нагрузки в ночное время суток. Возвращаясь к ветрогенераторам, было сделано допущение: скорость ветра в течение всего дня постоянная.

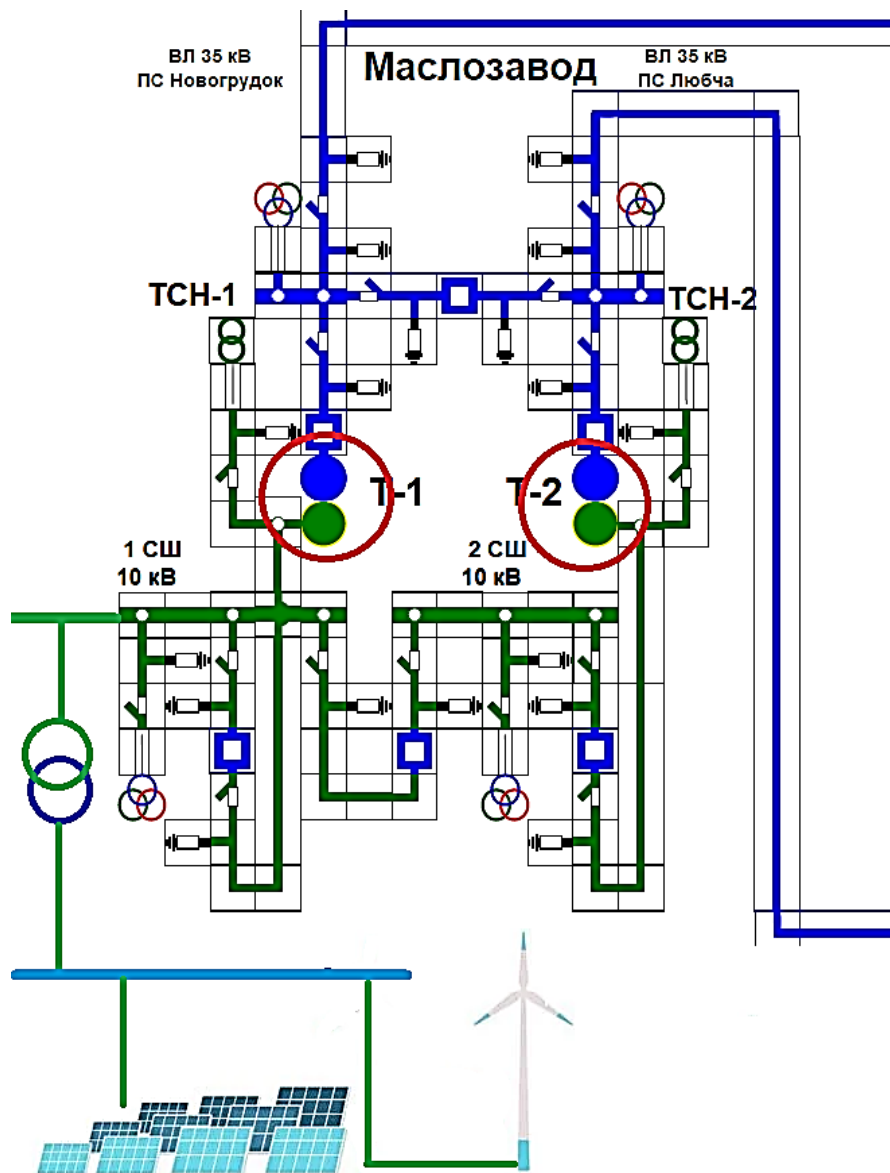


Избытки электроэнергии, при скорости ветра превышающей «номинальное», но не больше максимального, накапливаются, а когда происходит недостаток, тогда энергия с аккумуляторных батарей выпускается в микрогрид. Исходя из предложенного варианта суточный график нагрузки будет иметь вид, представленный на рисунке 5.



*Рис. 5 – Вариант покрытия суточного графика нагрузки в нормальном режиме*

Однако восприимчивость ВИЭ к погодным условиям не дают 100% уверенности в том, что генерация будет следовать (либо базироваться) по этому графику каждый день. Поэтому стоит предусмотреть подключение и отключение микрогрида от основной сети. Для этого необходимо модернизировать подстанцию, подключеную к микрогриду. Во-первых, потребуется установить выключатели в местах, обозначенных красными кругами на рисунке 6. Во-вторых, имеет смысл установить устройства, которые будут автоматически подключать или отключать микрогрид. Для этого важно, применить устройства в микрогриде, реагирующие на изменение частоты напряжения в нем. Если частота составляет меньше нижней границы допустимого диапазона, то аккумуляторные устройства будут выдавать электроэнергию в локальную сеть.



*Рис. 6 – Вариант модернизации подстанции*

Если их мощности не хватит, то автоматически будет подключаться микрогрид к основной сети. Затем, когда мощности ВИЭ возвратятся к номинальным, то будет избыток генерации в микрогриде, что приведет к увеличению частоты напряжения выше допустимого диапазона и в последствие отключит микрогрид от основной сети. Для реализации данного механизма нужно применять умные счетчики, детекторы и программное обеспечение, основанное на технологии блокчейна. Похожий механизм регулирования частоты в сети реализован в электросистеме Германии компанией Sonnencommunity[3]. Для того, чтобы вся данная система работала и реагировала своевременно, т.е. в режиме реального времени, необходимо использовать программное обеспечение основанное на блокчейне, например Ethereum.

Стоит отметить, что комплексная модернизация электроснабжения данного предприятия будет иметь следующие преимущества:

1. Перевод производства на низкий углеродный след, что может быть использовано в качестве маркетингового хода для увеличения количества продаваемой продукции.

2. Повышение надежности электроснабжения и качества электроэнергии.

3. Снижение затрат на оплату электроэнергии после срока окупаемости данного проекта.

4. Возможность продажи электроэнергии соседним предприятиям.

5. Увеличение количества рабочих мест, так как потребуется высококвалифицированный персонал, ответственный за обслуживание и ремонт установок ВИЭ, цифровой подстанции и самого программного обеспечения.

В рассмотренном примере описан примерный комплекс действий, необходимый для внедрения ВИЭ на объекте легкой промышленности. Данное решение является актуальным, так как при переводе электроснабжения производств на локальные источники энергии имеет большой интерес среди производителей многих стран за счет времени окупаемости и перспективы уменьшения расходов на производство.

#### **Список использованных источников:**

1. GlobalWindAtlas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalwindatlas.info/>. – Дата доступа: 15.04.2021.

2. Global Solar Atlas [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://globalsolaratlas.info/map>. – Дата доступа: 15.04.2021.

3. Sonnencommunity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sonnengroup.com/sonnencommunity/>. – Дата доступа: 19.04.2021.

© А.В. Борщевский, 2021.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

студент гр.ЭНМ2-94 **Заичко Александр Юрьевич**,

Науч. руководитель:

д-р техн. наук, профессор **Секретарёв Юрий Анатольевич**  
Новосибирский государственный технический университет,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** Проведен анализ схемной надежности нефтяного месторождения Северо-Хохряковское методом блок-схем. Для исследования влияния различных факторов, расчет приводится для различных режимов работы (нормальный, ремонтный) и с учетом различного износа оборудования.

В статье предложен вариант повышения надежности схемы электроснабжения Северо-Хохряковского месторождения, за счет установки ДЭС. Приведен расчет стоимости установки ДЭС, удельного ущерба от недоотпуска электроэнергии, математического ожидания ущерба и срока окупаемости.

**Ключевые слова.** Исследование и анализ схемной надежности, метод блок-схем, определение основного ущерба, дизельные электростанции.

## EFFECT OF ELECTRIC POWER QUALITY ON ASYNCHRONOUS MOTORS OPERATION

**Zaichko Alexander Yuryevich**

**Abstract.** The analysis of the circuit reliability of the Severo-Khokhryakovskoye oil field by the block diagram method is carried out. To study the influence of various factors, the calculation is given for different operating modes (normal, repair) and taking into account different equipment wear and tear.

In article, a variant of improving the reliability of the power supply scheme of the Severo-Khokhryakovsky field is proposed, due to the installation of a diesel power plant, the calculation of the cost of installing a diesel power

plant, the specific damage from under-supply of electricity, the mathematical expectation of damage and the payback period is given.

**Keywords.** Research and analysis of circuit reliability, block diagram method, determination of the main damage, diesel power plants.

Надежность каждого элемента в энергосистеме характеризуется рядом показателей его работоспособности. Все элементы можно условно разделить на две группы:

-невосстанавливаемые – элементы, при поломке которых единственным способом восстановления надежности является их замена.

-восстанавливаемые – элементы, при поломке которых в качестве способа повышения надежности используют восстановление их работоспособности.

В электроэнергетике практически все элементы являются восстанавливаемыми из-за их дороговизны. Так, например, вышедший из строя генератор целесообразнее отремонтировать, чем поставить на его место новый.

Расчет надежности схемы электроснабжения, содержащей невосстанавливаемые элементы, осуществляется в вероятностях. При этом вероятность безотказной работы рассчитывается как

$$P = e^{-\omega}, \quad (1)$$

а вероятность отказа по формуле

$$Q = 1 - P. \quad (2)$$

При *последовательном соединении* элементов (рис.1) результирующая для этой группы вероятность безотказной работы определяется по формуле (7), а вероятность отказа по формуле (6)

$$P = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (3)$$

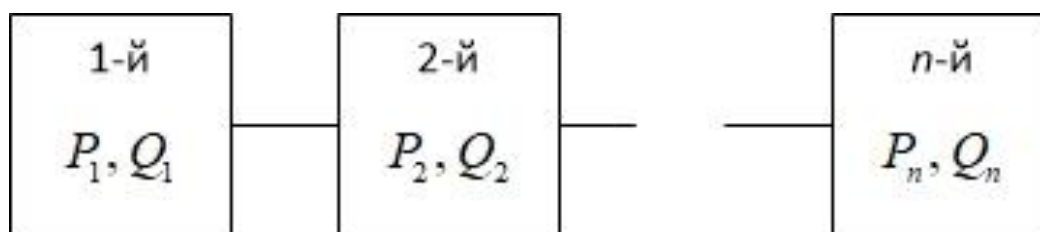


Рис.1 - Схема последовательного соединения элементов СЭС

При *параллельном соединении* элементов, которое чаще называется *полным резервированием*, вся система будет работоспособна, пока хотя бы один элемент будет находиться в работе (рис.2).

Результирующая вероятность группы элементов может быть определена по формуле (8), а вероятность отказа по (6)

$$P = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i. \quad (4)$$

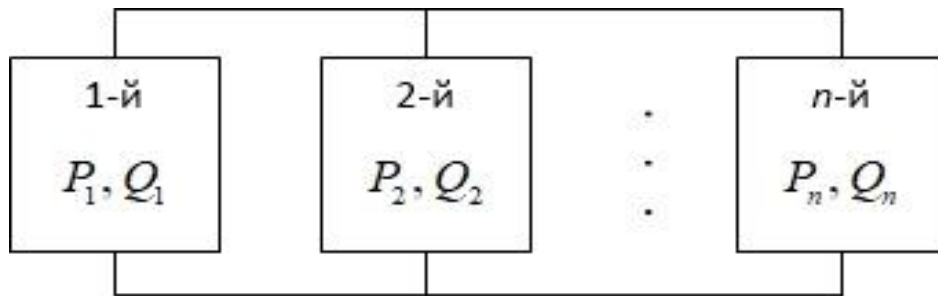


Рис.2 - Схема параллельного соединения элементов СЭС

В случае, когда элементы схемы являются восстанавливаемыми, то есть ремонтно-пригодными, в расчетах помимо параметра потока отказов ( $\omega$ ) необходимо определять также и время восстановления ( $T_B$ ), то есть время, за которое производится восстановление полной работоспособности элемента сети посредством проведения ремонтно-восстановительных работ.

При этом для *последовательного соединения* восстанавливаемых элементов результирующий параметр потока отказов определится как

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i. \quad (5)$$

Результирующее время восстановления может быть рассчитано следующим образом:

$$T_B = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot T_{B_i}, \quad (6)$$

где  $\omega_i$  имеет размерность (1/год), а  $T_{B_i}$  – размерность (час).

К *промышленным электроприемникам* относятся электродвигатели, электротермические установки, осветительные приборы, выпрямительные установки для преобразования переменного тока в постоянный.

При *параллельном соединении* элементов под параметром потока отказов группы элементов будем понимать следующее

$$\omega = \omega_1 \cdot K_{B2} + \omega_2 \cdot K_{B1} \quad (1/\text{год}). \quad (7)$$

Здесь  $\omega_1, \omega_2$  – параметры потока отказов, а  $K_{B1} = \omega_1 T_{B1}$  и  $K_{B2} = \omega_2 T_{B2}$  – коэффициенты вынужденных простоев первого и второго элементов схемы соответственно.

Необходимым условием получения корректного значения результирующего параметра потока отказов  $\omega$  по формуле (9) является соблюдение размерности коэффициентов вынужденного простоя  $K_{B1}$  и  $K_{B2}$ , а именно:

$$K_{B1} = \omega_1 \cdot \frac{T_{B1}}{T_{B1}}, K_{B2} = \omega_2 \cdot \frac{T_{B2}}{T_{B1}}, \quad (8)$$

при обязательном выполнении следующего соотношения:  $T_{B1} < T_{B2}$ .

Результирующее время восстановления можно определить по следующей формуле

$$T_B = \frac{T_{B1} \cdot T_{B2}}{T_{B1} + T_{B2}}. \quad (9)$$

Прежде всего, необходимо проанализировать сами показатели надежности, которые характеризуют надежность электроснабжения в целом. В качестве них обычно используют вероятность безотказной работы (P)[2].

### Анализ и обсуждение результатов расчетов

В качестве примера был взят типовой промышленный потребитель, получающий питание от распределительной подстанции 110/10 кВ по двум двух цепными воздушным линиям электропередачи напряжением 10 кВ. Схема электроснабжения исследуемого потребителя показана на рис. 1.

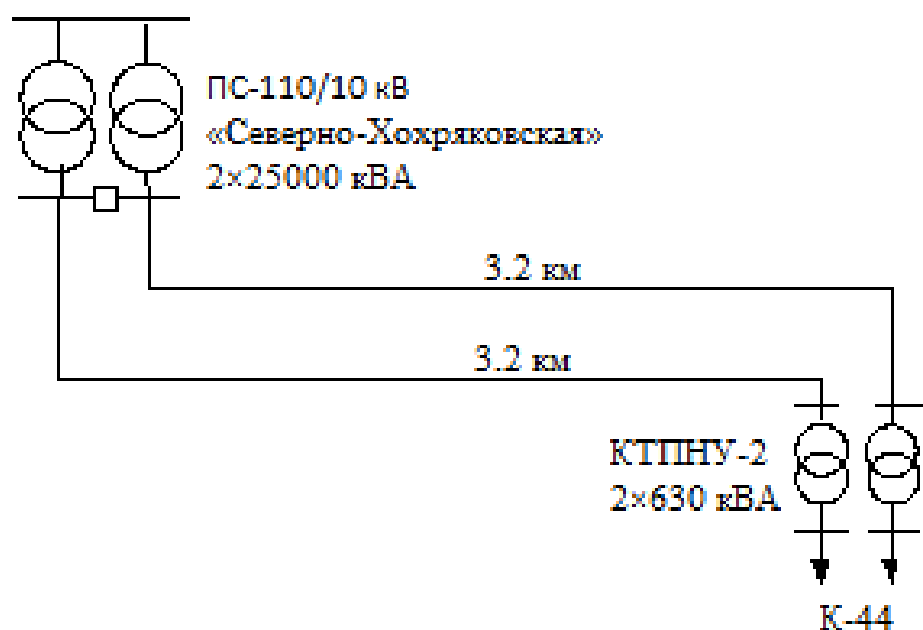


Рис.3 - Схема электроснабжения потребителя

### Анализ результатов подстанции «Северо-Хохряковская»

Исходными данными для расчета являются параметры потока отказов  $i$ -ых элементов сети ( $\omega_i$ ) и времена восстановления их работоспособного состояния ( $T_{Bi}$ ) [1].

Была составлена блок-схема для расчета надежности Северо-Хохряковской подстанции электрической сети (рис.4).



Рис.4 - Блок схема для расчета надежности подстанции

При расчете учитывалось следующее:

- элемент *A* представляет собой последовательно соединенные элементы 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 15 (рис.5);
- элемент *B* – это последовательно соединенные элементы 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 и 16;
- результирующий элемент *C* – это параллельно соединенные элементы *A* и *B*. Его показатели надежности полностью характеризуют надежность электроснабжения исследуемого потребителя, относительно которого и велось сворачивание схемы.

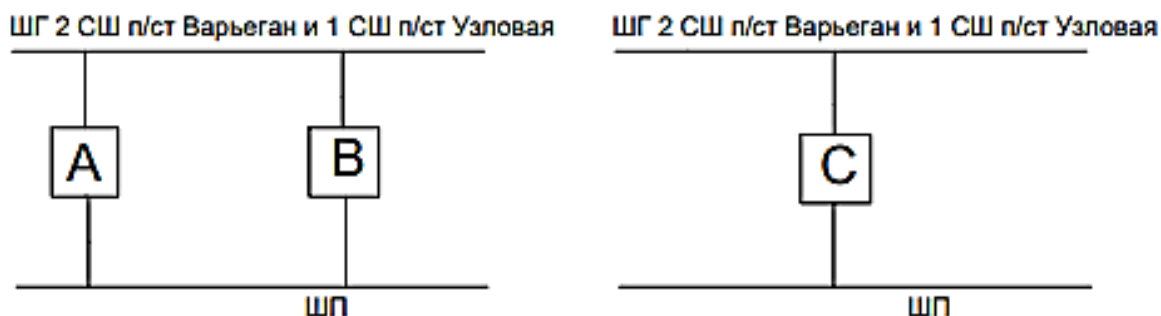


Рис.5 - Свернутая блок схема



Сведем полученные результаты в таблицу.

*Таблица 1. Результаты расчетов надежности работы, питающей подстанций в различных режимах*

	$\omega, \frac{1}{год}$	$T_B, час$
Оба трансформатора в работе	0,002	8,63
Трансформатор Т1 в ремонте	0,51	18,8
Трансформатор Т2 в ремонте	1,053	15,4

При оценке надежности внешнего электроснабжения с использованием в качестве критерия надежности вероятность безотказной работы можно сделать следующие выводы.

В нормальном режиме, когда на подстанциях оба трансформатора находятся в работе, вероятность безотказной работы на первый год равна 0,998, на второй год 0,996, на третий год 0,994. В режиме вывода одного из трансформаторов в плановый ремонт надежность электроснабжения потребителей резко снижается и значение вероятности безотказной работы составляет: при выводе Т1 в ремонт равна 0,6, при выводе Т2 в ремонт равна 0,348.

#### Анализ результатов потребителя «К-44»

Для расчета надежности схемы РУ которая питает Северо-Хохряковская подстанция была составлена матрица расчетных связей событий, аварий и режимов. Далее были выбраны расчетные аварии, приводящие к нарушению электроснабжения потребителей: А1 – полное отключение потребителей в случае, если любой из элементов одного из блоков в плановом режиме, а на другом блоке любой элемент в аварийном состоянии; А2 – отключение половины потребителей, если шинносоединительный выключатель в ремонте и отказывает любой элемент схемы. В нормальном режиме, когда на подстанциях оба трансформатора находятся в работе, вероятность безотказной работы равна 0,815. В режиме вывода одного из трансформаторов в плановый ремонт надежность электроснабжения потребителей резко снижается и значение вероятности безотказной работы составляет: при выводе Т1 или Т2 в ремонт равна 0,815.

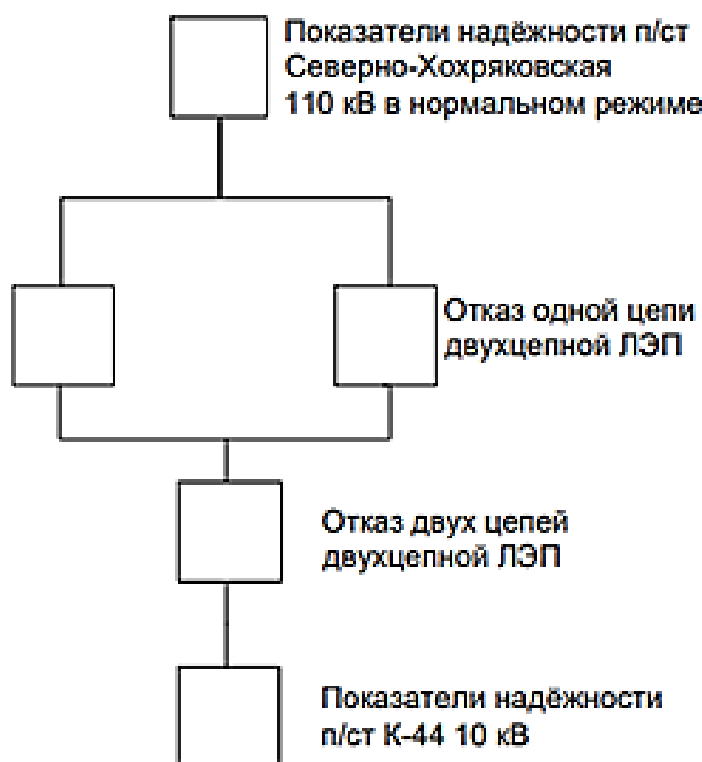


Рис.6 - Блок схема для расчета надёжности сети

Для первого случая, когда оба трансформатора работают:

$$\omega_{\text{сум.}} = 0,214 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{в сум.}} = 6,414 \text{ час}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-0,214) = 0,81.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,81 = 0,19.$$

Для второго случая, когда 1й трансформатор в ремонте:

$$\omega_{\text{сум.}} = 1,259 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{в сум.}} = 13,9 \text{ час.}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-1,259) = 0,284.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,284 = 0,716.$$

Для третьего случая, когда 2й трансформатор в ремонте:

$$\omega_{\text{сум.}} = 0,719 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{в сум.}} = 15,1 \text{ час.}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-0,719) = 0,487.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,487 = 0,513.$$

Анализ результатов потребителя полной надёжности сети  
с учетом резервного источника питания

Рассчитав показатели надёжности сети, можно сделать вывод о том, что они получились недостаточно высокими, отсюда следует что для повышения надёжности следует установить резервный источник питания, для обеспечения качественного и бесперебойного электроснабжения потребителей [3].

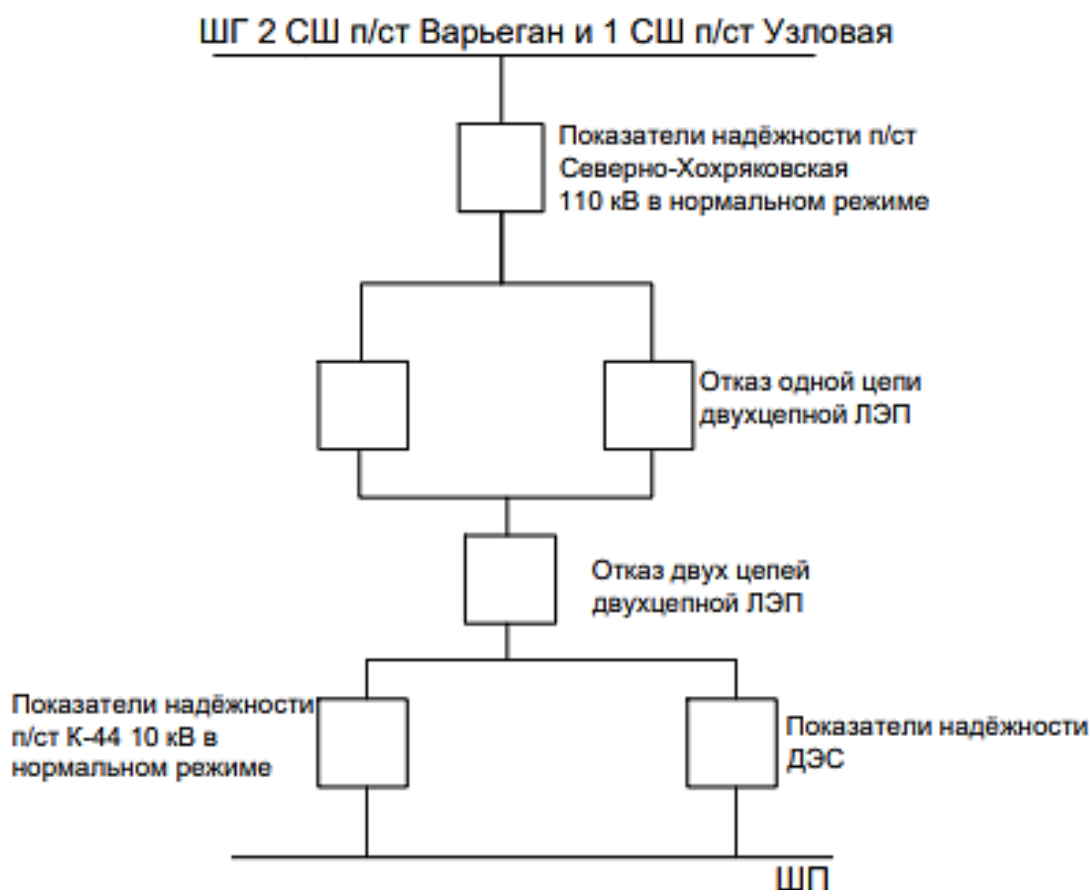


Рис. 7 – Блок-схема для расчета надежности сети с учетом резервного источника питания

Для первого случая, когда оба трансформатора работают:

$$\omega_{\text{сум.}} = 0,007 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{в сум.}} = 6,76 \text{ час}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-0,007) = 0,993.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,993 = 0,007.$$

Для второго случая, когда 1й трансформатор в ремонте:

$$\omega_{\text{сум.}} = 1,055 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{В сум.}} = 15,4 \text{ час.}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-1,055) = 0,348.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,348 = 0,652.$$

Для третьего случая, когда 2й трансформатор в ремонте:

$$\omega_{\text{сум.}} = 0,512 \text{ 1/год.}$$

$$T_{\text{В сум.}} = 15,4 \text{ час.}$$

Вероятность безотказной работы полной схемы электроснабжения

$$P_{\text{сум.}} = \exp(-0,512) = 0,599.$$

Вероятность отказа схемы электроснабжения будет составлять

$$Q_{\text{сум.}} = 1 - 0,599 = 0,401.$$

**Вывод.** Внедрение резервного источника питания нам позволило увеличить вероятность безотказной работы и снизить вероятность отказа схемы.

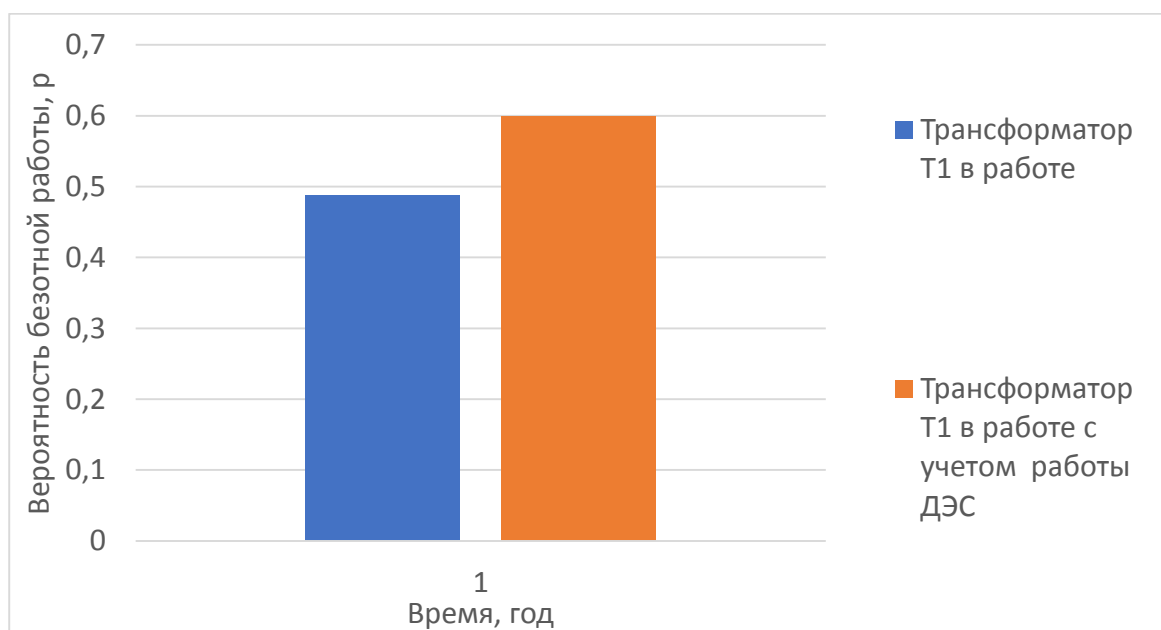
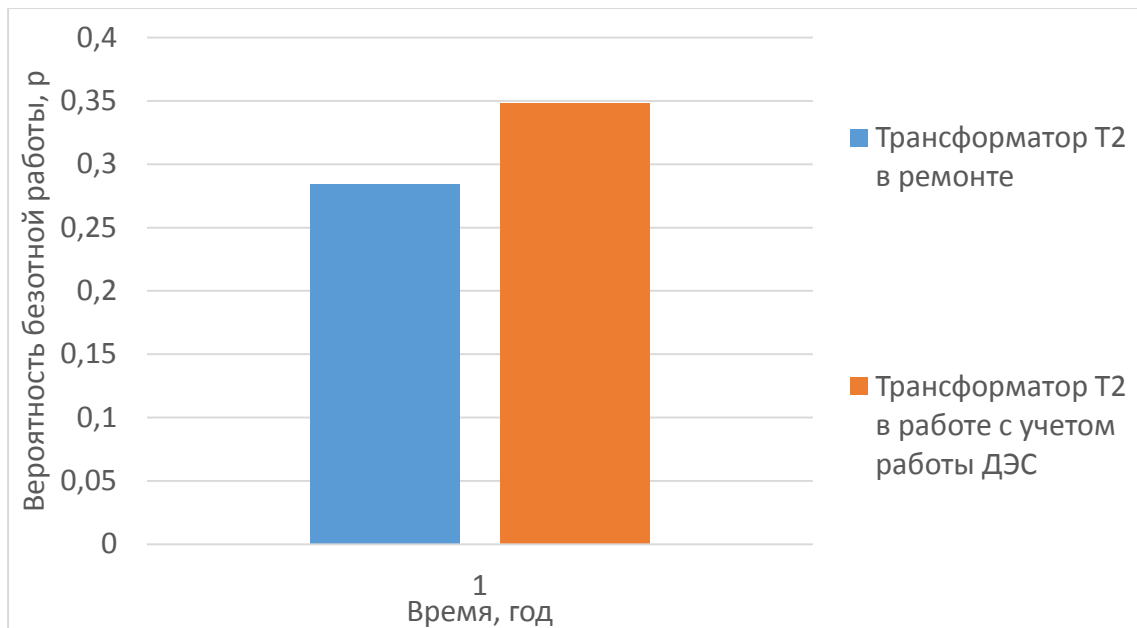


Рис. 8 - Вероятность безотказной работы при режиме работы, когда 1-й трансформатор в работе



*Рис.9 - Вероятность безотказной работы при режиме работы, когда 2-й трансформатор в работе*

#### **Список использованных источников:**

1. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. 2-е издание. - М.: Энергоатомиздат. 1984. – 200 с.
2. Секретарев Ю.А. Надежность электроснабжения: учебное пособие – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. – 104 с.
3. Анализ надежности схем электроснабжения на примере Астраханского газоперерабатывающего завода [Электронный ресурс] – URL:<https://docplayer.ru/85306715-Analiz-nadezhnosti-shem-energосnabzheniya-na-primere-astrahanskogo-gazopererabatyvayushchego-zavoda-fyodorov-valeriy-aleksandrovich-chernev-maksim-yurevich.html>

© А.Ю. Заичко, 2021

## РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА НА РЕШЕТКАХ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ В УСТАНОВКЕ СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА

аспирант гр. 13.06.01-01-21оп **Фокин Александр Викторович**,

Науч. руководитель:

д-р техн. наук, профессор **Лукин Сергей Владимирович**

Череповецкий государственный университет,

г. Череповец, Российская Федерация

**Аннотация.** В ведущих странах мира в настоящее время ведутся разработки установок сухой грануляции шлака, позволяющих реализовать процесс утилизации физической теплоты доменного шлака. Теплообмен между шлаком и встречным потоком воздуха в таких установках осуществляется на решетках с кипящим слоем. В данной работе предложена методика расчета, позволяющая определять передаваемое шлаком воздуху количество теплоты и температуру гранулированного шлака на выходе из установки.

**Ключевые слова.** Энергоэффективность, доменный шлак, кипящий слой, гранулированный шлак, утилизация физической теплоты, установка сухой грануляции шлака.

## HEAT TRANSFER CALCULATION IN FLUIDIZED BED IN DRY SLAG GRANULATION UNIT

**Fokin Alexander Viktorovich**

**Abstract.** Currently the world's leading countries develop dry slag granulation units that are capable of recovering the sensible heat of slag. In such units heat transfer between slag and counter air flow occurs in fluidized beds. In this paper the method allowing to determinate the heat flow from the slag to the air in fluidized beds and the temperatures of the slag exiting the dry slag granulation unit is given.

**Keywords.** Energy efficiency, blast furnace slag, fluidized bed, granulated slag, sensible heat recovery, dry slag granulation unit.

Установка сухой грануляции доменного шлака позволяет использовать его внутреннюю теплоту (порядка 1600-1800 МДж на 1 тонну шлака) для последующей выработки пара энергетических параметров. В ней огненно-жидкий шлак из доменной печи подается в камеру грануляции на вращающуюся чашу, где под действием центробежных сил распыляется на мелкие гранулы и застывает. После грануляции застывшие капли шлака падают на первую решетку установки, где в кипящем слое нагревают встречный поток воздуха путем конвективного теплообмена, попутно охлаждаясь. Задачей расчета является определение наиболее энергетически целесообразных условий теплообмена, оценка количества решеток с кипящим слоем и влияния исходных параметров (массовых расходных теплоемкостей) на выходные (температуры теплоносителей – воздуха и шлака).

На рисунке 1 представлена принципиальная схема кипящего слоя на одной из решеток установки сухой грануляции доменного шлака (УСГШ).

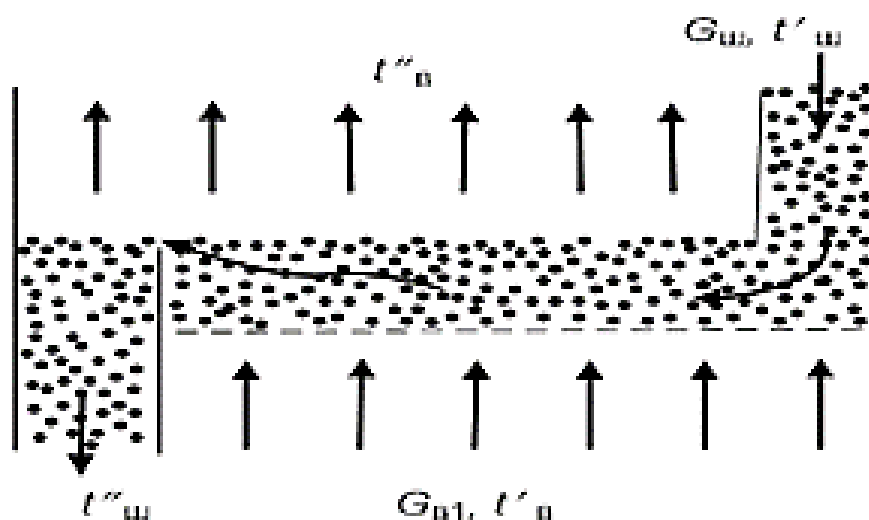


Рис.1 - Принципиальная схема кипящего слоя на решетке УСГШ:

$t'_в, t''_в$  – температура воздуха до и после решетки;  $t'_ш, t''_ш$  – температура шлака до и после решетки;  $G_в, G_ш$  – массовые расходы воздуха и шлака

Рассмотрим процесс теплообмена в кипящем слое, протекающего между гранулированным шлаком и потоком воздуха. Тепловой поток, передаваемый от шлака к воздуху на решетке, равен [2]:

$$Q = \alpha \cdot F_{ш} \cdot (t_{ш} - t_{в}) = c_{ш} \cdot G_{ш} \cdot (t'_{ш} - t''_{ш}) = c_{в} \cdot G_{в} \cdot (t'_{в} - t''_{в}), \quad (1)$$

где  $c_{ш}, c_{в}$  – теплоемкости шлака и воздуха,  $\frac{Дж}{кг \cdot К}$ ,  $G_{ш}, G_{в}$  – массовые расходы шлака и воздуха через решетку,  $\frac{кг}{с}$ ,  $t'_{ш}, t'_{в}$  – температуры шлака и

воздуха на входе в решетку,  $t''_{ш}, t''_{в}$  – температуры шлака и воздуха на выходе из решетки.

Средняя температура шлака  $t_{ш}$  на решетке в кипящем слое определяется по выражению [1]:

$$t_{ш} = \frac{t''_{в} - t'_{в} \cdot \exp(-\chi)}{1 - \exp(-\chi)}, \quad (2)$$

где  $\chi$  – параметр, определяющий эффективность кипящего слоя.

Средняя температура воздуха на решетке у кипящем слое равна:

$$t_{в} = t_{ш} + \frac{t'_{в} - t''_{в}}{\chi}. \quad (3)$$

Примем значение  $\chi = 3$ . Это объясняется тем, что при значении  $\chi > 3$  данный параметр почти перестает влиять на теплопередачу [1], но при этом возрастает аэродинамическое сопротивление на решетке в следствии увеличения массы шлака на ней. Соответственно, при выбранном значении  $\chi$  выполняются следующие условия:  $t''_{в} \cong t_{ш}, t''_{ш} = t_{ш}$ .

Данное принятое условие упрощает расчет теплопередачи:

$$Q = c_{ш} \cdot G_{ш} \cdot (t'_{ш} - t_{ш}) = c_{в} \cdot G_{в} \cdot (t_{ш} - t'_{в}), \quad (4)$$

Введем следующее обозначение:

$$\omega = \frac{c_{ш} \cdot G_{ш}}{c_{в} \cdot G_{в}} = \frac{W_{ш}}{W_{в}}, \quad (5)$$

где  $W_{ш}, W_{в}$  – массовые расходные теплоемкости шлака и воздуха,  $\frac{Вт}{К}$ .

Из уравнения (4) определяются значения температур  $t''_{в}$  и  $t''_{ш}$ :

$$t''_{в} = t''_{ш} = t_{ш} = \frac{t'_{в} + \omega \cdot t'_{ш}}{1 + \omega}, \quad (6)$$

С учетом (4), (5) и (6) выражение (1) принимает вид:

$$Q = c_{ш} \cdot G_{ш} \cdot \left( \frac{t'_{ш} - t'_{в}}{1 + \omega} \right) = W_{ш} \cdot (t'_{ш} - t'_{в}) \cdot \varphi_1, \quad (7)$$

где  $\varphi_1$  – коэффициент относительного охлаждения шлака на первой решетке:

$$\varphi_1 = \frac{t'_{ш} - t''_{ш}}{t'_{ш} - t'_{в}} = \frac{1}{1 + \omega}. \quad (8)$$

Коэффициент, характеризующий относительный нагрев воздуха на первой решетке, определяется по выражению:

$$\eta_1 = t_{в0} - t''_{в} = \omega \cdot \varphi_1, \quad (9)$$

где  $t_{в0}$  – начальная температура воздуха, поступающего в установку.

Таким образом, точно так же последовательно решая совместные уравнения теплопередачи и теплового баланса для каждой решетки с кипящим слоем, получаем выражения для определения температур шлака и воздуха на входах и выходах с каждой из решеток и теплового потока, передающегося воздуху от шлака на них.



Гранулированный шлак из камеры грануляции УСГШ поступает на первую решетку с температурой  $t_{ш0} \approx 1100$  °С. Воздух, подаваемый на первую решетку, имеет температуру  $t_{в0} \approx 0$  °С и нагревается до 550 °С перед попаданием в камеру грануляции, где происходит его дополнительный нагрев еще на 100-150 °С. Следовательно, коэффициент относительного нагрева воздуха на всех решетках составит:

$$\eta = \frac{t_{в} - t_{в0}}{t_{ш0} - t_{в0}} = \frac{550 - 0}{1100 - 0} = 0,5.$$

На рисунке 2 представлены полученные в результате решения зависимости безразмерной величины  $\phi$ , характеризующей относительное охлаждение шлака, и величины  $\eta$ , характеризующей относительный нагрев воздуха, от безразмерного параметра  $\omega$  для одной, двух и трех решеток с кипящим слоем.

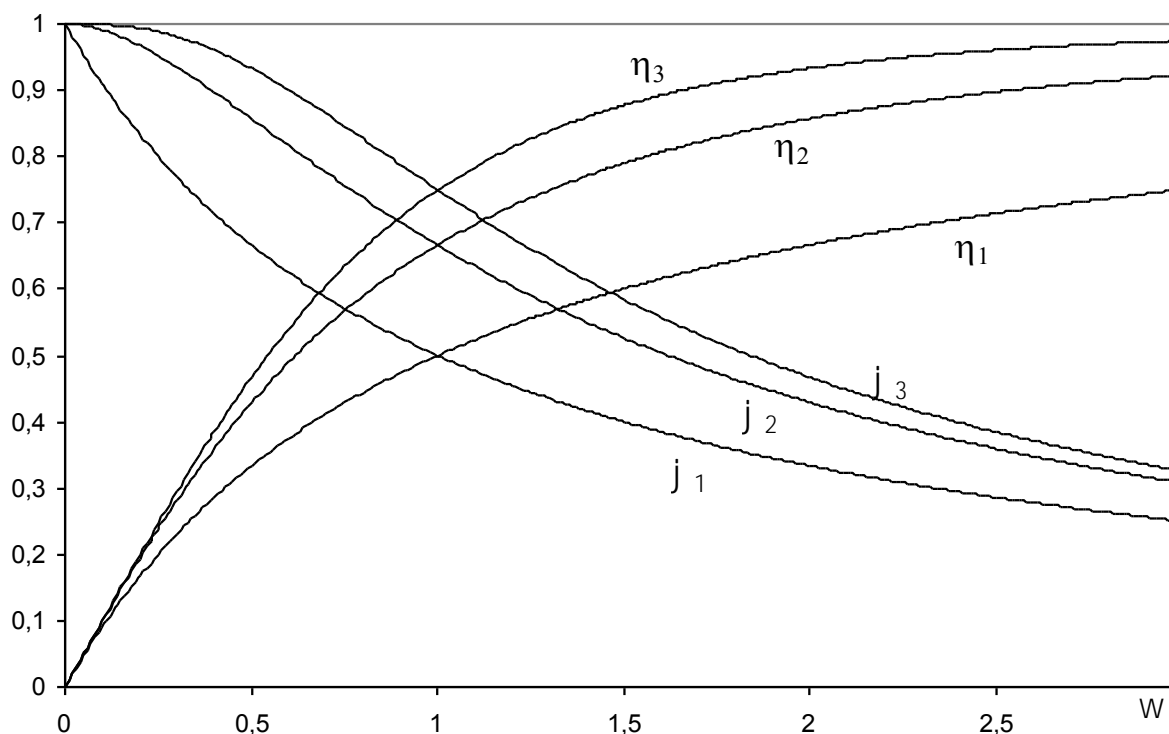


Рис. 2 - Зависимость величин  $\phi$  и  $\eta$  от  $\omega$  для одной, двух и трех решеток с кипящим слоем.

Используя полученный график, можно определять величины нагрева воздуха и охлаждения шлака при их заданных массовых расходах в УСГШ. К примеру, для установки с двумя решетками коэффициенту относительного нагрева воздуха  $\eta=0,5$  соответствует значение коэффициента относительного охлаждения шлака  $\phi=0,85$ . Это говорит о следующем: 85% теплоты шлака будет передано воздуху, и, следовательно, 15% будет потеряно в окружающей среде. Для установки с

тремя решетками и значении коэффициента  $\eta=0,5$ , коэффициент относительного нагрева шлака  $\varphi=0,92$ , то есть 92% теплоты будет передано потоку воздуха, а 8 % передано окружающей среде.

Таким образом, увеличение количества решеток с кипящим слоем повышает долю утилизированной внутренней теплоты доменного шлака на них. Установка более трех решеток не является энергетически целесообразной, так как доля утилизированной теплоты увеличится незначительно, но зато возрастет аэродинамическое сопротивление шлака на решетках, что потребует установки более мощного вентилятора для подачи воздуха через них. Это, в свою очередь, повлечет бóльшие энергозатраты на работу вентилятора.

#### **Список использованных источников:**

1. Баскаков А.П. Процессы тепло - и массопереноса в кипящем слое. М.: Metallurgy. 1978. 248 с.
2. Лукин С.В., Фокин А.В., Ильичева Е.М. Теплообмен на решетках с кипящим слоем в установке сухой грануляции доменного шлака // Metallurg. 2020. №4. С.16-20.

© А.В. Фокин, 2021

## СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ КОТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

студентка гр. ХТ-1-20 Гриб Юлия Александровна,  
студентка гр. ХТ-1-20 Гурьянова Анастасия Эдуардовна,  
Науч. руководитель:  
д-р техн. наук, профессор Зверева Эльвира Рафиковна  
Казанский государственный энергетический университет,  
г. Казань, Российская Федерация

**Аннотация.** Обводнение котельного нефтяного топлива приводит к ухудшению его качества: снижается теплота сгорания, ухудшается его распыливание и испарение. В статье рассмотрены методы удаления влаги из нефти и нефтепродуктов. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую эффективность (до 90%) обезвоживания мазутов при помощи деэмульгатора Дипроксамин-157. Для наиболее эффективного удаления влаги необходимо использовать комплекс мер: использование деэмульгаторов, нагревание (с применением подогревателей различных типов), отстаивание (в специальных отстойниках или ёмкостях промежуточного хранения), воздействие электрических/электростатических полей, импульсные воздействия, фильтрация через специальные пористые материалы.

**Ключевые слова.** Мазут, обезвоживание, деэмульгаторы, механизм.

## METHODS FOR REMOVING MOISTURE FROM BOILER FUELS

Gryb Yulia Aleksandrovna,  
Guryanova Anastasia Eduardovna

**Abstract.** Watering of boiler oil fuel leads to a deterioration in its quality: the heat of combustion decreases, its atomization and evaporation deteriorate. The article discusses methods for removing moisture from oil and oil products. Experimental studies have shown a high efficiency (up to 90%) of fuel oil dehydration using a demulsifier Diproxamine-157. For the most effective moisture removal, it is necessary to use a set of measures: the use of demulsifiers, heating (using heaters of various types), settling (in special sedimentation tanks or intermediate storage tanks), exposure to

electric / electrostatic fields, impulse effects, filtration through special porous materials.

**Keywords.** Fuel oil, dehydration, demulsifiers, mechanism.

Мазут используется на тепловых электрических станциях в качестве основного и резервного топлива. Качество топлива напрямую влияет на процессы топливоподготовки и сжигания, на объем выбрасываемых в атмосферу вредных примесей. Присутствие влаги негативно сказывается на энергетических свойствах топлива. При наличии воды в топливе снижается теплота сгорания, ухудшается его распыливание и испарение в камере сгорания [1].

Для удаления воды из жидких углеводородов можно использовать методы, основанные на химических, физико-химических и физико-механических процессах.

Для удаления растворенной воды из нефти и нефтепродуктов используются в основном химические методы. В основе данных методов обезвоживания лежат химические реакции, протекающие между содержащейся в углеводородах водой и химическим реагентом, при которых образуются нерастворимые с углеводородами соединения. В качестве химических реагентов широко используются гидриды и карбиды металлов.

Физико-химические методы обезвоживания основываются на способности адсорбентов (силикагель, алюмогель, цеолиты и др.) связывать молекулы воды, находящиеся в эмульгированном состоянии. Поглощающая способность адсорбентов снижается при насыщении водой, и требуется их регенерация или замена. Для восстановления свойств адсорбентов их осушают в токе горячего воздуха, используют высокотемпературный нагрев, промывают растворителем, или используют комбинацию этих методов.

К физико-химическим методам относят методы разделения эмульсий в центробежном поле путем их разделения в центрифугах, сепараторах и гидроциклонах; в электрическом поле - методом электрокоагуляции; в гравитационном поле при помощи отстаивания и др. [2].

Отстойники различных конструкций используются для удаления из жидкостей грубодисперсных взвешенных веществ и других примесей. Отстаивание является самым простым и наименее энергоемким методом обезвоживания нефти и нефтепродуктов. Однако, отстаивание возможно только для легких мазутов, плотность которых ниже плотности воды.

Однако, такой способ обезвоживания неприемлем для тяжелых котельных мазутов марок М100, М200.

Одним из распространенных и эффективных методов обезвоживания нефтяных топлив является разрушение эмульсий с помощью деэмульгаторов.

Наибольшее распространение для разделения водонефтяных эмульсий получили химические вещества - деэмульгаторы, действие которых направлено на разрушение защитных слоев у капель эмульгированной воды. Активность деэмульгатора во многом обусловлена его химическим строением. Деэмульгаторы относят к поверхностно-активным веществам (ПАВ), одна часть молекулы имеет сродство к углеводородам (гидрофобная), а другая часть сродство к воде (гидрофильная). На поверхности раздела фаз нефть - вода полярная часть молекулы ПАВ, обладающая гидрофильными свойствами, находится со стороны воды, а неполярная гидрофобная - со стороны поверхности. Межфазная поверхность при этом становится гидрофильной, в итоге межфазное натяжение уменьшается. Адсорбция на гидрофильных поверхностях часто приводит к возникновению более сложных структур молекул поверхностно-активных веществ.

В данной работе представлены результаты исследований по обезвоживанию топочного мазута марки М-100 при помощи деэмульгатора Дипроксамин-157 в диапазоне температур от 50-90 °С.

Дипроксамин 157 является продуктом реакции оксиэтилирования и оксипропилирования этилендиамина.

Плотность Дипроксамина 157 – 1,0286 г/см<sup>3</sup>. Он плохо растворяется в воде, хорошо растворим в ароматических углеводородах и в нефти. Имеет низкую температуру застывания (-38 °С).

Для применения на обезвоживающих и обессоливающих установках нефти используют 1 - 2 %-ый раствор деэмульгатора. В зависимости от условий применения, особенно для разрушения высокообводненных эмульсий, можно

использовать и более концентрированные растворы, или даже 100 %-ые деэмульгаторы.

Молекулы деэмульгаторов, адсорбируясь на коллоидных или грубодисперсных частицах, изменяют их смачиваемость, переводят указанные частицы с границы раздела в объем водной или нефтяной фазы, и занимают их место на границе раздела фаз. Поверхностное натяжение при этом значительно понижается. Образующиеся адсорбционные слои из молекул деэмульгатора практически не обладают заметными структурно-механическими свойствами, что способствует при их столкновениях друг с

другом быстрой коалесценции капель воды с адсорбционными слоями. После разрушения эмульсии, площадь поверхности раздела фаз сокращается в несколько раз, и избыточные молекулы поверхностно-активных веществ распространяются в объеме нефти и воды.

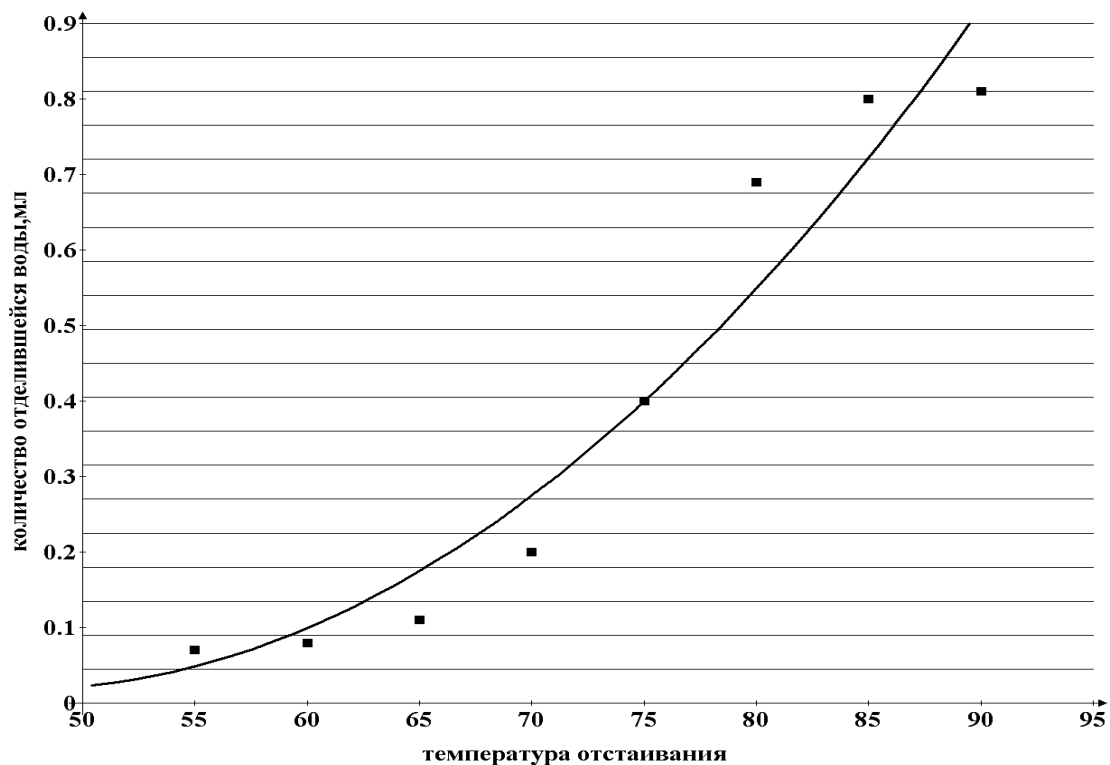


Рис. 1 - Мазут М100 + 3 % (масс.) присадки

Результаты экспериментальных исследований влияния деэмульгаторов на скорость и полноту обезвоживания мазута при различных температурах представлены на рисунке 1.

Исследования проводились в интервале температур от 50 до 90 °С при концентрации Дипроксамина-157 3 % (масс.) на вискозиметре ВУМ-М по методике ГОСТ 6258-85: Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали высокую эффективность (до 90 %) обезвоживания мазутов при помощи деэмульгатора Дипроксамин-157. Механизм отделения влаги в мазуте заключается во внедрении в межфазовое пространство деэмульгатора и в вытеснении присутствующих стабилизаторов - асфальтенов и природных поверхностно-активных веществ, в результате происходит изменение поверхностного натяжения и разрушение эмульсии.

Для наиболее эффективной деэмульсации необходимо использовать комплекс мер: использование деэмульгаторов, нагревание, отстаивание, воздействие электрических/электростатических полей, импульсные воздействия, фильтрация через специальные пористые материалы [3].

#### **Список использованных источников:**

1. Данилов А.М. Новый взгляд на присадки к топливам (обзор) // Нефтехимия, 2020. Том 6. №2. С.163-171.
2. Митусова Т.Н., Лобашова М.М., Титаренко М.А. Влияние депрессорно-диспергирующих присадок на чистоту дизельных двигателей. // Нефтегазопереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2016. № 1. С.45-46.
3. Зверева Э.Р., Дмитриев А.В., Шагеев М.Ф., Ахметвалиева Г.Р. Результаты промышленных испытаний карбонатной присадки к мазуту // Теплоэнергетика. 2017. № 8. С. 50-56.

© Ю.А. Гриб, А.Э. Гурьянова, 2021

## АНАЛИЗ РАБОТЫ СИНУС-ФИЛЬТРА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

канд. техн. наук., доцент **Ковалёв Евгений Николаевич**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Выполнена практическая проверка известной методики выбора параметров синус-фильтра для преобразователя частоты.

**Ключевые слова.** Синус-фильтр, преобразователь частоты, дроссель, конденсатор.

## ANALYSIS OF THE OPERATION OF A SINE FILTER WITH A FREQUENCY CONVERTER

**Kovalev Evgeny Nikolaevich**

**Abstract.** A practical test of the well-known method for selecting the parameters of a sine filter for a frequency converter is performed.

**Keywords.** Sine filter, frequency converter, choke, capacitor.

В частотно-регулируемых приводах синус-фильтры применяются для снижения пиковых напряжений на клеммах двигателей, обусловленных крутыми фронтами напряжения от преобразователя частоты; уменьшение объёма высших гармоник в форме питающего напряжения способствует снижению тепловых потерь электрических машин, уменьшению уровня электромагнитных помех и т.п. Таким образом, выбор параметров дросселей и конденсаторов синус-фильтров – ответственный этап проектирования системы привода.

В ряде электроустановок выход преобразователя частоты подключается к трансформатору. Так, распространены схемы управления высоковольтными асинхронными двигателями, в которых преобразователь частоты работает с низким напряжением (до 1000 Вольт); при этом на входе преобразователя устанавливается понижающий трансформатор, а на



выход подключается повышающий трансформатор. Синус-фильтр на выходе преобразователя частоты позволяет существенно снизить уровень высоких гармоник тока в обмотках повышающего трансформатора и уменьшить потери энергии.

Для обеспечения высокой мощности нагрузки может быть применено параллельное подключение нескольких модулей инверторов, синхронизированных по управлению. Параллельная работа модулей инверторов допускается при установке на выходе каждого инвертора уравнивающего дросселя.

В данной работе приводятся этапы выбора элементов синус-фильтра на основе методики, представленной в [1], и результаты анализа напряжений и токов преобразователя частоты с выбранным синус-фильтром. Преобразователь частоты выполнен из трёх параллельно включённых инверторов с номинальным выходным током  $I_n = 255\text{A}$ ; частота коммутации инверторов установлена 2 кГц. Индуктивность  $L$  уравнивающих дросселей находилась из условия допустимого падения напряжения  $dU$  при номинальном токе, как показано в таблице 1.

Таблица 1. Падение напряжения на дросселе при номинальном токе

U	dU%	dU, В	I, А	$X_L$ , Ом	L, мГн
300	4%	12	255	0,0471	0,150
300	5%	15	255	0,0588	0,187
300	6%	18	255	0,0706	0,225

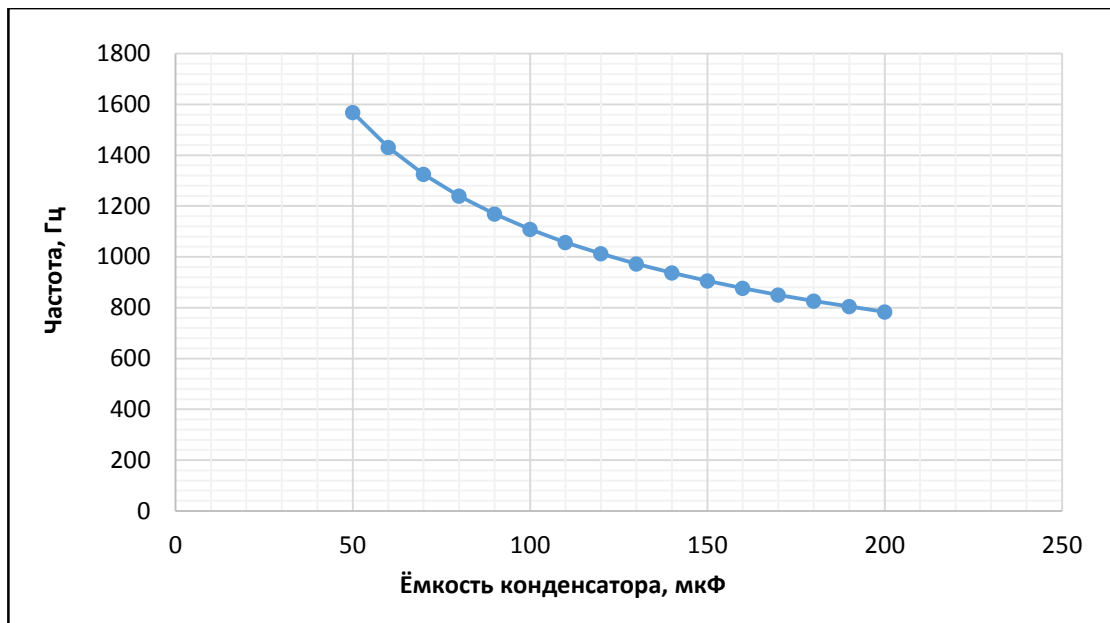
Был установлен дроссель с индуктивностью 0,206 мГн и номинальным током 255А.

Ёмкость конденсаторов  $C$  синус-фильтра выбрана из условия, чтобы резонансная частота фильтра была менее половины частоты коммутации. Частота резонанса  $f_p$  синус-фильтра определяется как

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

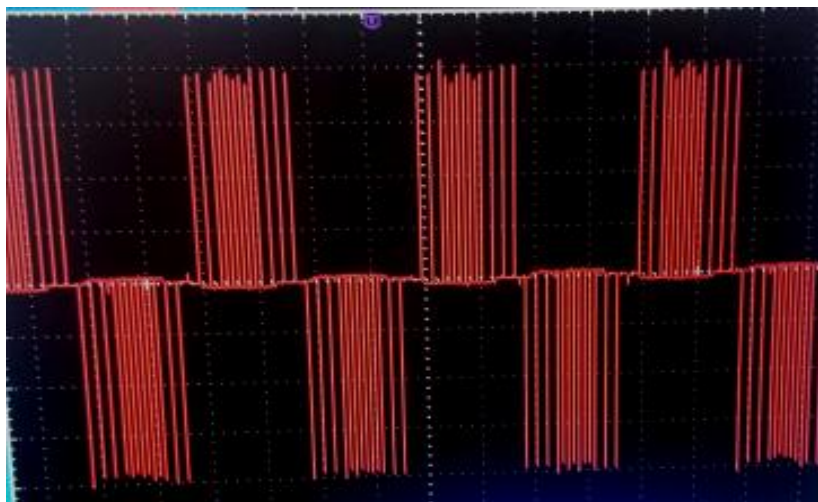
График, приведённый на рис.1, позволяет подобрать подходящую ёмкость конденсаторов.

Как следует из приведенного графика, величину ёмкости конденсатора целесообразно выбрать в пределах 150...200 мкФ.



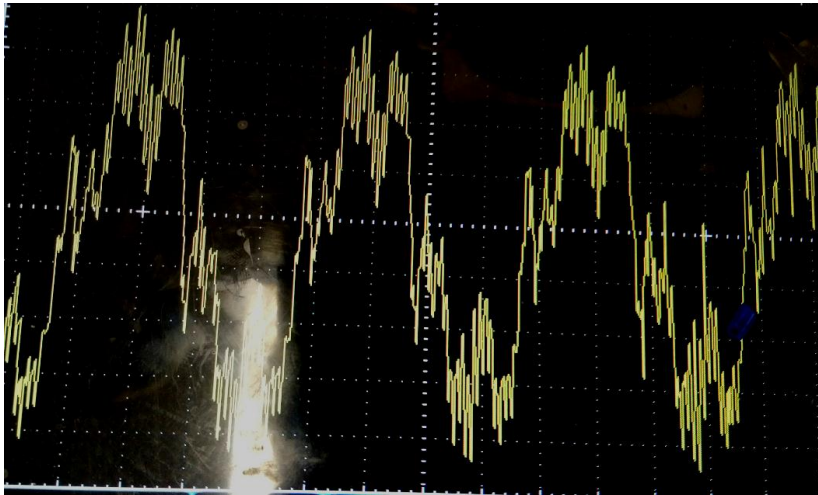
*Рис. 1 - Частота резонанса синус-фильтра с дросселем с индуктивностью 0,206 мГн*

Ниже показаны осциллограммы напряжений и тока преобразователя частоты с синус-фильтром.



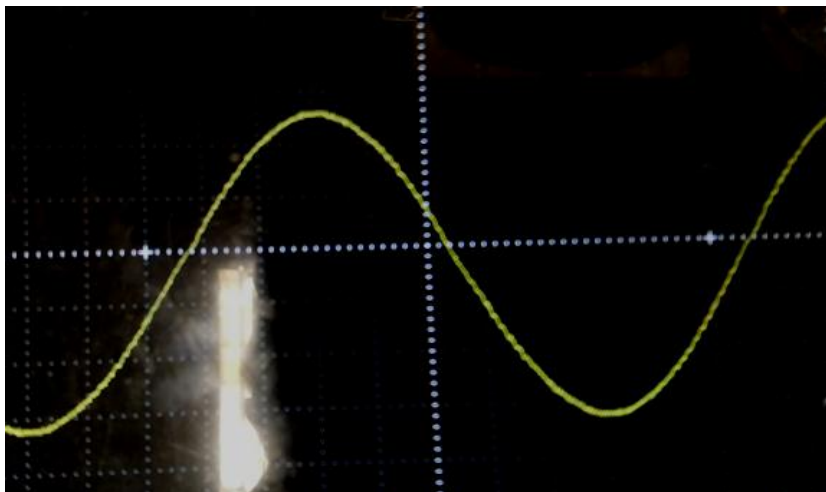
*Рис. 2 - Напряжение на выходе преобразователя*

Напряжение на выходе преобразователя представляет собой широтно-модулированный сигнал; амплитуда равна напряжению на звене постоянного тока преобразователя.



*Рис. 3 - Выходной ток преобразователя*

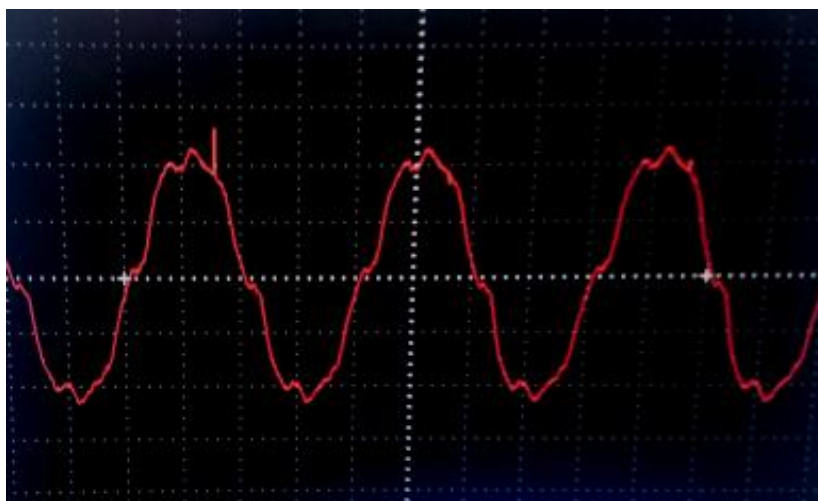
Выходной ток преобразователя содержит значительную долю высших гармоник.



*Рис. 4 - Напряжение на выходе синус-фильтра при работе без нагрузки*

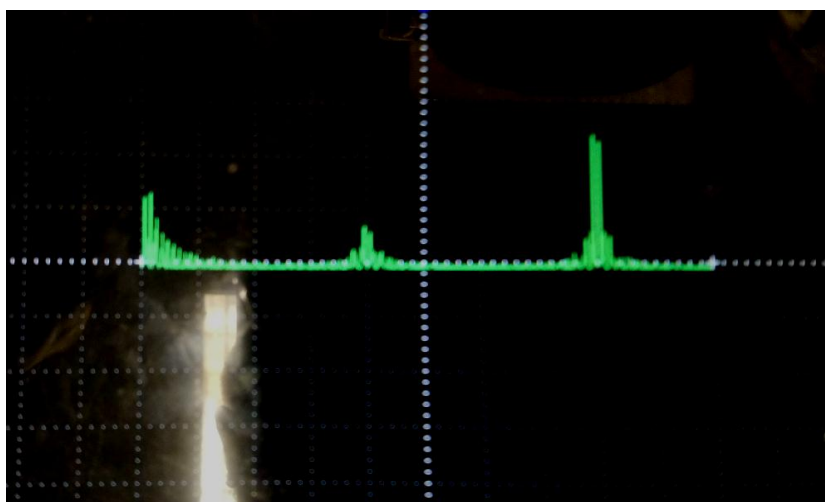
Напряжение на выходе синус-фильтра при работе без нагрузки практически синусоидальное.

Выход синус-фильтра подключен к трансформатору, на вторичную обмотку которого подключен мостовой выпрямитель. Как известно, потребляемый выпрямителем ток носит несинусоидальный характер. Это приводит к появлению гармоник в выходном напряжении синус-фильтра, как видно на рис. 5.



*Рис. 5 - Напряжение при работе преобразователя с нагрузкой*

На следующих двух рисунках показаны спектр тока на выходе преобразователя и спектр тока на выходе синус-фильтра. Частота коммутации преобразователя составляла 4 кГц.



*Рис. 6 - Спектр выходного тока преобразователя*

На рис. 6 показан спектр тока на выходе преобразователя частоты; частота модуляции равна 4 кГц. Развертка по частоте – 1 кГц в клетке. Наблюдается повышенный уровень гармоник на частотах 4 и 8 кГц.

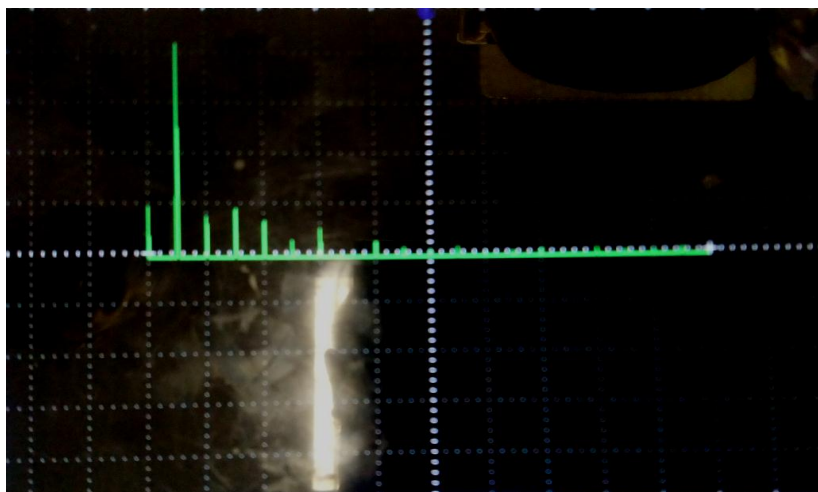


Рис. 7 - Спектр тока на выходе синус-фильтра

На рис. 7 показан спектр тока на выходе синус-фильтра - на первичной обмотке трансформатора при работе с нагрузкой. Развертка по частоте – 100 Гц в клетке. Гармоники, соответствующие частоте модуляции 4 кГц, подавлены синус-фильтром. Оставшиеся гармоники обусловлены искажениями, вносимыми нелинейным характером нагрузки.

#### *Заключение*

1. Практически подтверждена работоспособность методики [1] расчёта параметров индуктивности и ёмкости согласно следующим критериям: величина индуктивности выбрана из условия допустимого на ней падения напряжения в номинальном режиме работы; ёмкость выбрана исходя из условия, что ток высокочастотных гармоник через конденсатор не должен превышать 10 %.

2. Низкочастотные гармоники, вносимые нелинейным характером потребляемого нагрузкой тока, проявляются в напряжении и токе на выходе синус-фильтра, параметры которого выбраны в соответствии с принятой методикой.

#### **Список использованных источников:**

1. Турпак А.М., Ключников А.Т. Расчёт параметров LC-фильтра с учётом параметров нагрузки и длинного кабеля // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 8. (Часть 2). – С. 272-276.

© Е.Н. Ковалёв, 2021

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

студент гр. ЭН – 470018 Глухов Степан Михайлович,  
студент гр. ЭН – 470018 Ширманов Иван Андреевич,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доц. Ташлыков Олег Леонидович  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ),  
г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** Проведен обзор исследований материалов для защиты от гамма-излучения. Определена зависимость кратности ослабления от последовательности расположения материалов в защите. Приведены результаты расчета массовых коэффициентов ослабления гамма-излучения для стекол с различными добавками, бетонов с добавлением барита в составе. Также были рассмотрены некоторые природные материалы и шлаки с целью определения их эффективности при использовании в составе защиты от гамма-излучения.

**Ключевые слова.** Бетоны с добавками барита, металлы в многослойной защите, природные материалы и шлаки в составе защиты, кратность ослабления, стеклянные системы.

## OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF RADIATION PROTECTION AT NUCLEAR POWER FACILITIES

**Glukhov Stepan Mikhailovich,  
Shirmanov Ivan Andreevich**

**Abstract.** A study of materials for protection against gamma radiation was carried out. The dependence of the attenuation multiplicity on the location of the materials in the protection is determined. The results of calculating the mass coefficients of gamma radiation attenuation for glasses with various additives, concretes with the addition of barite in the composition are presented. Some natural materials and slags were also considered in order to determine their effectiveness when used as part of the protection against gamma radiation.

**Keywords.** Concretes with barium additives, metals in multi-layer protection, natural materials and slags in the protection composition, attenuation multiplicity, glass systems.

В настоящее время широкое использование источников ионизирующего излучения неразрывно связано с проблемами радиационной безопасности, задачами проектирования и создания биологических защит. В процессе строительства объектов атомной энергетики необходимо учитывать множество критериев, основными из которых являются хорошие экранирующие способности от ионизирующего излучения.

Оптимизация является одним из трех основных принципов радиационной безопасности и может быть реализован по многим направлениям [1]. Принцип оптимизации требует, чтобы облучение человека всегда удерживалось на настолько низком уровне насколько это разумно достижимо.

Стоимость защиты современных ядерно-технических установок может составлять 20-30 % стоимости сооружения, при этом толщина защиты может достигать больших размеров [2]. Поэтому оптимизация состава радиационно-защитных материалов является важным мероприятием с целью снижения общей стоимости радиационной защиты при максимальных показателях защитных свойств материалов. При этом наибольшее внимание уделяется защитным материалам, таким как стекло, композиты, бетоны, сплавы, полимеры и природные материалы, которые могут быть использованы как защита от ионизирующего излучения.

Основными способами защиты от ионизирующего излучения являются: защита временем; защита расстоянием; применение защитных экранов [3].

Экранирование является самым распространенным видом защиты. Использование защитных экранов позволяет человеку длительно работать вблизи источника радиации, оставаясь в безопасности. Используются поглотители необходимой толщины, которая зависит от изотропного состава радиоактивного загрязнения.

В данной работе представлены результаты исследования некоторых материалов, используемых в качестве радиационной защиты на предприятиях атомной энергетики.

Исследовались три направления:

1. Использование тяжелых металлов в слоистой защите, а также оценка оптимальной последовательности слоев в ней;

2. Применение бетонов с добавлением барита в качестве биологической защиты, а также природных материалов и шлаков в качестве насыпной защиты

3. Применение радиационно-защитных стекол различного состава

### *Исследование тяжелых металлов*

Использование тяжелых металлов в радиационной защите обусловлено их большей плотностью, большими массовыми коэффициентами ослабления гамма – излучения и др.

Исследовалось влияние различных расположений материалов в защите на кратность ослабления, а также выявление наиболее эффективной компоновки материалов для ослабления гамма – излучения определенного источника с использованием базы данных NISTXCOM [3], а также пакета «Mathcad».

Для оптимизации времени исследования были проведены упрощенные расчеты, позволившие выбрать три наиболее перспективных материала: белый чугун, висмут, свинец. В качестве источника гамма-излучения использовался  $^{24}\text{Na}$  (2,4 МэВ).

Расчет проводился для защиты, состоящей из трех слоев, толщину каждого слоя приняли 0,5 см. Была рассчитана кратность ослабления гамма – излучения при различной очередности металлов в защите. Результаты, полученные с помощью NISTXCOM и «Mathcad», сравнили с результатами расчета в программе MCNP (рис. 1). Номера компоновок и их состав приведены в табл. 1.

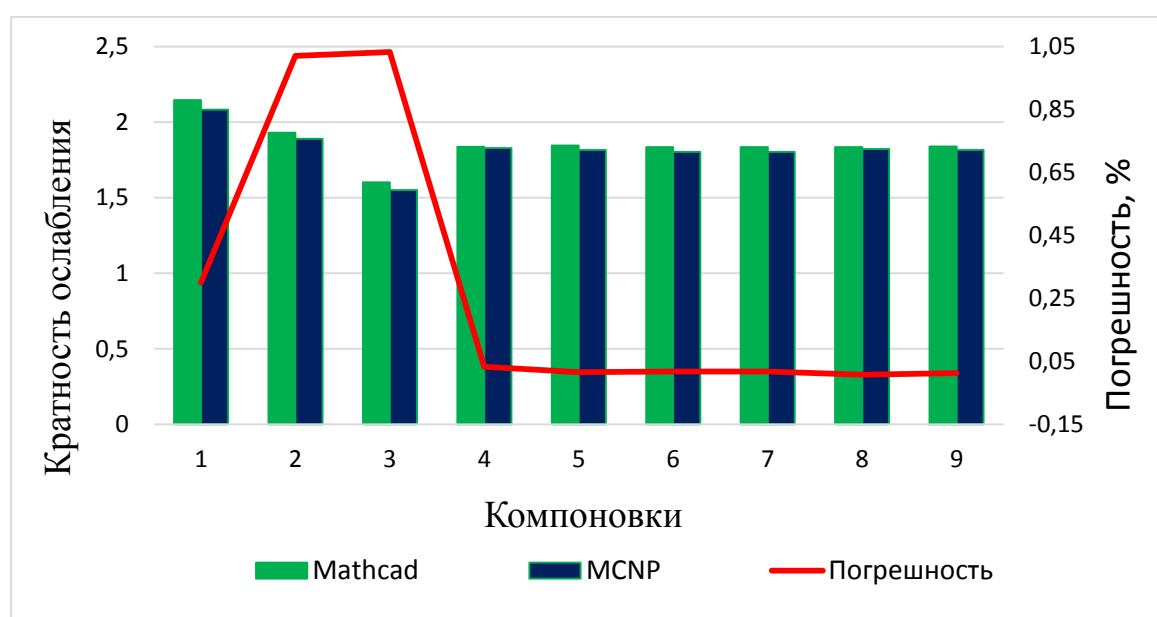


Рис.1 - Результаты расчета кратности ослабления исследуемых компоновок



Таблица 1. Исследуемые компоновки материалов в слоистой защите

Компоновки					
1	Pb – Pb – Pb	4	Pb – БЧ – Вi	7	БЧ – Pb – Вi
2	Вi – Вi – Вi	5	Pb – Вi – БЧ	8	Вi – БЧ – Pb
3	БЧ – БЧ – БЧ	6	БЧ – Вi – Pb	9	Вi – Pb – БЧ
Pb – свинец; БЧ – белый чугун; Вi - висмут					

При вычислениях различных расположений материалов в защите получено, что кратность ослабления зависит от очередности расположения материалов в защите. Также можно заметить, что самой эффективной компоновкой из представленных является использование защиты, состоящей из свинца, но на практике при использовании только свинца возникают проблемы, связанные с высокой стоимостью, а также с механическими свойствами этого металла (высокая пластичность) и токсичностью.

#### Бетоны с добавлением барита

Применение бетонов с добавлением барита в его состав также является перспективным при сооружении биологической защиты объектов использования атомной энергии (ОИАЭ).

Было проведено исследование ослабления гамма-излучения как бетонами типовых марок, так и бетонами с различным содержанием барита в его составе. Для оценки их экранирующих способностей рассчитывались значения массовых коэффициентов ослабления, а также были получены значения плотности бетонов. Процентное содержание веществ, входящих в состав бетонов, представлено в табл. 2.

Расчетные значения, полученные с помощью NISTXCOM, сравнивались с экспериментальными данными работы [4], полученными при использовании бетонов с аналогичным составом для энергий гамма-излучения 0,66 МэВ и 1,25 МэВ. На рис. 2 представлены значения линейных коэффициентов ослабления для типовых сортов бетона (1, 2, 3) и бетонов, в состав которых входит барит (4, 5, 6). В данных, полученных экспериментальным методом и рассчитанных с помощью базы данных NISTXCOM, наблюдается расхождение не более 20 %.

Таблица 2. Основные вещества, входящие в состав бетона, % масс.

Материалы	Образцы бетонов					
	1	2	3	4	5	6
Цемент	13,5	15,5	18,1	9,3	10,8	12,7
Вода	8,7	7,9	7,8	6,0	5,5	5,5
Мелкодисперсный наполнитель (песок)	30,3	29,8	28,9	0,0	0,0	0,0
Крупный наполнитель (щебень)	47,5	46,8	45,2	0,0	0,0	0,0
Концентрат баритовый (крупный)	0,0	0,0	0,0	33,5	33,1	32,4
Концентрат баритовый (мелкий)	0,0	0,0	0,0	51,1	50,6	49,4
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2406	2464	2482	3414	3507	3452

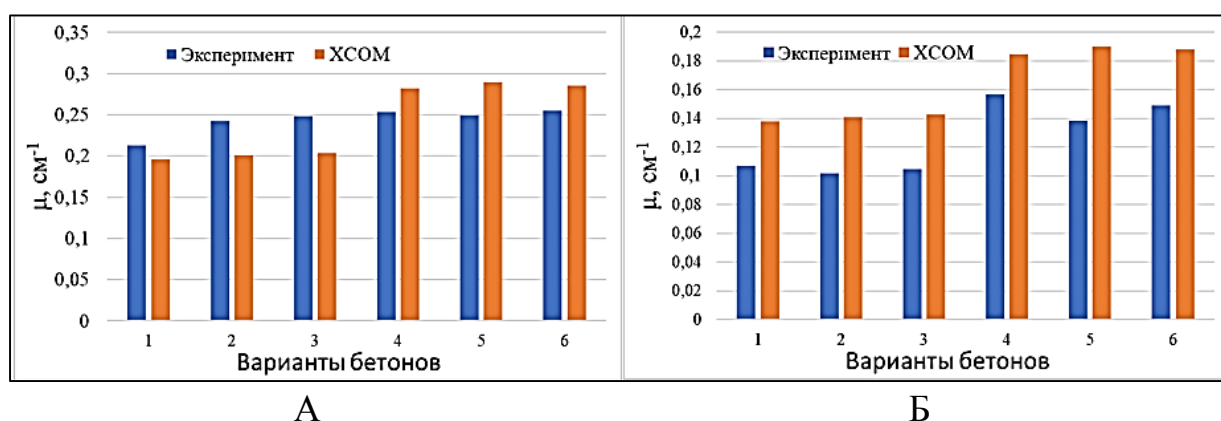


Рис. 2 - Коэффициенты линейного ослабления исследуемых бетонов:  
 А – для энергии фотонов 1,25 МэВ; Б - для энергии фотонов 0,66 МэВ

На диаграммах видно, что бетоны, имеющие в своем составе барит, имеют бóльшие коэффициенты линейного ослабления. Данные образцы бетонов были рассмотрены в качестве защитного строительного материала при действии на него гамма-излучения. Образцы бетона с баритом (4, 5, 6) имеют разную плотность, что значительно влияет на линейный коэффициент ослабления.

Эффективность применения барита в составе бетона показывает увеличение коэффициента линейного ослабления в среднем на 25 % для энергии 0,66 МэВ и на 29,8 % для энергии 1,25 МэВ соответственно. Использование бетона, в состав которого входит барит является перспективным по сравнению со стандартным бетоном с точки зрения оптимизация дозовых затрат персонала.

Также рассмотрены некоторые природные материалы и шлаки для оценки их эффективности при использовании в составе защиты от гамма-излучения, например в составе контейнеров НЗК с радиоактивным сорбентом [5].

Для исследования были выбраны следующие материалы:

1. Аллювиальный гранатовый песок;
2. Дистен-силлиманитовый концентрат зернистый;
3. Ильменитовый концентрат (обесхромленный);
4. Рутитовый концентрат зернистый (типичный);
5. Циркониевый концентрат порошкообразный;
6. Доменный гранулированный молотый шлак;
7. Гранит (крошка)

Расчет проводился для точечного источника излучения с помощью базы данных NISTXCOM. При расчете массового коэффициента ослабления в качестве источника излучения использовался  $^{60}\text{Co}$  (наиболее вероятным является каскадное испускание гамма-квантов с энергией 1,17 МэВ и 1,33 МэВ). Значения линейного коэффициента ослабления представлены на рис. 3, номер материала совпадает с номером материала в списке.

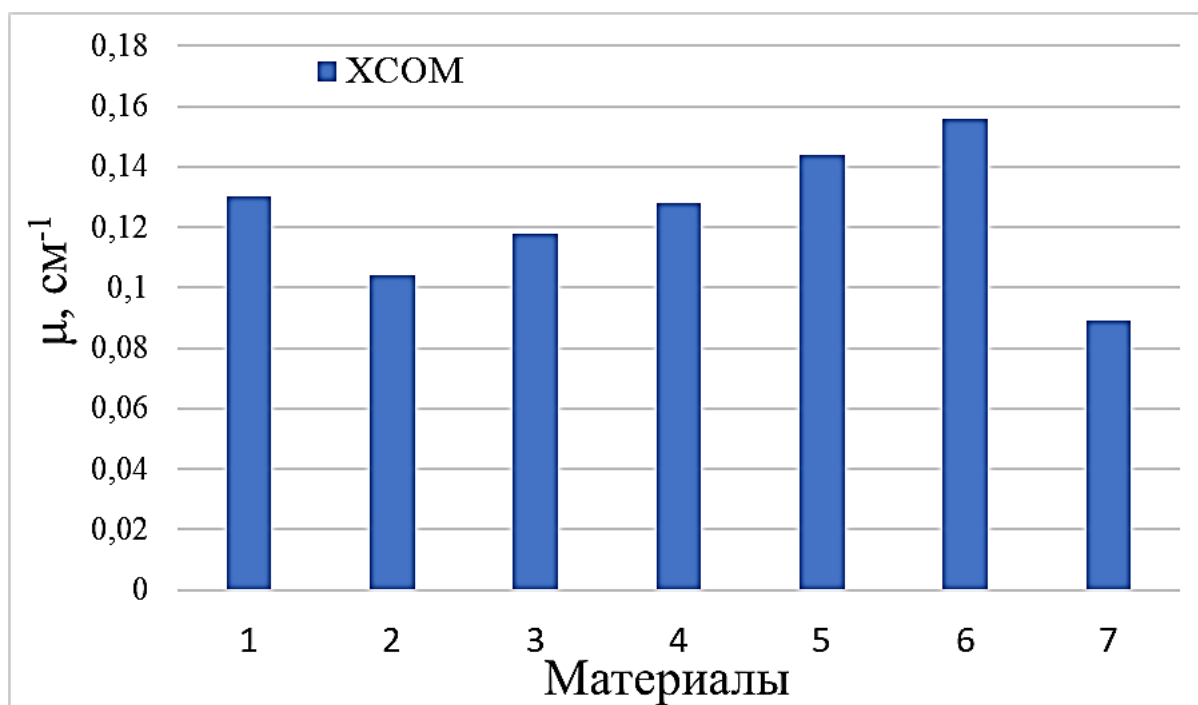


Рис. 3 - Коэффициенты линейного ослабления исследуемых природных материалов и шлаков

Наиболее эффективным материалом из исследуемых для ослабления гамма-излучения является доменный гранулированный молотый шлак и циркониевый концентрат порошкообразный. Это подтверждается наибольшим линейным коэффициентом ослабления. Перспективность использования данных материалов обусловлена их распространенностью и невысокой стоимостью. Применение природных материалов для защиты от гамма-излучения может быть использовано в условиях, не требующих ограничения для толщины защиты.

#### Стеклообразные системы

Особое место среди экранирующих материалов занимают защитные стекла, которые обеспечивают одновременный визуальный контроль опасных зон и защиту от ионизирующего излучения.

При рассмотрении оптимального состава радиационно-защитных стекол необходимо учитывать три фактора: окраску, присущую самому стеклу, окраску, вызванную гамма-облучением, и устойчивость этой окраски при комнатной температуре. В ходе оптимизации должна быть достигнута сбалансированность состава посредством учета потребностей в снижении дозы, потребности в сохранении производства и учета связанных с этих затрат.

В работе были исследованы стеклообразные системы на основе  $B_2O_3$ - $Na_2O$ ,  $SiO_2$  и  $P_2O_5$  с добавлением соединений кадмия, висмута, иттрия и других перспективных элементов [6 - 8]. Данные стеклообразные системы представлены в табл. 3. Для оценки радиационно-защитных свойств стекол приведены сравнения массового коэффициента ослабления исследуемых образцов и выявлены оптимальные составы стеклообразных систем из исследуемых образцов в качестве радиационной защиты.

Таблица 3. Исследуемые радиационно-защитные стекла

Образец	Химический состав
S1	$80B_2O_3-10Na_2O-10CdO$
S2	$40SiO_2-60(SnO-SnF_2)$
S3	$44P_2O_5+20PbO+17K_2O+9Al_2O_3+6Na_2O+4Tm_2O_3$
S4	$80B_2O_3-6Na_2O-14CdO$

Расчет массового коэффициента ослабления исследуемых стекол проводился с помощью базы данных NISTXCOM для диапазона энергий от 0,015 МэВ до 3 МэВ. Полученные результаты представлены на рис. 4.

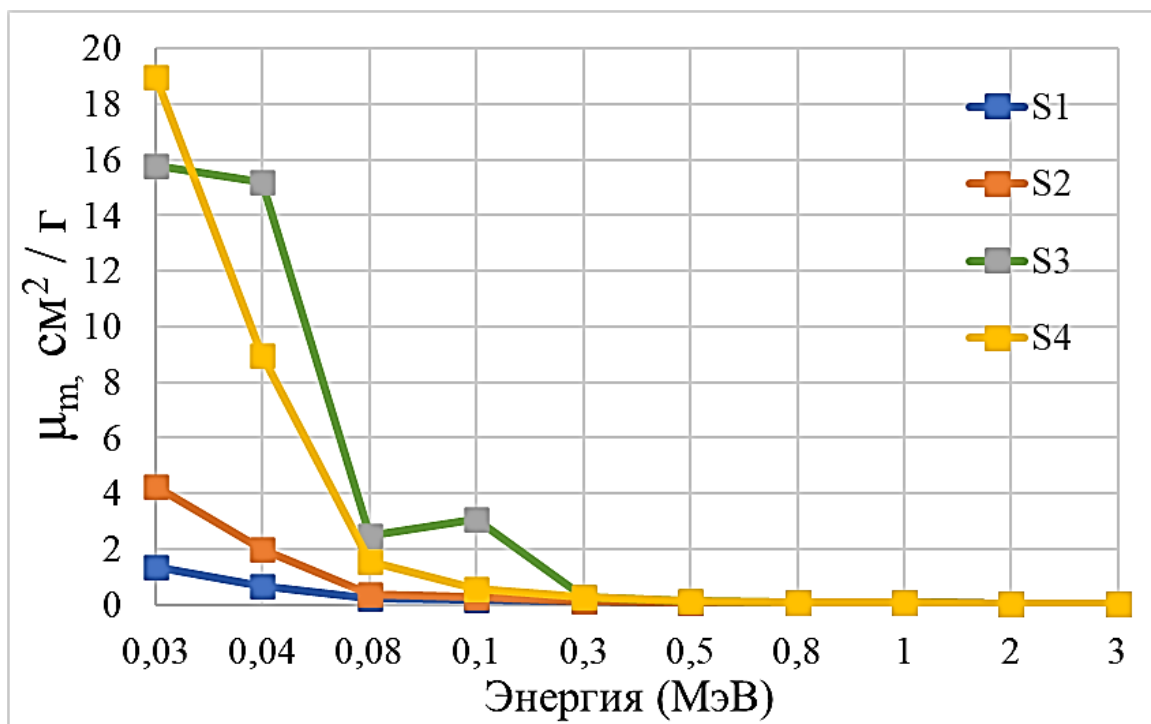


Рис. 4 - Коэффициенты массового ослабления исследуемых стекол

Из графика видно, что образец S4 имеет наибольшее значение массового коэффициента ослабления в области энергий от 0,015 МэВ до 0,033 МэВ, в то время как образец S3 имеет наибольший коэффициент массового ослабления в диапазоне энергий от 0,033 МэВ до 0,5 МэВ, что говорит о его лучших радиационно-защитных качества по сравнению с другими исследуемыми стеклами. В области больших энергий (свыше 3 МэВ) массовый коэффициент ослабления практически не изменяется для всех исследуемых образцов стекол.

На основе проведенного исследования радиационно-защитных свойств исследуемых материалов были получены значения коэффициентов массового ослабления для бетонов с добавлением барита, природных материалов и различных шлаков, а также стекол с различными добавками. Рассчитан коэффициент кратности ослабления слоистой защиты с использованием тяжелых металлов. Полученные данные говорят о перспективной возможности использования данных материалов в качестве радиационной защиты от гамма-излучения.

Исследование показало зависимость кратности ослабления от расположения материалов в слоистой защите. Применение баритов в составе бетона положительно влияет на радиационно – защитные свойства материала, а также было выявлено, что исследованные природные материала и шлаки могут быть использованы в качестве монолитной биологической защиты или насыпной, где нет ограничений по габаритам.

Радиационно - защитные стекла являются перспективным материалом, где необходим визуальный контроль за радиоактивными материалами, а также применяются в рентгеновских кабинетах и машинах радиационной разведки.

#### Список использованных источников:

1. Михайлова А. Ф., Ташлыков О. Л. Пути реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. Т 9, № 4. С. 393-401.
2. Машкович В. П., Кудрявцева А. В. Защита от ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1995. 495 с.
3. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: учебник / О.Л. Ташлыков. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 352 с.
4. База для получения данных сечения фотонов для одного элемента, соединения или смеси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/html/xcom1.html>
5. Litovchenko V. Yu., Vasutin N. A., Kozlov A. V., Seleznev E. N., and Tashlykov O. L. Modeling of combined radiation protection when working with irradiation sources AIP Conference Proceedings 2313, 020010 (2020)
6. The shielding of  $\gamma$ -rays by concretes produced with barite / I. Akkurt, C. Basyigit, S. Kilincarslan, B. Mavi // Progress in Nuclear Energy. (2005). 46(1), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2004.09.015>.
7. Rammah Y. S., Mahmoud K. A., El- Agawany F. I., Tashlykov O. L., Yousef E. Tm<sup>3+</sup> ions- doped phosphate glasses: nuclear shielding competence and elastic moduli // Applied Physics A 2020 Vol. 126 Is. 12, Article 927.
8. Sayyed, M.I., Mahmoud, K.A., Tashlykov, O.L., Khandaker, M.U., Faruque, M. Enhancement of the Shielding Capability of Soda–Lime Glasses with Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dopant: A Potential Material for Radiation Safety in Nuclear Installations // Applied Sciences. 2021, 11(1), P. 326.

© С.М. Глухов, И.А. Ширманов, 2021

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТИВНЫХ РЕЗОЛЬВЕНТ

канд. физ.-мат. наук **Косовская Надежда Юрьевна**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Рассматриваются проблемы автоматизации построения минимальных проективных бимодульных резольвент для некоторых классов конечномерных алгебр. Эти резольвенты используются для вычислений групп и алгебр когомологий Хохшильда. Описывается программа, написанная автором на языке программирования C++ для решения одной из таких задач.

**Ключевые слова.** Проективная резольвента, когомологии Хохшильда, вычислительный аспект теории представлений.

## AUTOMATIZATION OF COMPUTATION OF MINIMAL BIMODULE PROJECTIVE RESOLUTION

**Kosovskaia Nadezhda Yurievna**

**Abstract.** Problems of computation of minimal bimodule projective resolution for several algebras are considered. This resolution is commonly used for description the Hochschild cohomology groups or algebra in terms of generators and defining relations. The algorithm of original C++ program for one algebra of dihedral type is given.

**Keywords.** Projective resolution, Hochschild cohomology, computational representation theory.

Рассмотрим задачу построения бимодульных резольвент для алгебр различных классов. Особый интерес к ней связан с активными в последние годы исследованиями когомологий Хохшильда. Например, в базе данных mathnet.ru по этой теме находятся более 50 научных статей начиная с 2004 года. Из них более 30 опубликовано А.И. Генераловым и его учениками, начиная с работы [1]. Используемая им техника для вычисления групп и алгебр когомологий Хохшильда предполагает знание минимальной проективной бимодульной резольвенты рассматриваемой алгебры.

Построить её очень трудоемкая и сложная задача. Таким образом, задача об автоматизации (хотя бы частичной) вычисления таких бимодульных резольвент представляется очень актуальной.

В статье [2] А. И. Генералова и Н.В. Косматова говорится, что для выдвижения гипотезы о строении минимальных резольвент простых модулей некоторых диэдральных алгебр впервые удалось успешно использовать компьютерные вычисления. Для этого Н. В. Косматов написал оригинальную программу на языке C++. Работа продолжена статьей [3], и разработанная программа *Resolut* выложена в свободный доступ, см. [4]. Отметим, что здесь пока идёт речь не о бимодульных, а об обычных резольвентах и алгоритм программы использует диаграммный метод, основанный на методе Д. Бенсона и Дж. Карлсона. Но, уже в следующем же году, для первой статьи из цикла работ посвященных когомологиям Хохшильда [1], Генераловым А.И. была написана программа на языке Pascal, с помощью которой были вычислены дифференциалы между несколькими начальными членами минимальной проективной бимодульной резольвенты. Результаты успешно получены и опубликованы, но сама программа осталась «в тени» и это общая тенденция. Если для нахождения когомологий Хохшильда авторы и используют какую-то программу, то в научную статью эта техническая сторона уже не входит, так как эти компьютерные вычисления используют лишь для выдвижения гипотезы, а не для доказательства. То, что разработанный код остается всегда «за кадром», как мне кажется, мешает дальнейшему развитию компьютерных вычислений в этой области гомологической алгебры. Единственное известное мне исключение, это работы М.А. Качаловой. Для получения результатов целой серии работ, начиная с [5], М.А. Качаловой написано несколько программ на языке C++, подбирающие матрицы дифференциалов и омега-сдвигов для фиксированных параметров алгебры. Каждая программа разработана для конкретной задачи и автор готова делиться разработанным кодом. Например, программа, написанная для получения результатов статьи [6] выложена на популярную веб-платформу для разработчиков программного обеспечения GitHub, см. [7]. Но на данный момент, так и не разработан хоть сколько-нибудь универсальный алгоритм компьютерного вычисления бимодульных резольвент. Я хочу поддержать идею открытости кода и рассказать о своем опыте разработки программы, которая позволила получить результат, опубликованный в статье [8]. Сама программа и её алгоритм нигде до этого не публиковались и не обсуждались.



Пусть  $K$  – алгебраически замкнутое поле произвольной характеристики. Рассмотрим над  $K$  конечномерные алгебры диэдрального типа из серии  $D(2\mathcal{B})(k, s, c)$ , см. классификацию К. Эрдман [9]. Эти алгебры, обозначим их  $R$ , зависящие от трех параметров  $k, s \in \mathbb{N}$ ,  $s \geq 2$ ,  $c \in \{0, 1\}$ , описываются как алгебры путей следующего колчана (то есть ориентированного графа) (см. рис. 1) с соотношениями (см. рис. 2):

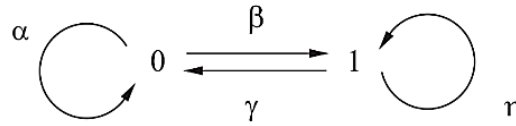


Рис. 1 – Колчан алгебры  $R$

$$\beta\gamma = \eta\beta = \gamma\eta = 0, \quad (\gamma\beta\alpha)^k = (\alpha\gamma\beta)^k, \\ \alpha^2 = c(\gamma\beta\alpha)^k, \quad \eta^s = (\beta\alpha\gamma)^k.$$

Рис. 2 – Соотношения в алгебре  $R$

Зафиксируем наименьшие возможные значения параметров алгебры  $R$ :  $k = 1$ ,  $s = 2$ ,  $c = 0$ . Тогда следующее множество из 11 элементов будет являться базисом алгебры  $R$  (занумеруем их в указанном порядке):

$$\mathfrak{B} = \{e_0, e_1, \alpha, \beta, \gamma, \eta, \gamma\beta, \alpha\gamma, \beta\alpha, \alpha\gamma\beta, \beta\alpha\gamma\} = \{b_i\}_{i=0}^{10}.$$

Через  $e_0$  и  $e_1$  обозначены идемпотенты алгебры  $R$ , соответствующие вершинам колчана. Помня, что композицию путей мы записываем справа налево и в нашем случае  $\alpha^2 = 0$ , выпишем таблицу умножения в  $R$ :

Таблица 1. Таблица умножения в алгебре  $R$

$\cdot$	$e_0$	$e_1$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\eta$	$\gamma\beta$	$\alpha\gamma$	$\beta\alpha$	$\alpha\gamma\beta$	$\beta\alpha\gamma$
$e_0$	$e_0$	0	$\alpha$	0	$\gamma$	0	$\gamma\beta$	$\alpha\gamma$	0	$\alpha\gamma\beta$	0
$e_1$	0	$e_1$	0	$\beta$	0	$\eta$	0	0	$\beta\alpha$	0	$\beta\alpha\gamma$
$\alpha$	$\alpha$	0	0	0	$\alpha\gamma$	0	$\alpha\gamma\beta$	0	0	0	0
$\beta$	$\beta$	0	$\beta\alpha$	0	0	0	0	$\beta\alpha\gamma$	0	0	0
$\gamma$	0	$\gamma$	0	$\gamma\beta$	0	0	0	0	$\alpha\gamma\beta$	0	0
$\eta$	0	$\eta$	0	0	0	$\beta\alpha\gamma$	0	0	0	0	0
$\gamma\beta$	$\gamma\beta$	0	$\alpha\gamma\beta$	0	0	0	0	0	0	0	0
$\alpha\gamma$	0	$\alpha\gamma$	0	$\alpha\gamma\beta$	0	0	0	0	0	0	0
$\beta\alpha$	$\beta\alpha$	0	0	0	$\beta\alpha\gamma$	0	0	0	0	0	0
$\alpha\gamma\beta$	$\alpha\gamma\beta$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\beta\alpha\gamma$	0	$\beta\alpha\gamma$	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Очевидно, что алгебра  $R$  не коммутативная. Рассмотрим её обертывающую алгебру  $\Lambda = R \otimes_K R^{op}$ . Здесь  $R^{op}$  – алгебра противоположная  $R$ , умножение в неё задаётся симметричным образом  $r \cdot_{R^{op}} s = s \cdot_R r$ . Тогда умножение в  $\Lambda$  устроено следующим образом:

$$(a_1 \otimes c_1) \cdot (a_2 \otimes c_2) = (a_1 a_2 \otimes c_2 c_1).$$

Очевидно, что множество из 121 элемента  $B_\Lambda = \{b_i \otimes b_j\}$  будет являться базисом обертывающей алгебры  $\Lambda$ . Мы можем любой  $R$  – бимодуль рассматривать, как левый  $\Lambda$ -модуль.

Наша задача – построить минимальную бимодульную проективную резольвенту алгебры  $R$ , рассматриваемую как модуль над своей обертывающей алгеброй  $\Lambda$ . То есть, надо построить бесконечную цепочку проективных модулей и отображений

$$\dots \rightarrow Q_3 \xrightarrow{d_2} Q_2 \xrightarrow{d_1} Q_1 \xrightarrow{d_0} Q_0 \xrightarrow{\mu} R \rightarrow 0,$$

для которых  $\text{Ker} d_n = \text{Im} d_{n+1}$ , где  $\mu(a \otimes c) = ac$ .

Модули  $Q_n$  раскладываются в прямую сумму неразложимых проективных модулей. Отображения  $d_n$  будут задаваться матрицей из элементов  $\Lambda$ , соответственно этому разложению. При этом, мы отождествляем элемент из алгебры  $\Lambda$  и гомоморфизм проективных неразложимых модулей, который порождается умножением справа на этот элемент. Матрица отображения  $d_0: Q_1 \rightarrow Q_0$  известна (см. Рис. 3).

$$\begin{pmatrix} -e_0 \otimes \alpha + \alpha \otimes e_0 & \beta \otimes e_0 & -e_0 \otimes \gamma & 0 \\ 0 & -e_1 \otimes \beta & \gamma \otimes e_1 & -e_1 \otimes \eta + \eta \otimes e_1 \end{pmatrix}$$

Рис. 3 – Матрица задающая  $d_0$

Задача о построении резольвенты данной алгебры была решена с помощью программы *BuildKerDN*, написанной на языке программирования C++. Рассмотрим её структуру. При вызове эта программа находит ядро  $\text{Ker} d_{n+1}$ , используя файл с найденным ей ранее ядром  $\text{Ker} d_n$ :

- 1) Запрашивает у пользователя значение  $n$  и если
  - а.  $n = 0$ , то загружает из файла “d0function.txt” коэффициенты матрицы отображения  $d_0$  (см. Рис. 3) и, с помощью функции *FindKerDN*, находит все образующие  $\text{Ker} d_0$ , как -линейного пространства;
  - б.  $n > 0$ , то загружает из файла “KerD<n>.txt” все образующие  $\text{Ker} d_n$ , как -линейного пространства. Этот файл был сформирован при запуске программы для значения  $n - 1$ .

2) Проверяет функцией *IsLaBaseKerDN* порождают ли  $2(n + 3)$  образующих под номерами из массива *IndexBase* всё ядро как  $\Lambda$ -модуль. Содержание этого массива индексов пользователь должен внести сам после анализа результатов предыдущих запусков программы. Если какой-то вектор не получается из выбранных умножением на элементы  $\Lambda$ , то программа заканчивает свою работу. Тогда надо выбрать другие индексы в *IndexBase*.

3) Строит матрицу  $d_{n+1}$  на основе найденного базиса ядра. Тогда, по построению, образ найденного отображения  $d_{n+1}: Q_{n+2} \rightarrow Q_{n+1}$  будет совпадать с ядром  $d_n: Q_{n+1} \rightarrow Q_n$ . В функции *FindKerDN* находит все образующие (как  $\Lambda$ -линейного пространства) ядра  $\text{Ker } d_{n+1}$ . И, в завершении, печатает полученный результат в два файла: “ViewKerD<n>.txt” и “KerD<n>.txt” в форматах удобных для чтения пользователем и программой соответственно. При этом часть образующих помечается как «кандидаты в базис» и печатается в третий файл “outfile.txt”. Это те вектора, в компонентах которых есть ненулевые элементы вида  $e_i \otimes a$  и  $b \otimes e_i$ .

После завершения работы программы пользователю необходимо просмотреть файл “outfile.txt” с сообщениями об успешности каждого из шагов вычислений или о возникших проблемах. Далее, необходимо внимательно изучить напечатанный там же список «кандидатов» в базис ядра и выбрать из него  $2(n + 4)$  штуки, сформировав массив индексов *IndexBase*, который необходим для работы программы при следующем значении  $n$ .

Для каждого  $n$  у нас есть произвол в выборе базисных элементов ядра и их порядке. От этого выбора зависит вид получающейся матрицы отображения  $d_n$  (а значит и всех последующих). Наша задача подобрать её так, чтобы наиболее ясно прослеживалась закономерность в строении и чтобы получающаяся бимодульная резольвента была согласована с уже известными нам минимальными проективными резольвентами простых  $\Lambda$ -модулей  $S_0$  и  $S_1$  (для дальнейшего использования в доказательстве Теоремы 1 из [10, с. 63]). Основная «ручная работа» сосредоточена именно на этом шаге. Например, программа нашла 253 линейно независимых образующих ядра  $d_6$  и 23 из них пометила как «кандидатов в базис». А нам надо выбрать из них только 16 и при следующем запуске программа проверит являются ли выбранные образующие базисом.

Подробнее о реализации. В программе определен класс *LaAlgebra* с несколькими конструкторами и методами сложения, умножения, умножения на скаляр и печать двумя способами (удобной для чтения пользователем или программой). Объект этого класса – это вектор из 121 целого числа. Эти числа представляют коэффициенты, вообще говоря из поля  $K$ , разложения элемента из  $\Lambda$  по базису  $B_\Lambda$ . Метод умножения двух объектов этого класса *Mult(LaAlgebra L1, LaAlgebra L2)* использует приватный метод *ProductRules(int i1, int i2)*. Он по индексам двух базисных элементов алгебры  $R$  выдает индекс ненулевого базисного элемента равного их произведению. Это возможно, так как структурные коэффициенты  $c_{i,j,k}$  рассматриваемой алгебры  $Rb_i \cdot b_j = \sum_{k=0}^{10} c_{i,j,k} b_k$

такие, что при фиксированных  $i, j$  либо все  $c_{i,j,k}$  нули, либо ровно один коэффициент  $c_{i,j,k}$  равен 1, а остальные 0 (см. таблицу 1).

И на втором, и на третьем шаге программы мы обращаемся к функции *LinSolv(outfile, Matr, RightPart, EqualNull)* в которой методом Гаусса (это удастся сделать без использования деления) мы находим решения матричного уравнения

$$Matr \cdot X = RightPart.$$

Если параметр *EqualNull = true*, то *LinSolv* вызвана из *FindKerDN* для нахождения ядра  $d_{n+1}$ . Тогда правая часть у нас нулевой вектор и мы рассматриваем уравнение не с матрицей отображения  $Matr: \Lambda^N \rightarrow \Lambda^M$ , а с матрицей его сужения на соответствующий проективный модуль  $Q_{n+2}$ .

Если же параметр *EqualNull = false*, то *LinSolv* вызвана из функции *IsLaBaseKerDN* для проверки порождается ли элемент ядра *RightPart* из выбранных «кандидатов в базис» умножением на элементы  $\Lambda$ . После приведения расширенной матрицы коэффициентов в ступенчатый вид нам достаточно сравнить, ранги расширенной матрицы ( $Matr|RightPart$ ) и матрицы *Matr*. При этом интересует не само решение, а сам факт его существования.

Работа в программе всё время идет с матрицами из целых чисел. Когда мы приводим матрицу к ступенчатому виду, нам удастся избежать деления, всегда находя ведущие элементы равные 1 или  $-1$  (тогда умножаем всю строку на  $-1$ ). При этом удастся каждый раз (именно в данной задаче!) подобрать матрицу  $d_n$  в которой все компоненты раскладываются по базису с ненулевыми коэффициентами 1 или  $-1$

(совпадающий с 1, если характеристика поля равна 2). Тем самым нам удалось получить результат для любой характеристики поля  $K$ .

Искомая бимодульная резольвента не является периодической, но имеет некоторый эффект самоповторяемости. Для выдвижения гипотезы об общем строении резольвенты понадобилось посчитать, с помощью написанной программы, отображения  $d_n$  вплоть до  $n = 9$ , чтобы этот эффект дал о себе знать. Тогда удалось заметить связь  $d_n$  и  $d_{n+4}$ , причем зависящую от остатка при делении  $n$  на 6, и выдвинуть гипотезу об общем строении резольвенты для параметров алгебры  $k = 1$ ,  $s = 2$ ,  $c = 0$ . Модифицировать программу для других параметров алгебры этой же серии не понадобилось. На основании полученных результатов А.И.Генералов выдвинул гипотезу о строении резольвенты для любых натуральных параметров  $k \geq 1$  и  $s \geq 2$ , при том же  $c=0$ . Доказательство, что полученная конструкция действительно является минимальной проективной бимодульной резольвентой для алгебр с параметрами  $k = 1$ ,  $s = 2$ ,  $c = 0$  доказывается уже с помощью методов гомологической алгебры и приводится в статье [8] без упоминания программы. Для случая  $c = 1$ , используя эту же программу (изменив выделенный элемент в таблице умножения), мне удалось вычислить  $d_n$  вплоть до  $n = 11$ , но не удалось обобщить результат и выдвинуть общую гипотезу о строении. Это было сделано А.И. Генераловым с другими учениками в статье [11].

#### Список использованных источников:

1. Генералов А. И. Когомологии Хохшильда алгебр диэдрального типа, I: серия  $D(3K)$  в характеристике 2, Алгебра и анализ, 16:6 (2004), 53–122; St. Petersburg Math. J., 16:6 (2005), 961–1012.
2. Generalov I., Kosmatov N. V. Computation of the Yoneda algebras for algebras of dihedral type. Вопросы теории представлений алгебр и групп. 10, Зап. научн. сем. ПОМИ, 305, ПОМИ, СПб., 2003, 101–120; J. Math. Sci. (N. Y.), 130:3 (2005), 4699–4711.
3. Генералов А. И., Косматов Н. В. Проективные резольвенты и алгебры Йонеды для алгебр диэдрального типа: серия  $D(3Q)$ . Фундамент. и прикл. матем., 10:4 (2004), 65–89; J. Math. Sci., 140:2 (2007), 221–238.
4. Kosmatov N. Resolut. <http://lifc.univ-fcomte.fr/~kosmatov/resolut/2003>.

5. Генералов А. И., Качалова М. А. Бимодульная резольвента алгебры Мёбиуса, Вопросы теории представлений алгебр и групп. 12, Зап. научн. сем. ПОМИ, 321, ПОМИ, СПб., 2005, 36–66; J. Math. Sci. (N. Y.), 136:3 (2006), 3850–3866.
6. Качалова М. А. Кольцо когомологий Хохшильда самоинъективных алгебр древесного типа Е6. II. Вопросы теории представлений алгебр и групп. 34, Зап. научн. сем. ПОМИ, 478, ПОМИ, СПб., 2019, 128–171.
7. Качалова М. А. <https://github.com/pigmasha/e8>, 2020.
8. Генералов А. И., Косовская Н. Ю. Когомологии Хохшильда алгебр диэдрального типа. IV. Серия  $D(2B)(k,s,0)$ . Вопросы теории представлений алгебр и групп. 26, Зап. научн. сем. ПОМИ, 423, ПОМИ, СПб., 2014, 67–104; J. Math. Sci. (N. Y.), 209:4 (2015), 522–548.
9. Erdmann K. Blocks of tame representation type and related algebras, Lect. Notes Math., 1428, Berlin–Heidelberg, 1990.
10. Волков Ю. В., Генералов А. И., Иванов С. О. О построении бимодульных резольвент с помощью леммы Хаппеля, Зап. научн. семин. ПОМИ, 375, 2010, 61–70.
11. Генералов А. И., Романова Д. Б. Когомологии Хохшильда алгебр диэдрального типа. VI. Серия  $D(2B)(k,s,1)$ . Алгебраианализ, 27:6 (2015), 89–116; St. Petersburg Math. J., 27:6 (2016), 923–940.

© Н.Ю. Косовская, 2021

**BIG IOT DATA MANAGEMENT:  
AN OVERVIEW OF THE EDGE COMPUTING**

master's degree **Talapkaliyeva Aiya Nurgalikyzy**  
Kazakh-British Technical University,  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**Abstract.** With the rising number of IoT devices and great amount of information that they gather, today one of the main challenges such as how to process and store this data efficiently still remains the top priority in the big data field. Features of the technologies that once were considered to be as the most optimal solutions are becoming less productive. Now, every millisecond spent on the information transferring from the sensor to the cloud makes a big difference, therefore it needs optimization. And as the most up-to-date solution becomes edge computing. It allows to manage the information right there where it was initially collected, which greatly reduces time consumption. But this is not the only advantage of this technology. In this paper, I explained the general meaning of the edge computing, why it should be used in the industry, especially for autonomous vehicles and healthcare devices, by making the industry think faster and better. I also showcased the most optimal cloud platforms with edge computing solutions and its working case studies. In the end, there were given some ideas for improving edge computing architecture, that will help in future experiments in this field.

**Keywords.** Data, big data, internet of things, IoT, cloud computing, edge computing.

With every year the volume of data and information, its diversity, and sources where it came from, is growing very fast, at exponential speed. And of course, this big amount of data – Big Data – has caused a big problem on how to manage, process and store this data [1].

One of the “biggest” sources of big data is Internet of Things (IoT). The data collected via IoT devices can vary, depending upon the services it provides [2]. As the number of IoT devices also grows every year, such main characteristics as volume, velocity, variety [1], and some add veracity of the of

data [2], arise more challenges to design, structure, and analyze big data. Therefore, it is very crucial to find the most optimal solution for these issues.

If not that far ago as the most optimal way to process and store big IoT data was considered cloud computing, nowadays, the fastest and more efficient calculations are happening on the edge [3 - 5].

According to Weisong et. al. [3] the definition of edge computing is when calculations are done at the edge of some network, in other words, between cloud data centers and initial data sources, where information collected through sensors. They also listed several advantages of the edge computing over the cloud computing, some of them are following: it is more efficient for the data that is produced on the edge of the network to be processed right there initially due to the low speed of data transportation to clouds; the amount of data produced by IoT devices is enormous and not every data is necessary, so edge computing will send only useful data to clouds to escape overloading [3].

We also should not confuse edge computing with fog computing, although sometimes they can be used in similar contexts, like in [6] author used it interchangeably to address optimization problems, such as latency and energy consumption minimization. Nevertheless, there are differences between those two techniques and Anawar et. al. [7] defined those differences by making an overview on fog computing, how it works and wrote about its benefits for big data analytics in industrial development.

Going back to edge computing, despite the fact that it is considered to be more effective than cloud computing it still has challenges to face and some opportunities to work better [5]. Moreover, there are still researchers, who suggest that cloud technologies for big data management are more effective in some cases. Due to its scalability, it might serve as a better storage for IoT-based big data produced from different sensors and devices [8, 9]. But Sachchidanand [4] proposed solutions how cloud computing can be optimized using edge computing, in other words, author does not suppose that edge can be used instead of the cloud, but it should be used with the cloud in order to be more productive.

Therefore, the aim of this research is to define a methodology that will help to decide in which cases it is more efficient to use edge computing, by proposing some use cases in Section II. The metrics such as latency, energy and bandwidth will be used as a benchmark and described in Section III. Also, there will be proposed the most popular tools that can offer both edge and cloud computing and one of their active case studies will be described as an example.



Afterwards, in the conclusion there will be suggested some ideas for future works and further direction for experimental proof of this research.

For the industry it is very important to process data in real time and keep only necessary information. That is why latency has got to be very low, and capacity for computing and storing the data has got to be enormous. For that reason, edge computing turns out as the optimal solution. In the Figure 1 there is an illustration of edge computing architecture to better understand its working scheme.

Edge computing allows the system to be much more flexible and responsive because it manages the data right there where it was gathered. And in this section, I will show two most widely used cases, that will prove why and when it is more useful to use edge computing instead of just cloud computing.

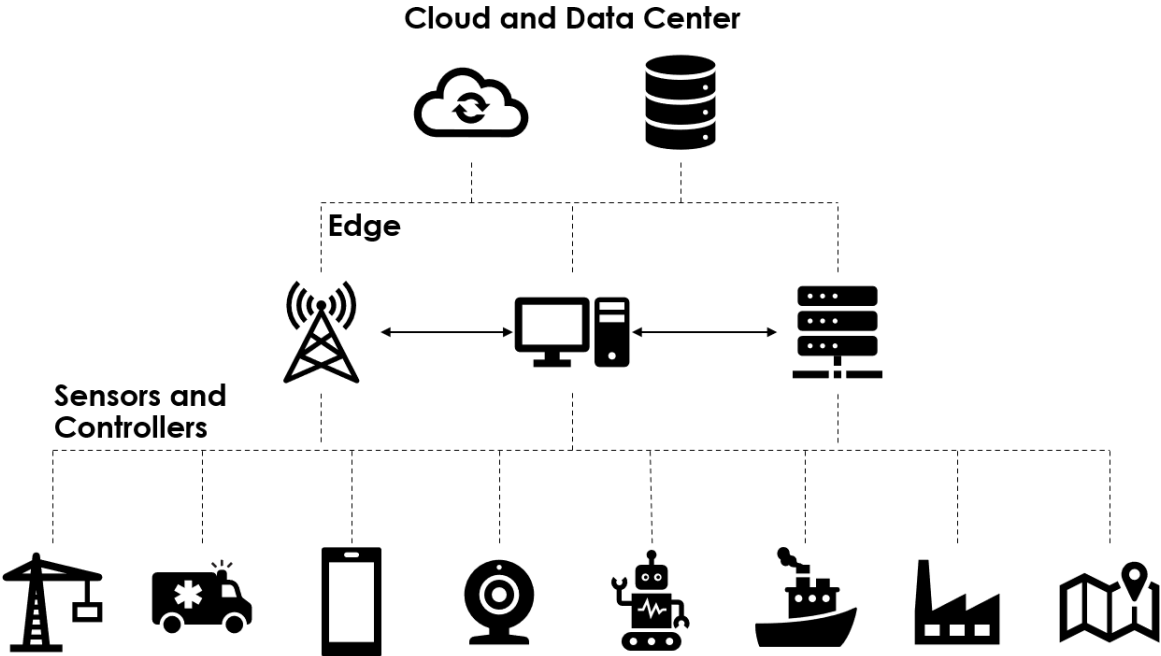


Fig. 1 – Edge Computing Architecture

First use case: Edge Computing for Autonomous Vehicles.

In autonomous vehicles, the main goal of implementing the edge computing is to process big data gathered from different sensors of the car efficiently, considering the limits of energy consumption and keeping users secure all the time [10].

Imagine the situation, when visual sensors detect that the pedestrian has suddenly appeared on the road, there is no time to transfer this information to clouds in order to make a decision. The decision for car to stop must be made in the real time immediately, therefore edge computing comes to rescue the

situation, and by analyzing this data on time will prevent any possible accidents and keep driver and all around him/her safe.

Another example is the need for constant updates of the car's firmware. Here it is also very important to do it in real time, and not to postpone it, because otherwise the security system might get corrupted.

Moreover, it is also very important to make sure that the data gathered from sensors and controllers is sent back to the provider on time, this way if some unusual behavior was indicated it might help in case of car theft or some other kind of fraud.

Furthermore, since autonomous cars are connected to the internet, they can share real-time information about the environment, that includes accidents happened nearby, traffic congestions, road works, change of weather conditions, etc.

By making everything mentioned above possible, all the sudden turns of events can be avoided and consequently make the roads safer for everyone.

Second use case: Edge Computing for Healthcare Devices.

Nowadays, the implementation of edge computing in healthcare devices is not just about the efficiency, but also about the safety of both patient and doctor [11]. Thus, as the first advantage of using edge computing in healthcare devices is that doctor always knows the condition of his/her patient and gets an instant notification in case some critical situation occurs, or some accident has happened. But on the daily basis, just to give recommendations and keep up with current condition by checking the constantly updating life indicators is enough to give online consultations, without direct contact.

Another example is user's privacy. Usually, people who use wearable healthcare devices are just using them for their own interest, which means that this data can be private. Therefore, analyzing gathered information right there on the edge is also a plus for privacy issues.

In addition, in modern medicine robots can operate the surgery, therefore it is vitally important to analyze the data as fast as possible and make drastic decisions in real time. That is why edge computing is so essential, it helps robots to operate the patients in the safest, fastest, and most thorough way.

In the end, edge computing is transforming modern medicine on a whole new level, when system considers every minor health condition, and where there is no room for time loss in emergency situations, which results in more lives being saved.

According to 451 Research commissioned by IBM, nowadays, 55% of companies that deploy IoT devices are using edge computing for storing and analyzing data first there, and almost everyone is using edge to analyze data subsequently [12].

For edge computing to be more effective than just using a cloud, computations have to be done with the lowest latency and energy consumption possible, and of course with a good bandwidth [3]. In other words, it must be done in the fastest and most reliable way.

There are many software solutions that offer IoT analytics tools, and 360 Quadrants [13] made a list of the 27 vendors by comparing them across 237 criteria that offer this kind of software that meet the expectations of the benchmarks mentioned above. But in this section, I will give a short overview only for the top 3 platforms and their working case studies, which are IBM Watson, Microsoft Azure and SAP Cloud Platform [13].

In the Figure 2 there is an illustration of a bar graph, that compares those three platforms using their product maturity criteria (rating points from 1 to 5), and it is clearly seen, that almost in every criterion the winner is IBM Watson.

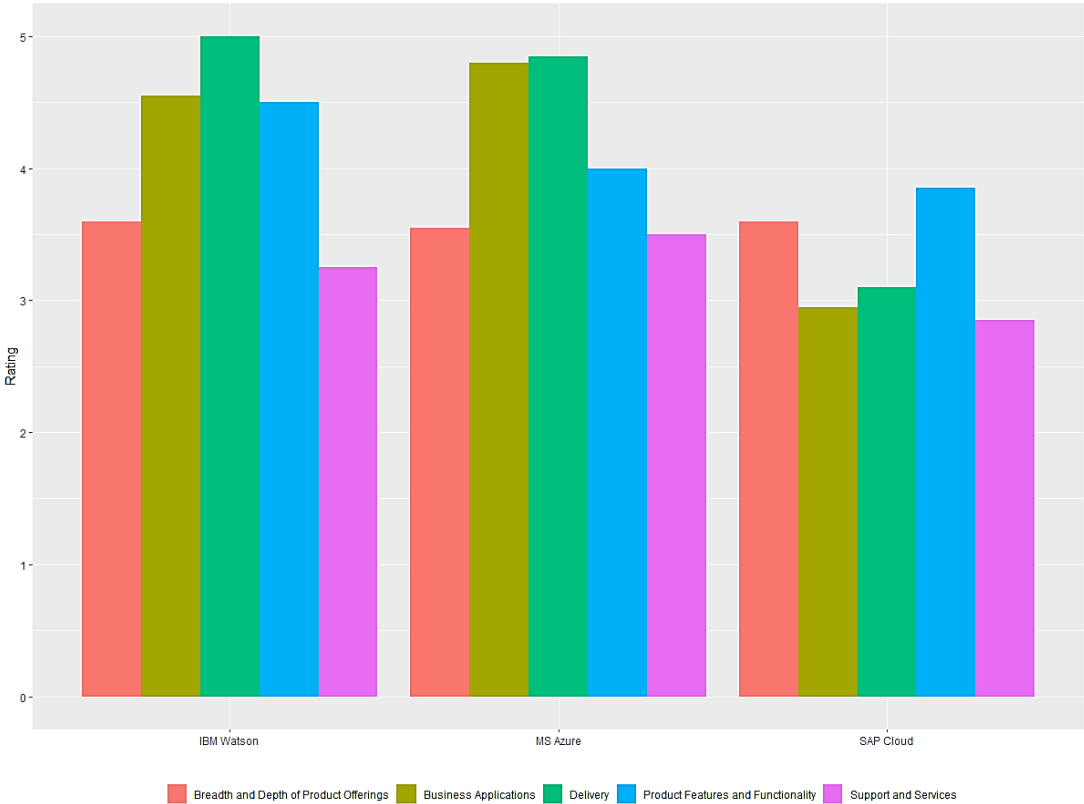


Fig. 2 – Comparison between IBM Watson, Microsoft Azure, and SAP Cloud Platform

1) IBM Watson IoT Platform. The leader on the IoT cloud platform's market is IBM. It offers IBM Watson solution with edge computing features that helps businesses to manage structured and unstructured data in real time.

As a successfully working case study here can serve Groupama [14] – Italian auto insurance company. Initially, they were planning to use data collected from sensors only to detect car's location in real time in case of robbery, but later they found out that with all the information they were gathering by using edge technologies, it was also possible to detect car crashes and send help immediately. Moreover, it was helpful for users to drive safer, to take more convenient routes, and to keep track of the car when they are away. What is more important, all the information is staying private, and not available for the third parties [14].

2) Microsoft Azure. Not that far from IBM Watson goes Microsoft Azure IoT Edge solution that promises “ultra-low-latency” edge computing.

Among the most popular case studies here lies Schneider Electric [15] – European multinational energy company. With help of Azure Machine Learning and Azure IoT Edge services by analyzing data it can define precisely when and where their equipment has been broken, which is also made it possible to manage some issues remotely. By doing so on time it helped them to achieve significant savings on operations, optimize profits and productivity, and what is also important, it enhanced the safety of the workers [15].

3) SAP Cloud Platform. SAP Cloud Platform closes the top three list. It provides Edge Services that helps with improving the performance of processes and enabling real-time decision-makings.

As a case study for SAP solution can be used Angelicoussis Group [16] – provider of maritime transportation services around the world. It successfully implemented S/4 HANA on Cloud ERP and SAP On Board solution, that is based on its edge services, to manage all its ships and other kind of marine transportation. Not only it gained many benefits from economical side of the business, but also it greatly decreased workload on the captains by reliable remote and on-board solutions [16].

Since this research was only an overview of existing technologies and case studies, it needs some experimental proof to demonstrate that edge computing is actually better than only using cloud computing. But due to the fact that I was not able to access edge devices and real time datasets this part of the research was missed in this paper. What is also important is that one should remember that edge computing is not something that can replace entirely cloud

computing, they have to coexist. It is impossible to prove that edge computing is entirely better than cloud computing in general. You can only compare their effectiveness in a specific task, or for example for some specific purpose.

Furthermore, in my future work I will conduct an experiment with some specific task and apply it to the edge computing and cloud computing solution and compare it in terms of latency and other benchmark parameters. And only there it will be possible to draw final conclusions.

Lastly, edge computing is still only on the first steps of its development, and even though it seems as the optimal solution with better reliability and less time consumption for big IoT data processing, nevertheless, it needs more improvements not only in benchmark metrics but also in some privacy issues.

### **References:**

1. Stephen Kaisler, Frank Armour, J. Alberto Espinosa, and William Money. Big data: Issues and challenges moving forward. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pages 995–1004, 2013.
2. Shivanjali Khare and Michael Totaro. Big Data in IoT. 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, 2019.
3. Weisong Shi, Jie Cao, Quan Zhang, Youhuizi Li, and Lanyu Xu. Edge Computing: Vision and Challenges. IEEE Internet of Things Journal,3(5):637–646, 2016.
4. Sachchidanand Singh. Optimize Cloud Computations Using Edge Computing. International Conference on Big Data, IoT and Data Science, January 20:49–53, 2018.
5. Blesson Varghese, Nan Wang, Sakil Barbhuiya, Peter Kilpatrick, and Dimitrios S. Nikolopoulos. Challenges and Opportunities in Edge Computing. IEEE International Conference on Smart Cloud, (February 2018):20–26, 2016.
6. Zoltan Adam Mann. Optimization Problems in Fog and Edge Computing. ResearchGate, (April):103–121, 2019.
7. Muhammad Rizwan Anawar, Shangguang Wang, Muhammad Azam Zia, Ahmer Khan Jadoon, Umair Akram, and Salman Raza. Fog Computing: An Overview of Big IoT Data Analytics. Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.

8. Mohsen Marjani, Fariza Nasaruddin, Abdullah Gani, Ahmad Karim, Ibrahim Abaker Targio Hashem, Aisha Siddiqa, and Ibrar Yaqoob. Big IoT Data Analytics: Architecture, Opportunities, and Open Research Challenges. *IEEE Access*, 5(c):5247–5261, 2017.
9. Hongming Cai, Boyi Xu, Lihong Jiang, and Athanasios V. Vasilakos. IoT-Based Big Data Storage Systems in Cloud Computing: Perspectives and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(1):75–87, 2017.
10. Shaoshan Liu. Edge Computing for Autonomous Vehicles. *Engineering Autonomous Vehicles and Robots: The DragonFly Modular-based Approach*, First Edit:171–181, 2020.
11. Cinay Dilibal. Development of Edge-IoMT Computing Architecture for Smart Healthcare Monitoring Platform. *Proceedings - 4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2020.
12. Christian Renaud. Transforming Business Operations with AI, IoT Data and Edge Computing. *451 Research n Pathfinder Report*, (February):1–13, 2020.
13. 360Quadrants. Best IoT Analytics Software 2021 — Review and Comparison By 360Quadrants, 2021.
14. Matt A.V. Chaban. IBM — How IoT insurance is helping Groupama reduce claims and accidents, 2019.
15. Loryne Bissuel-Beauvais and Matthieu Boujonnier. Microsoft Customer Stories - Schneider Electric minimizes costs and worker risk with Azure Machine Learning service predictive maintenance, 2019.
16. Hellenic Shipping News. Angelicoussis Group invests in leading SAP solutions — SAP Hellas, 2020.

© A.N. Talapkaliyeva, 2021

## ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

студент гр.ЭНМ2-94 **Зорин Максим Борисович**,

Науч.руководитель:

канд. техн. наук., доцент **Стрельников Николай Александрович**

Новосибирский государственный технический университет,

г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** Изучено влияние качества электроэнергии на работу электроприемников промышленного назначения. Основное внимание в работе автор акцентирует на влияние отклонений напряжения на работу асинхронных двигателей. Построены зависимости частоты вращения ротора двигателя от отклонения напряжения для асинхронных двигателей с различными характеристиками при различных коэффициентах загрузки.

**Ключевые слова.** Отклонения напряжения, качество электроэнергии, частота вращения, асинхронный двигатель.

## EFFECT OF ELECTRIC POWER QUALITY ON ASYNCHRONOUS MOTORS OPERATION

**Zorin Maxim Borisivich**

**Abstract.** Influence of electric power quality on operation of industrial electric receivers was studied. The author focuses on the influence of voltage deviations on the operation of asynchronous motors. Dependencies of engine rotor frequency of rotation and voltage deviation for asynchronous motors with different characteristics at different load factors are constructed.

**Keywords.** Voltage deviations, power quality, frequency of rotation, asynchronous motor.

К промышленным электроприемникам относятся электродвигатели, электротермические установки, осветительные приборы, выпрямительные установки для преобразования переменного тока в постоянный.

Электроприемники по потреблению электроэнергии разделяются на следующие группы:

Первой и основной группой электропотребителей являются электродвигатели. В установках, которые не требуют регулирования скорости во время работы, применяются только электроприводы переменного тока (синхронные двигатели мощностью до 30 МВт и асинхронные двигатели мощностью до 630 кВт). Нерегулируемые электрические двигатели переменного тока — основной вид электроприемников в промышленности, на их долю приходится около 70 % суммарной мощности.

Различные электротермические и электротехнологические установки составляют вторую по назначению группу ЭП, на неё приходится около 20 % суммарной мощности. Это печи сопротивления, дуговые и индукционные печи, установки диэлектрического нагрева, сварка, электролизные и гальванические и высоковольтные электростатические установки. Первая и вторая группы электроприемников объединяются под общим названием «силовая нагрузка».

Третья группа ЭП — электрическое освещение, которое по величине нагрузки может составлять до десятков процентов. Установки электрического освещения с лампами накаливания, дуговыми, люминесцентными, ртутными, ксеноновыми и натриевыми лампами применяются на всех предприятиях для наружного и внутреннего освещения.

Четвертая группа ЭП — устройства обработки информации и управления. Потребление электрической энергии этой группой незначительно, однако эти устройства предъявляют повышенные требования к качеству напряжения и надежности электроснабжения [1].

Основными электрическими приемниками в промышленности стали электродвигатели. Из данных таблицы 1 видно, что доля электропотребления синхронными и асинхронными электродвигателями в промышленной нагрузке велика. Нагрузка электродвигателей достигает 2/3 суммарной мощности [2].



Таблица 1. Нагрузки электроприемников на предприятиях различных отраслей промышленности, % [2]

Отрасль	СД	АД	Освещение	ВД	ПС	С	Выпрямители	Преобразователи
Металлургия	25	10-37	3					-
Горнорудная	21	21-47	5					6
Химическая	40	24-29	2					-
Легкая	-	6-78	12	-	-	-	-	10
Машиностроение	8	5-52	5	7	6		3	-
Нефтедобывающая	8	30-48	5	-	-	-	-	9
Газовая	40		2	-	-	-	-	-
Нефтеперерабатывающая	26		2	-	-	-	-	-

Примечание. СД - синхронные двигатели, АД - асинхронные двигатели, ПД - печи дуговые, ВД – вентильные двигатели; ПС - печи сопротивления, С - сварка.

Асинхронные двигатели общего назначения мощностью от 1 до 400 кВт на напряжение до 1000В - наиболее часто применяемые электрические машины. Установка этих двигателей в промышленно развитых странах достигает 90 % по количеству, а потребление ими электрической энергии составляет более 50 % от общего потребления. По этой причине дальнейшее исследование будет посвящено асинхронным двигателям.

На работу асинхронных двигателей влияет качество электрической энергии, потребляемой этими двигателями.

Согласно ГОСТ 32144-2013 существуют следующие показатели качества электроэнергии (ПКЭ) [3]:

- Отклонения частоты;
- Положительные и отрицательные отклонения напряжения;
- Колебания напряжения и фликер
- Несинусоидальность напряжения
- Несимметрия напряжения

Наиболее важным для работы асинхронных двигателей показателем качества электроэнергии является отклонение напряжения. В связи с этим далее будет описано влияние отклонения напряжения на работу асинхронных двигателей.

Отклонение напряжения в электрической сети – это отличие текущего фактического его значения в установившемся рабочем режиме от номинального значения для данной сети.

Согласно ГОСТ 32144-2013 положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электроэнергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение интервала в одну неделю [3].

Асинхронные двигатели чувствительны к напряжению питания. Если напряжение на обмотке статора упадет на 15%, то вращающий момент на валу снизится на четверть, и асинхронный двигатель может остановиться или, в случае пуска, — двигатель не запустится. При пониженном напряжении питания ток потребления возрастает, обмотки статора сильнее разогреваются, и срок нормальной службы двигателя сокращается.

В случае, если двигатель будет длительно работать при напряжении питания в 90% от номинального, то срок службы уменьшится вдвое. Если напряжение питания превысит номинальное значение на 1%, то реактивная составляющая потребляемой двигателем мощности, возрастет приблизительно на 5%, из-за чего снизится общая эффективность работы двигателя.

Зависимость частоты вращения ротора двигателя от напряжения можно выразить [4]:

$$n = n_c \left( 1 - k_3 \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{U^2} S_{\text{НОМ}} \right), \quad (1)$$

где  $n_c$  – синхронная частота вращения;  $k_3$  – коэффициент загрузки двигателя;  $U_{\text{НОМ}}, S_{\text{НОМ}}$  – номинальные значения напряжения и скольжения соответственно.

Из формулы (1) можно увидеть, что при малых нагрузках асинхронного двигателя частота вращения ротора будет больше номинальной частоты вращения (при номинальной нагрузке электродвигателя). В этих случаях понижения напряжения не приводят к уменьшению производительности оборудования, так как не происходит снижения частоты вращения электродвигателей ниже номинальной.

Для асинхронных двигателей, которые работают с полной нагрузкой, понижение напряжения приводит к уменьшению частоты вращения. Если производительность механизмов зависит от частоты вращения двигателя, то на выводах таких электродвигателей рекомендуется поддерживать

напряжение не ниже номинального. При значительном снижении напряжения на выводах двигателей, работающих с полной нагрузкой, момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент, что приводит к “опрокидыванию” двигателя, т.е. к его остановке. Во избежание повреждений двигатель необходимо отключить от сети.

В качестве примера будет рассмотрена работа асинхронного двигателя мощностью 60 кВт с номинальной скоростью вращения 1500 об/мин; номинальным скольжением 6,5 % при работе с различными коэффициентами загрузки [5].

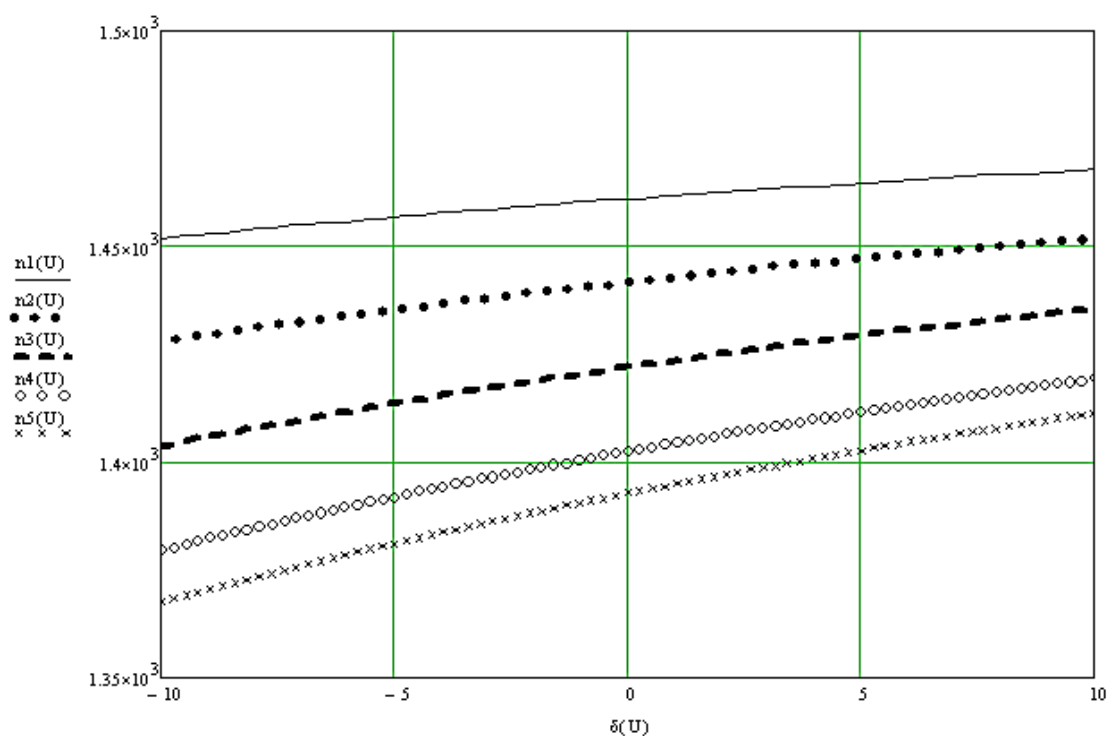


Рис. 1 – Зависимость частоты вращения ротора двигателя от отклонения напряжения

Где  $n1(U)$  – частота вращения при коэффициенте загрузки 0,4;  $n2(U)$  – при 0,6;  $n3(U)$  – при 0,8;  $n4(U)$  – при 1;  $n5(U)$  – при 1,1

На данном графике представлена зависимость частоты вращения ротора двигателя от напряжения для напряжения в пределах от 340 до 420 В.

Для сравнения взят асинхронный двигатель мощностью 14 кВт с номинальной скоростью вращения 3000 об/мин; номинальным скольжением 7,5 % [5].

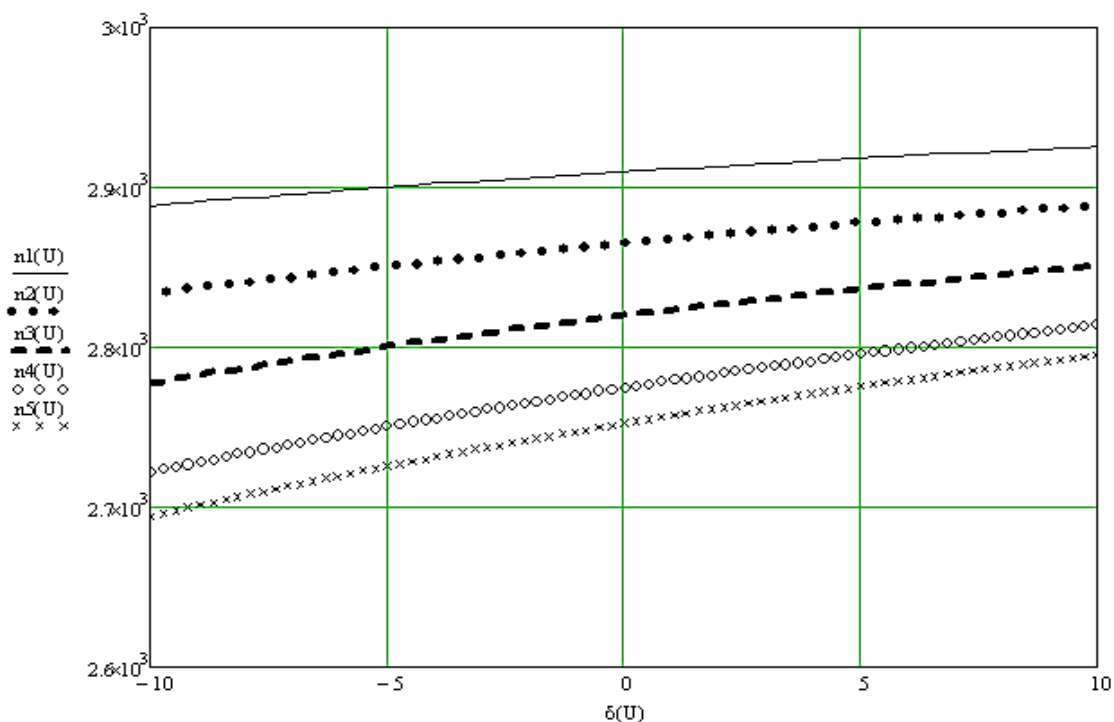


Рис. 2 – Зависимость частоты вращения ротора двигателя от отклонения напряжения

Также данная зависимость построена для асинхронного двигателя мощностью 30 кВт с номинальной скоростью вращения 750 об/мин; номинальным скольжением 5,5 % [5].

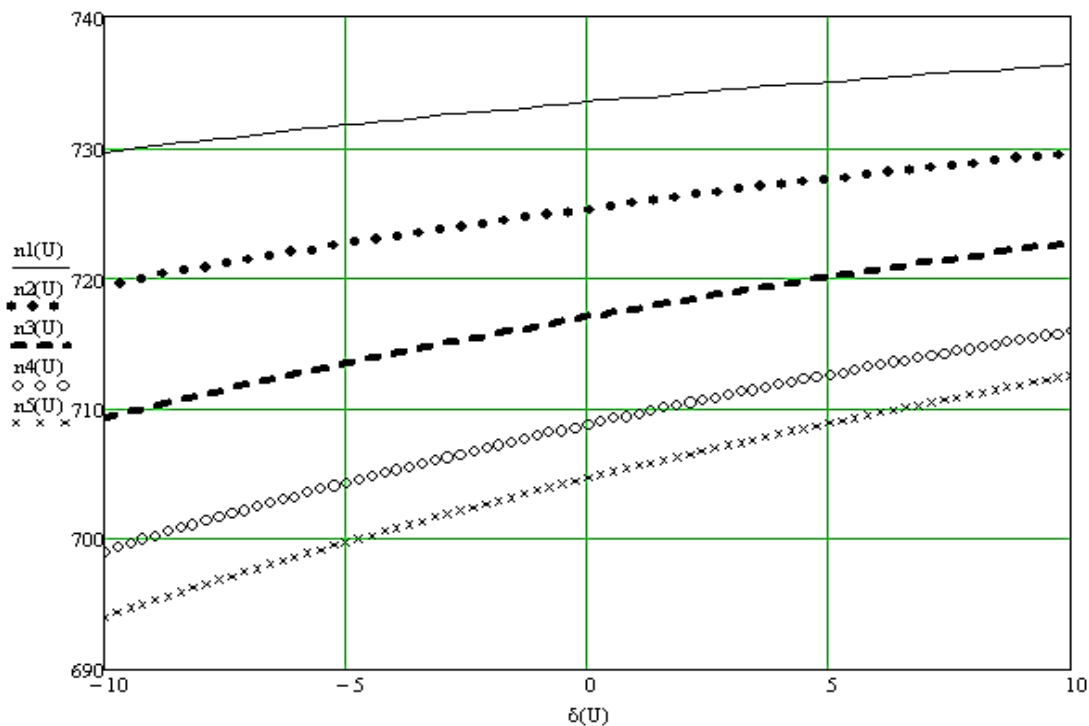


Рис. 3 – Зависимость частоты вращения ротора двигателя от отклонения напряжения

Как можно заметить из рисунков 1-3, наиболее чувствительными к отклонениям напряжений оказываются двигатели с большей номинальной частотой вращения. Их частота вращения более подвержена изменению в сравнении с номинальной частотой вращения ротора двигателя.

#### **Список использованных источников:**

1. ПУЭ8 [Электронный ресурс] URL: <https://pue8.ru/sistemy-elektrosnabzheniya/42-elektropriemniki-sistemy-elektrosnabzheniya.html>
2. Интернет-ресурс: <https://studref.com/570291/tehnika/>
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Взамен ГОСТ 54149 – 2010 введ. 2014-07-01.
4. Интернет-ресурс: <https://infopedia.su/14xd39.html>
5. Интернет-ресурс: <https://www.pulscen.ru/price/>

© М.Б. Зорин, 2021

**ЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
НАПОРНОГО ЯЩИКА С ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКОЙ  
И ОГРАНИЧЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

канд. техн. наук, доцент **Дятлова Елена Павловна**,  
магистрант гр.529 **Телков Александр Анатольевич**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Математические модели физических процессов считаются важными составляющими анализа работы объектов управления. В данной статье приводится построение линейной математической модели напорного ящика с воздушной подушкой. Приводятся ограничения при работе с ней и ее основные отличия от нелинейной модели.

**Ключевые слова.** Математическая модель, напорный ящик с воздушной подушкой, линеаризация.

**A LINEAR MATHEMATICAL MODEL OF AN AIR-PADDED  
HEADBOX AND LIMITATIONS OF ITS EFFICIENCY**

**Diatlova Elena Pavlovna,**  
**Telkov Alexander Anatolyevich**

**Abstract.** Mathematical models of physical processes are considered to be important component of an analysis of control object operation. In this article one provides a construction of a linear mathematical model of an air-padded headbox. Author provides limitations of linear model efficiency and the main differences from non-linear model.

**Keywords.** Mathematical model, air-padded headbox, linearization.

Высокие требования к качеству бумажного полотна, а также потенциальное снижение экономических затрат, побуждают производителей целлюлозно-бумажной продукции к разработке все более сложных систем автоматического управления (САУ) процессами очистки

бумажной суспензии, подачи химикатов, напуска массы на сеточный стол, проклейки и т.д.

Основой для создания таких систем управления являются соответствующие математические модели, с помощью которых можно с заданной точностью заменить существующий физический объект управления математическим описанием происходящих в нем физических процессов. Это удобно, так как не требует непосредственной работы с объектом управления, что позволяет проводить работу дистанционно, а также дает возможность изучить поведение объекта при экстремальных режимах работы и спрогнозировать поведение объекта. Изучение объекта управления через его математическую модель несет важную теоретическую и практическую значимость для модернизации систем управления и, как следствие, для развития целлюлозно-бумажной промышленности в целом.

В данной статье рассмотрим математическую модель напорного ящика с воздушной подушкой, применяющегося на бумагоделательной машине (БДМ) в процессе напуска бумажной массы на сеточную часть и формирования самого бумажного полотна.

Основой для построения математической модели будет служить схема напорного ящика с воздушной подушкой, изображенная на рис.1 [1]:

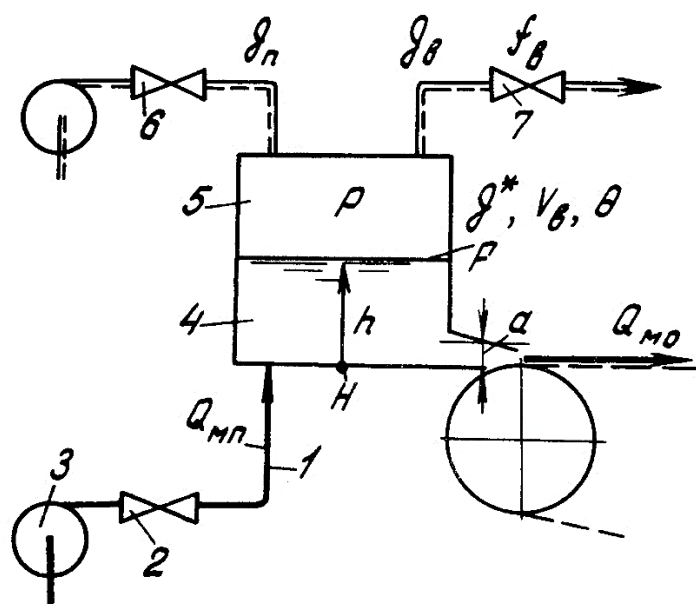


Рис. 1 -Напорный ящик с воздушной подушкой: 1 – массоподводящая сеть; 2, 6, 7 – регулирующие органы; 3– насос; 4 – напускная камеры; 5 – воздушная подушка

При создании математической модели необходимо учитывать три главных управляющих воздействия – ход следующих регулирующих органов: а) коллектора для подачи воздуха в воздушную подушку; б) смесительного насоса для подачи массы в напорный ящик; в) привода напускной щели, позволяющего изменять ее высоту. В качестве управляемых (зависимых) величин можно выделить четыре основных: уровень массы в напускной камере, суммарный напор, расход массы через напускную щель и скорость сетки [2].

Процессы, описание которых будет достаточно для построения данной модели, могут быть представлены системой нелинейных дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{dh}{dt} &= \frac{1}{F} (Q_{мп} - Q_{мо}); \\ Pv_{\epsilon} &= g^* R\Theta; \\ H &= h + mP; v_{\epsilon} = v_0 - Fh; \\ Q_{мо} &= ba\sqrt{2gH}; \\ g_{\epsilon} &= P^* f_{\epsilon} \sqrt{\frac{kg}{3R\Theta}}; \\ \frac{dg^*}{dt} &= g_n - g_{\epsilon}, \end{aligned}$$

где  $h$  – уровень массы,  $F$  – площадь поперечного сечения напускной камеры,  $P$  – давление воздушной подушки,  $Q_{мп}$  и  $Q_{мо}$  – расходы поступающей и выходящей масс,  $H$  – суммарный напор,  $b$  – необрезная ширина бумаги,  $a$  – высота напускной щели,  $g$  – ускорение свободного падения,  $g^*$  – количество воздуха в воздушной подушке,  $g_n$  и  $g_{\epsilon}$  – расход поступающего и выходящего воздуха,  $v_{\epsilon}$  – объем воздушной подушки,  $\Theta$  – температура воздуха,  $R$  – газовая постоянная,  $v_0$  – полный объем напорного ящика,  $f_{\epsilon}$  – площадь поперечного сечения воздухоотвода,  $k$  – коэффициент политропы,  $m$  – размерный коэффициент,  $P_c$  – давление окружающей среды.

На основе данных дифференциальных уравнений можно составить математическую модель напорного ящика с воздушной подушкой. Однако такого рода математическая модель сложна в обращении и представляет трудность для создания систем автоматического управления.

Главным решением проблемы будет линеаризация данной системы.



Под линеаризацией понимается приближение нелинейных систем их в некотором смысле эквивалентными линейными аналогами, что поможет составить более простую систему, ненамного уступающую по точности исходной.

Линеаризуя исходную систему дифференциальных уравнений и используя преобразование Лапласа получим:

$$h = \frac{1}{F \cdot p} (Q_{mn} - Q_{mo});$$

$$g^* = \frac{1}{p}(g_n - g_e);$$

$$P = k_1 g^* + k_2 h;$$

$$H = h + k_3 P;$$

$$Q_{mo} = k_4 h + k_5 a;$$

$$g_e = k_6 P,$$

где  $k_1 = \frac{R\theta}{V_b}$ ,  $k_2 = g^* \frac{R\theta P}{(V_0 - Fh)^2}$ ,  $k_3 = m$ ,  $k_4 = \frac{gba}{\sqrt{2gH}}$ ,  $k_5 = b\sqrt{2gH}$ ,  $k_6 = f_b \sqrt{\frac{kg}{3R\theta}}$ .

Выведенная линейная математическая модель с достаточной точностью описывает динамические свойства напорного ящика с воздушной подушкой в некотором стационарном режиме.

В заключение, приведем структурную схему, которую можно построить исходя из выведенной математической модели. Она изображена на рисунке 2а.

Стоит отметить, что управляющие воздействия в данной структурной схеме не совпадают с теми, что были указаны выше для математической модели. Это связано с тем, что для упрощения построения схемы были заменены реальные управляющие воздействия (ход регулирующего органа) на саму управляющую величину. Это сильно упрощает математическую модель и работу с ней, но исключает применимость математической модели для создания систем автоматического управления, поскольку она не учитывает влияние возмущающих воздействий и взаимовлияния контуров.

Эту же схему можно привести к более простому виду, изображенному на рисунке 2б.

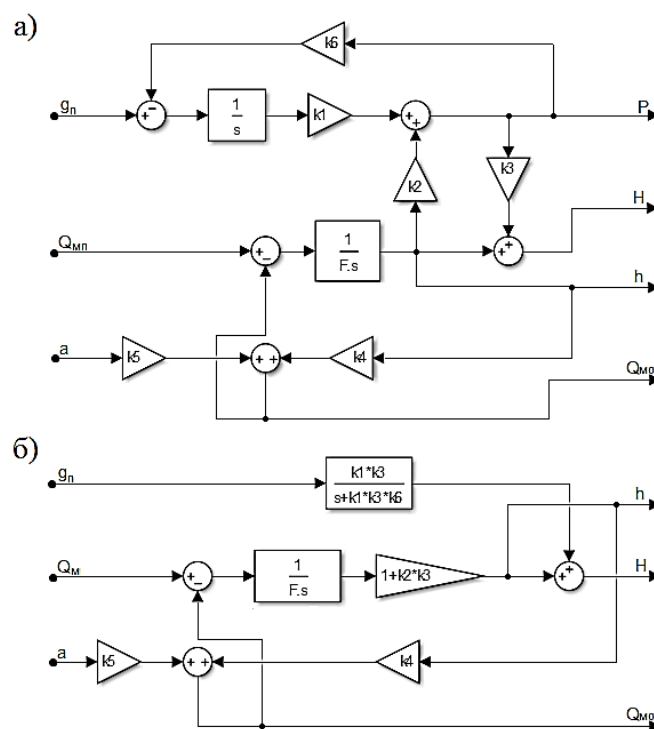


Рис. 2 -Структурная схема напорного ящика с воздушной подушкой:  
 а – исходная структурная схема; б – эквивалентная структурная схема

Полученную структурную схему можно использовать для моделирования напорного ящика и изучения переходных процессов, имеющих место при его работе.

Данная линейная математическая модель ограничена отсутствием взаимовлияния контуров, имеющих место на реальном напорном ящике, и не учитывает влияния внешних возмущений, но достаточна для того, чтобы имитировать работу напорного ящика в стационарном режиме.

Построение таких математических моделей является основой для создания более сложных и продвинутых схем, которые могут применяться для автоматического управления реальными процессами на производстве.

### Список использованных источников:

1. Пиргач Н.С. Управление напорным ящиком с воздушной подушкой. – Москва: ВНИПИЭИ Леспром, 1975. – 33 с.
2. Терентьев О.А. Массоподача и равномерность бумажного полотна. – Москва: Лесная промышленность, 1986. – 264 с.

© А.А. Телков, Е.П. Дятлова, 2021

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ К 2035 ГОДУ

магистрант гр. 419.1 **Скачкова Елена Николаевна**,  
магистрант гр. 419.1 **Букша Влада Юрьевна**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Современная ситуация, связанная с увеличением количества выбросов углекислого газа в атмосферу в России и во всем мире, послужила толчком для освоения новой «зеленой» энергетики. Статья представляет собой обобщение идей и суждений различных представителей сфер, имеющих отношение к данному вопросу. Рассматриваемая тема будет интересна специалистам научного и естественного профиля, политикам и общественным деятелям, изучающим острые глобальные вопросы нашей планеты.

**Ключевые слова.** Выбросы углекислого газа, ВИЭ, чистая энергия, водородная энергетика, стратегия 2035, система накопления энергии.

## PROSPECTS FOR ENERGY DEVELOPMENT IN RUSSIA BY 2035

**Skachkova Yelena Nikolaevna,**  
**Buksha Vlada Yuryevna**

**Abstract.** The current situation connected with the increase in the amount of carbon dioxide emissions into the atmosphere in Russia and all over the world has given an impulse to the development of a new "green" energy. The article is a summary of the ideas and opinions of various representatives of the spheres relevant to this issue. The topic under consideration will be of concern to specialists in the scientific and natural sciences, politicians and public figures who study urgent global issues of our planet.

**Keywords.** carbon dioxide emissions, renewable energy, clean energy, hydrogen energy, strategy 2035, energy storage system.

Говоря о современных тенденциях развития энергетики, мы говорим о постоянно растущем спросе на электроэнергию. Все в нашей жизни

зависит от электроэнергии. Но с каждым годом становится все тяжелее использовать традиционные источники энергии. Это связано с большим увеличением

количества выбросов углекислого газа в атмосферу что приводит к изменению климата во всем мире. Полностью заменить традиционные источники в данный момент будет очень не просто, да и не будет иметь смысла. Вся энергетическая инфраструктура России базируется на традиционном топливе. Но это необходимо пересмотреть в силу Парижского соглашения. При выполнении условий Парижского соглашения система мировой энергетики в ближайшие десятилетия придется пережить кардинальные изменения в следствие вытеснения угля и его замены газом и безуглеродными источниками. Частично проблему можно решить переходом на «лесную» повестку. По ориентировочным подсчетам экологов, 1 млрд тонн углекислого газа могут поглощать российские леса. Государство планирует ввести в оборот 12 млн га земель до 2030 года. Расширение лесных площадей предоставит дополнительные возможности поглощения вредных выбросов. При всем при этом нужно помнить о систематической работе по борьбе с пожарами. Начинать данную работу необходимо именно сейчас, когда «зеленая» повестка особенно актуальна.

России самое время убедиться в возможности энергетического перехода, ведь на сегодняшний день они более чем перспективны. Выбор приходится на источники, вырабатывающие «чистую энергию» без вреда экологии. Приоритетными источниками энергии в середине 21-го века станут: Атомная, Ветряная, Солнечная, Гидроэнергетика и Геотермальная энергия. Углеводородные источники энергии будут использоваться в качестве дополнительных, запасных энергоносителей. Смысл нового энергетического порядка – не избавление от углеводородной энергетики, а постепенное замещение её источниками энергии, не загрязняющими окружающую среду в процессе эксплуатации [1].

Атомная энергетика на сегодняшний день является одной из самых главных опор нового энергетического порядка. К тому же не только на Земле, но и в космосе. Это осознали все, у кого эта атомная промышленность ещё сохранилась: Россия, Франция, США и даже Япония. В России есть все что необходимо для перехода на новый энергетический порядок. У нас есть не только необходимые углеводородные ресурсы для благополучного энергетического перехода, но и технологическая база, на 15 лет опережающая остальной мир в вопросах атомной энергетики и производства водорода. Правительство

России 12 октября 2020 года приняло план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года».

Российские компании уже занимаются производством водорода, однако преимущественно для промышленности. Для выработки водорода в России достаточно невысокая цена газа, а на его долю приходится от 45 до 70 процентов затрат на производство водорода. Это так называемый серый водород, который является самым популярным и одним из дешевых. Но его производство влечет за собой значительные выбросы CO<sub>2</sub>. В этом случае можно поступить как, энергогенерирующая компания Франции, которая планирует внедрить технологии производства водорода и улавливания углекислого газа на АЭС.

К примеру «Газпром» нацелен на создание так называемого бирюзового водорода. Он будет производиться тоже из газа, но с образованием в качестве побочного продукта сажи, а не углекислого газа. Бирюзовый водород планируется выпускать близко к местам его потребления, другими словами, на нынешних рынках сбыта природного газа — то есть, например, в Европе. Также существует вариант производства водорода непосредственно на территории России с последующим подмешиванием его, например, в газ. В старые трубы можно добавить до 20% водорода, а в газопроводы типа «Северного потока» — до 70%, оценивал «Газпром». Одним из регионов России, где было бы наиболее оптимально организовать данное производство может стать Калининградская область [2].

«Росатом», тем временем, планирует производство так называемого желтого водорода, который не сопровождается выбросом CO<sub>2</sub>, в связи с тем, что производство осуществляется методом электролиза из воды.

Три столпа энергетической экспансии "Росатома":

Создание Водорода как энергоносителя;

Развитие Атомной Энергетики;

Развитие Ветроэнергетической Генерации.

По заявлению представителей "Росатома", уже сегодня, по всем этим трём направлениям энергетики возможны поставки данной продукции зарубежным заказчикам.

Россия, согласно недавно принятой энергетической стратегии, планирует к 2024 году экспортировать 200 тысяч тонн водорода, а к 2035-му - в десять раз больше.

Энергостратегия России до 2035 года предусматривает увеличение экспорта электроэнергии и мощности в 5-8 раз. Сегодня такой экспорт очень мал. Всего полтора-два процента от суммарного производства

электроэнергии в стране. Россия активно обсуждает электроэнергетическое взаимодействие со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Переговоры идут с Японией, Китаем, Южной Кореей и Монголией. Возможность практической реализации зависит от двух факторов: политического и экономического. Сочетание этих двух факторов позволит в будущем интегрировать энергосистемы. Для России это не только потенциальный экспорт и доходы в федеральный бюджет. В России имеются те, или иные мощности, которые не вполне эффективно используются. При этом мы как потребители вынуждены оплачивать резерв этих мощностей. Этот вопрос можно решить с помощью поставок дополнительной электроэнергии в соседние страны, такие как Монголия, Китай и др. Это будет экономически эффективно для нас как для потребителей внутри страны. Для других стран это является возможностью в корне изменить качество жизни людей. Благодаря удачному географическому расположению, выгодному для создания объединяющих энерго-проектов Россия берет на себя инициативу интеграции.

Один из самых заинтересованных участников создания общей сети - Китай. Китай сегодня имеет новейшие технологии для осуществления передачи электричества на очень большие расстояния. Где общее расстояние более 10 тыс. км. В Синьцзян-Уйгурском районе, который граничит с Россией, есть большое количество возобновляемых источников энергии. Эти мощности Китай мог бы запустить в интегрированную энергосистему не только по странам СНГ, но и в страны ЕС на благо человечества. Чтобы все в мире использовали чистую энергию и сохраняли экологичный мир.

Что нужно для интеграции:

- Общие правила рынка
- Единые технологические стандарты
- Новая регуляторная платформа

Ближайшей перспективой энергетики России считается глубокое обогащение угля и органическое топливо, а также связанные с ним парогазовые технологии. Следующим в списке - возобновляемые источники энергии. Здесь преимущественно многообещающее направление атомная, а также геотермальная и солнечная энергетика.

Кроме ВИЭ в России намечается совершенствование высокоэффективных систем накопления энергии (СНЭ), например, литий-ионные аккумуляторы, которые разработаны компанией «Росатом». Они имеют более длительный срок службы (до 10 лет) и могут подзаряжаться в

удобное время, что снижает время простоя оборудования, а также одним из преимуществ является отсутствие «эффекта памяти».

На территории России было выявлено 3 наиболее перспективных направления данных систем (СНЭ):

- интернет энергии — использование СНЭ в составе микроэнергосистемы, включая изолированные;
- новая генеральная схема — использование СНЭ в составе централизованной энергетики;
- водородная энергетика — накопление электроэнергии в водородном цикле для поставок водородного топлива за рубеж.

Находящиеся в разработке накопители будут более эффективными и надежными, в отношении электроснабжения потребителя, а также позволит улучшить качество снабжающей электрической энергии. Как следствие будет снижен износ электрических сетей и электрооборудования. Обеспечение дополнительной электроэнергии во время пикового потребления - еще одна проблема, которую исключит данная разработка.

Потребление и добыча нефти и газа в России не изменится значительно еще много лет. Развитые страны мира намерены сокращать потребление углеводородного сырья в качестве энергоносителя. России неизбежно предстанет перед выбором сотрудничества и разделения новой политики в отношении мирового энергобаланса, так как это вопрос перспективы. Таким образом развитие новых источников энергии необходимая мера и важный аспект в развитии энергетики страны в целом.

#### **Список использованных источников:**

1. Метельников А. Тенденции и перспективы отечественной энергетики на 2021 год. [Электронный ресурс].- <https://novostienergetiki.ru/tendencii-i-perspektivy-otechestvennoj-energetiki-na-2021-god/> (дата обращения: 28.04.2021) .
2. Фадеева А. «Газпром» и «Росатом» начнут производить «чистый» водород в 2024 году. [Электронный ресурс].- <https://www.rbc.ru/business/22/07/2020/5f1565589a794712b40faedf> (дата обращения: 29.04.2021) .

© Е.Н. Скачкова, В.Ю. Букша, 2021

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСИФОНОВ В КАЧЕСТВЕ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛООТВОДА

студент гр. ЭН – 470018 Глухов Степан Михайлович,  
студент гр. ЭН – 470018 Лёзов Артем Дмитриевич,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук., доц. Ташлыков Олег Леонидович  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ),  
г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** Проведен расчет отвода остаточных тепловыделений облученных топливных сборок (ОТВС) шахты хранилища с использованием пассивных систем теплоотвода. Выполнено теплогидравлическое моделирование конденсационной части термосифонов, расположенных в вытяжных трубах различных геометрий, определена зависимость эффективности теплоотвода при различных температурах окружающей среды в районе расположения исследовательской ядерной установки (ИЯУ).

**Ключевые слова.** Остаточное тепловыделение ОТВС, ядерная безопасность, пассивная система безопасности, двухфазный термосифон, эффективность применения.

## ABOUT THE POSSIBILITY OF USING THERMOSIPHONS AS PASS HEAT SINK SYSTEMS

**Glukhov Stepan Mikhailovich,  
Lezov Artem Dmitrievich**

**Abstract.** The calculation of the removal of residual heat from the irradiated fuel assemblies (SFAS) of the storage shaft using passive heat removal systems is carried out. Thermohydraulic modeling of the condensing part of thermosiphons located in exhaust pipes of various geometries is performed, and the dependence of the heat sink efficiency at different ambient temperatures in the area of the research nuclear facility (INR) location is determined.

**Keywords.** Residual heat generation of SFAS, nuclear safety, passive safety system, two-phase thermosiphon, application efficiency.



Использование атомной энергии, начиная от производства тепловой и электрической энергии на АЭС [1], решения широкого спектра научно-технических и исследовательских задач, включая производство изотопов для промышленности и медицины в исследовательских ядерных реакторах (ИЯР) [2, 3] и заканчивая использованием ионизирующих излучений в различных целях, постоянно расширяется. При этом важнейшим условием использования ядерных установок является обеспечение их безопасности [4, 5].

После аварии, произошедшей 11 марта 2011 г. на японской АЭС Фукусима-1, стало ясно, что для обеспечения безопасности ядерных энергетических объектов нельзя пренебрегать учетом даже таких факторов риска, проявление которых считается крайне маловероятным.

Таким фактором при проектировании АЭС Фукусима-1 считалось полное долговременное обесточивание энергоблока. Тем не менее, произошла тяжелая авария из-за стечения нескольких обстоятельств: землетрясения, вызванного им цунами и неудачного размещения на атомной электростанции аварийных дизель-генераторов.

Одной из важнейших проблем при потере электроснабжения на АЭС является проблема отвода остаточных тепловыделений от бассейна выдержки (для ИЯР - шахты хранилища) с расположенными в нем облученными топливными сборками (ОТВС). Мощность остаточных тепловыделений в шахте хранилища (ШХ) зависит от количества ОТВС и глубины их выгорания [6].

Повышение надежности теплоотвода от ОТВС при потере электроснабжения возможно при использовании систем пассивного отвода остаточного тепловыделения (СПОТ), например, двухфазных термосифонов.

Конструкция термосифона представляет собой герметично закрытую конструкцию, частично заполненную теплоносителем. Внутри термосифона происходят фазовые превращения (кипение и конденсация). Соответственно, при проведении расчетов выделяют два процесса, протекающих в полости элементов термосифона: зона испарения и зона конденсации.

Работа термосифона основана на гравитационном принципе, теплоноситель в зоне нагрева испаряется, получая теплоту от воды ШХ, поднимается по каналу в конденсационную часть термосифона, конденсируется и возвращается в испарительную часть. Термосифоны применяются в системах отопления, металлургии, в двухконтурных

системах охлаждения теплонапряженных элементов плавильных печей и др. [7, 8].

В данной работе проведена оценка эффективности теплоотвода от конденсационной части термосифона [9] при различных конструкциях вытяжных труб и температурах окружающей среды.

Для отвода остаточных тепловыделений ОТВС (охлаждения воды ШХ) с использованием термосифонов были рассмотрены возможные теплоносители, применяемые в разных установках (табл. 1). В основном предлагается использование воды. Но вода в данном случае не является подходящим теплоносителем, так как в ШХ температура составляет 30 - 50 °С, а температура кипения воды при атмосферном давлении составляет 100 °С. Это является недостатком использования воды, так как потребуются для надежного охлаждения ШХ создавать в термосифоне пониженное давление, что может вызвать дополнительные трудности в использовании, например присосы в термосифон воздуха, что понизит эффективность.

*Таблица 1. Рассматриваемые теплоносителя для термосифона*

<i>Теплоноситель</i>	<i>Температура кипения, °С</i>
Эфир	35
Ацетон	56,2
Метиловый спирт	64,7
Этиловый спирт	78,3
Пропиловый спирт	97,2

Для расчетов в качестве теплоносителя был выбран ацетон.

Целью работы является оценка эффективности СПОТ (двухфазных термосифонов) для отвода остаточных тепловыделений от шахты хранилища с ОТВС при различных условиях.

Теплоотвод от конденсационной части рассчитывался для различных условий.

1. Использование вытяжной трубы различных конфигураций
2. Изменение температуры окружающего воздуха в течение года

Расчет проводился для климатических условий, характерных для Свердловской области (город Заречный), где располагается ИЯУ. Для расчета использовалась температура наиболее характерная этой области в теплое время года равная 20°С.

В работе были просчитана теплоотдача от конденсационной части термосифона рис. 1, с использованием шести вариантов геометрии вытяжной трубы (рис. 2). На рис. 3. приведены картина изменения температуры воздуха в сечении трубы. Выявлена самая эффективная геометрия вытяжной трубы.

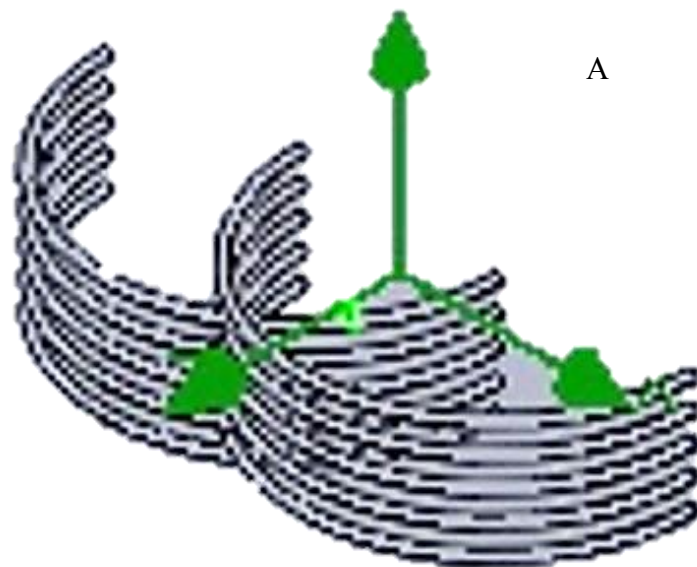


Рис. 1 – Геометрия конденсационной части термосифона, используемая в расчетах

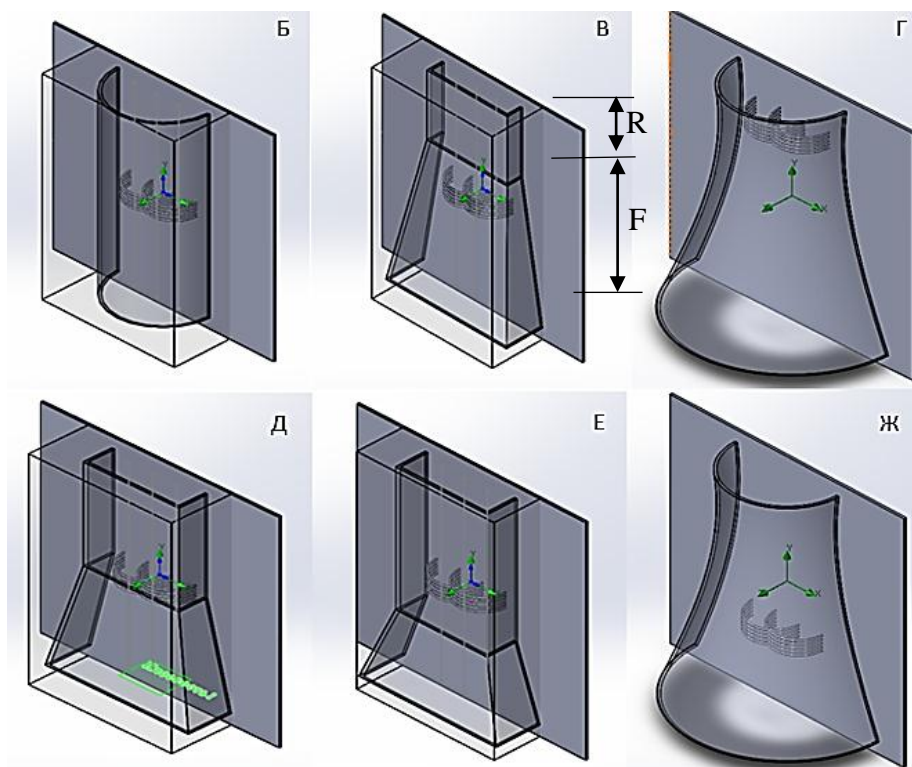


Рис. 2 – Варианты геометрии вытяжной трубы, используемые при расчете

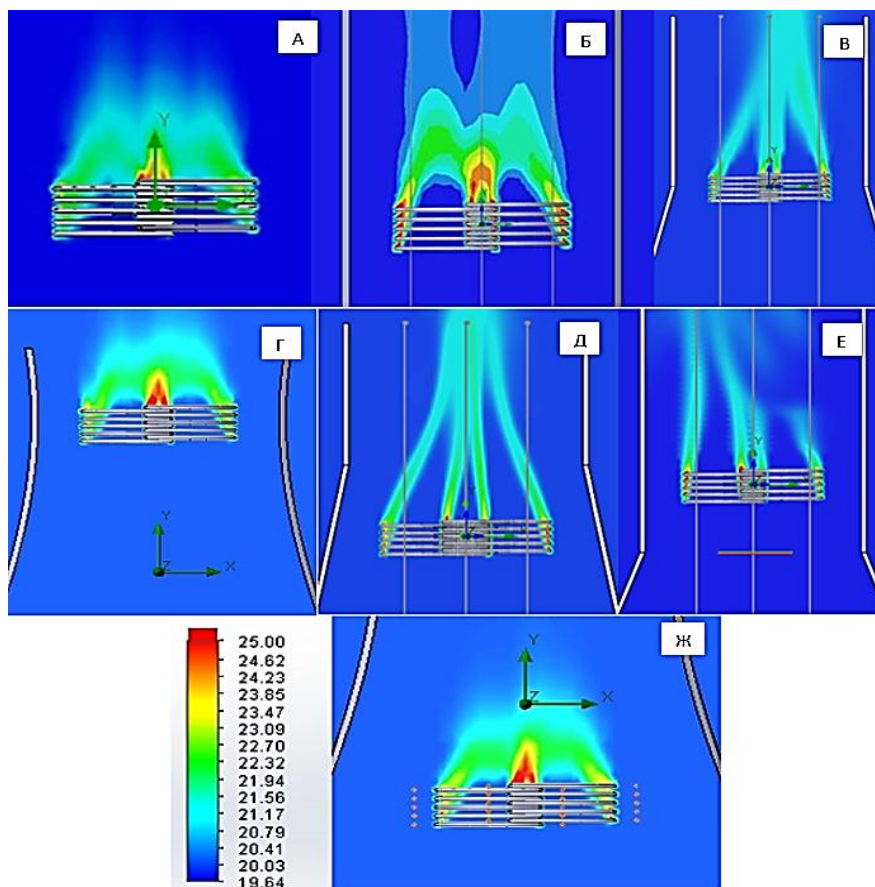


Рис. 3 – Картина изменения температуры воздуха охлаждающего конденсационную часть термосифона в сечении вытяжных труб (см. рис. 2)

На рис. 4. представлено изменение температуры воздуха в зависимости от геометрии вытяжной трубы.

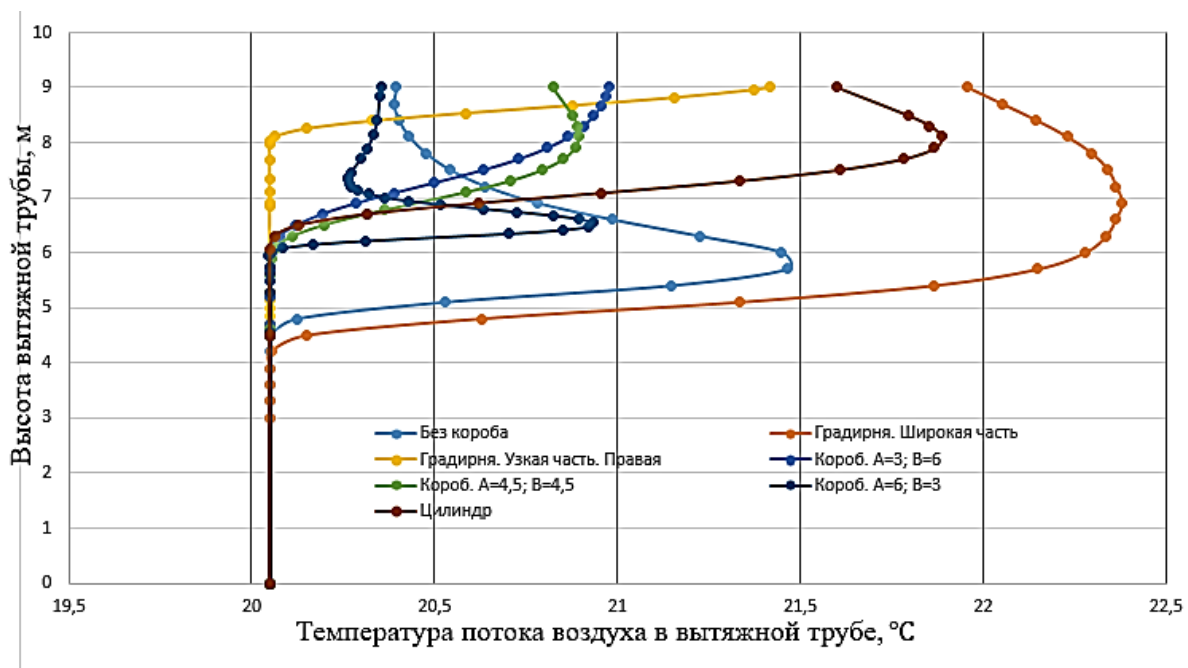


Рис. 4 - График изменения температуры при различных вариантах расчета

В таблице 2 и 3 представлены полученные результаты для различных геометрий вытяжной трубы и результаты для различных климатических условий, соответственно.

Таблица 2. Результаты расчета для различных геометрий вытяжной трубы

Вариант (см. рис.2)	Геометрия вытяжной трубы	$q, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$\alpha, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$Q, \text{Вт}$
А	Без вытяжной трубы	147,76	4,62	724
Б	Цилиндр	174,08	5,45	853
В	Прямоугольная F = 6; R = 3	134,29	4,20	658
Г	Градирня (узкая часть)	167,76	5,25	822
Д	Прямоугольная F = 4,5; R = 4,5	166,53	5,21	816
Е	Прямоугольная F = 3; R = 6	133,47	4,18	654
Ж	Градирня (широкая часть)	174,29	5,45	854

По полученным данным можно сделать вывод, что наиболее эффективной геометрией для отвода тепла от конденсационной части является вытяжная труба, выполненная в форме полуградирни с расположением трубок конденсационной части термосифонов в нижней части вытяжной трубы.

Также в данной работе был проведен расчет теплоотдачи для экстремальных температур в районе города Заречный Свердловской области равных «-31°C» и «+ 35°C». На рис. 5 представлены картины изменения температуры воздуха в вытяжной трубе «б, г» (вариант геометрии «Ж», см. рис.2) и без ее использования «а, в» (см. рис.1).

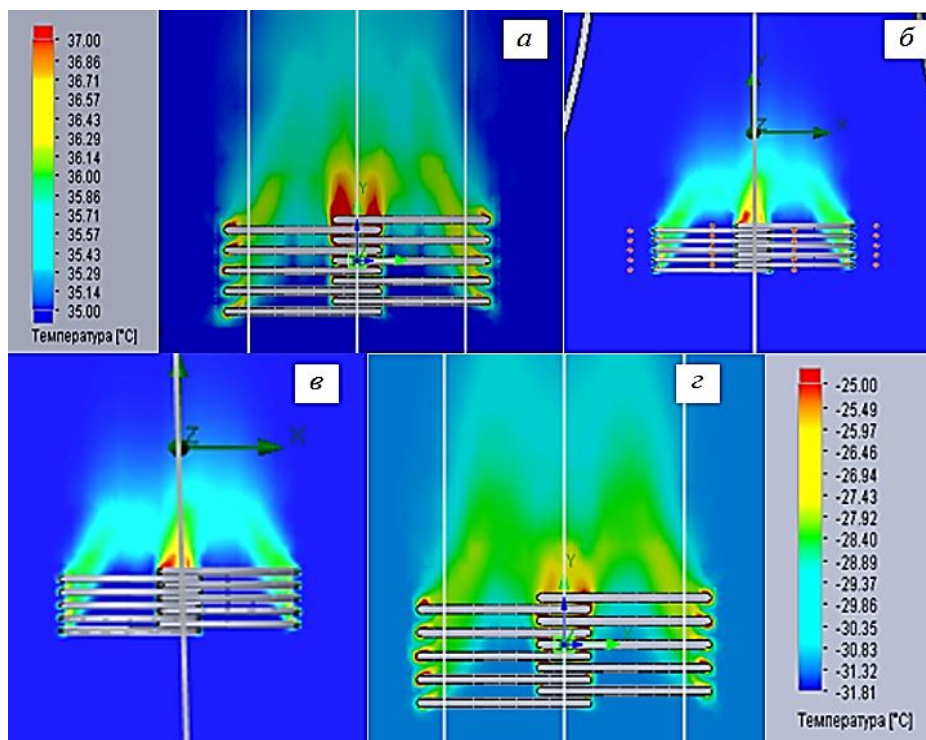


Рис. 5 - Изменение температуры воздуха:  
 а; б – картина в сечении для температуры «+ 35°С»  
 в; г – картина в сечении для температуры «-31°С»

Таблица 3. Эффективность теплоотвода в зависимости от температуры окружающей среды

Температура окружающей среды, °С	Геометрия вытяжной трубы	$q, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	$\alpha, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	$Q, \text{Вт}$
+35	Без вытяжной трубы	61,61	3,62	278
+ 35	Градирня (широкая часть)	85,2	2,67	412
- 31	Без вытяжной трубы	365,32	4,4	1672
- 31	Градирня (широкая часть)	520,3	16,28	2515

На основании произведенных расчетов и моделирования теплоотвода от конденсационной части термосифона воздухом при различных условиях окружающей среды и геометрии вытяжных труб с помощью пакета вычислительной гидродинамики SOLIDWORKSFlowSimulation выявлена наиболее эффективная геометрия вытяжной трубы из представленных, а также определена зависимость теплоотвода от температуры окружающей среды.

Полученные результаты говорят о том, что пассивная система теплоотвода (использование термосифонов) может стать дополнительной системой безопасности ядерных установок, на случай обесточивания.

#### **Список использованных источников:**

1. Ташлыков О.Л. Основы ядерной энергетики. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 225 с.
2. Русских И.М., Ташлыков О.Л. Получение радиоактивных изотопов в исследовательском ядерном реакторе для экспериментальных исследований свойств гомогенных радиационно-защитных материалов // Труды научно-технической конференции молодых ученых УралЭНИИ. Екатеринбург: УрФУ, 2016. С.254-257.
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е., Русских И.М., Селезнев Е.Н., Козлов А.В. Оптимизация состава гомогенных радиационно-защитных материалов применительно к планируемым условиям облучения // Атомная энергия. 2016. Т. 121. № 4. С. 233-236.
4. Новиков Г.А., Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Обеспечение безопасности в области использования атомной энергии: учебник. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 552 с.
5. Михайлова А. Ф., Ташлыков О. Л. Пути реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала // Ядерная физика и инжиниринг. 2018. Т. 9, № 4. С. 393-401.
6. Шумков Д.Е., Климова В.А., Ташлыков О.Л., Селезнев Е.Н. Повышение надежности охлаждения облученных топливных сборок ИЯР ИВВ-2М в шахте-хранилище // Физика. Технологии. Инновации ФТИ-2017: Тезисы докладов IV Международной молодежной научной конференции Екатеринбург: УрФУ, 2017. С.122-123
7. Термосифонные системы пассивного теплоотвода при длительном обесточивании ВВЭР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=4216>
8. Применение двухфазных термосифонов в промышленных системах регенерации и передачи теплоты – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38028666>
9. Shumkov D. E., and Tashlykov O. L. Development of a passive removal heat system for the storage pit of IVV-2M research nuclear reactor AIP Conference Proceedings 2313, 070005 (2020)

© С.М. Глухов, А.Д. Лёзов, 2021

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

студентка гр. 543 **Зайцева Татьяна Сергеевна**,  
Науч. руководитель: ст. преподаватель **Королев Владимир Иванович**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности электропривода механизма вертикального перемещения груза мостового крана. На основе анализа нагрузочных диаграмм электропривода показана целесообразность рекуперации энергии торможения при опускании груза в питающую сеть. Дан пример расчёта срока окупаемости оборудования для рекуперации энергии в сеть.

**Ключевые слова.** Электропривод, асинхронный двигатель, рекуперация, электроэнергия, энергоэффективность.

## ENERGY SAVING IN THE ELECTRIC DRIVE OF LIFTING AND TRANSPORT EQUIPMENT

**Zaitseva Tatyana Sergeevna**

**Abstract.** The article deals with the issues of improving the energy efficiency of the electric drive of the mechanism of vertical movement of the load of the bridge crane. Based on the analysis of the load diagrams of the electric drive, the feasibility of recovering the braking energy when lowering the load into the supply network is shown. An example of calculating the payback period of equipment for energy recovery in the network is given.

**Keywords.** Electric drive, asynchronous motor, recuperation, electric power, energyefficiency.

Мировое потребление электрической энергии увеличивается на 1,6% процента в год. После продолжительного спада в 1991-1998 годах потребление электроэнергии в России устойчиво растёт на 4-5% в год [1].

Доля потребления электрической энергии приводом составляет 65-70% от всей потребляемой промышленностью энергии [2].



Подъёмно-транспортное оборудование широко используется при комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, обеспечивающих эффективность как вспомогательных, так и основных операций при перемещении тяжелых и крупногабаритных грузов.

На рисунке 1 представлены нагрузочные диаграммы электропривода механизма вертикального перемещения груза.

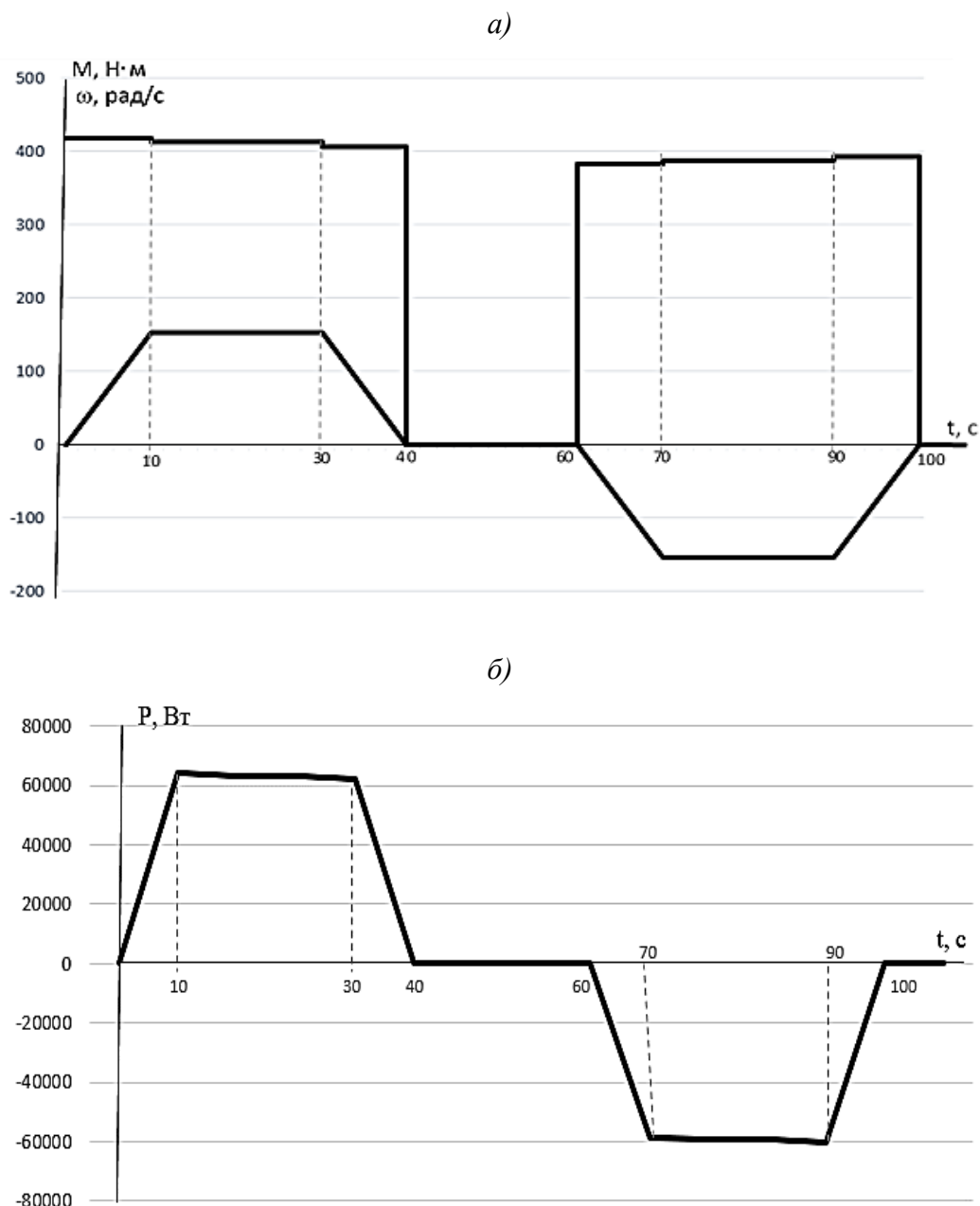


Рис.1 - Нагрузочные диаграммы механизма вертикального перемещения груза  
а) графики момента и скорости, б) график мощности

Анализ нагрузочных диаграмм показывает, что привод механизма вертикального перемещения груза работает в циклическом режиме. Подъем груза (скорость и развиваемый двигателем момент совпадают по направлению) сопровождается потреблением энергии из сети, а опускание груза (скорость и развиваемый двигателем противоположны по направлению) обеспечивается работой двигателя в тормозном режиме (мощность двигателя отрицательна).

При резисторно-контакторной схеме управления асинхронным двигателем с фазным ротором в приводе механизма вертикального перемещения груза процесс торможения автоматически осуществляется с рекуперацией энергии торможения в сеть. На рисунке 2 представлены механические характеристики асинхронного двигателя, поясняющие этот процесс.

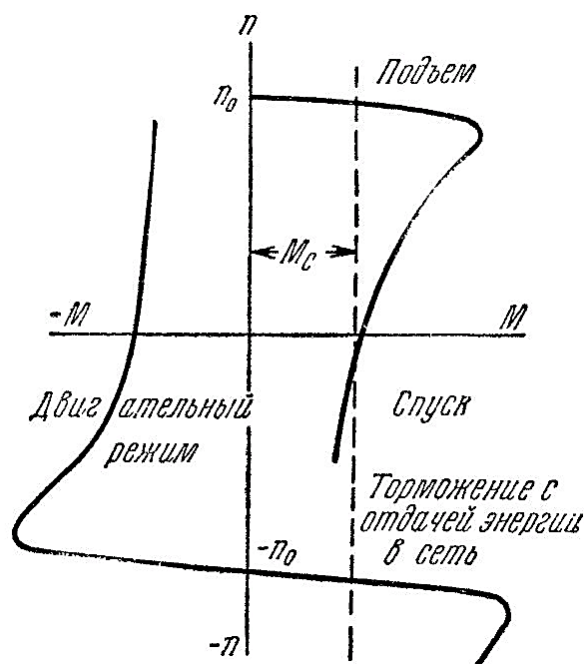


Рис.2 -Механические характеристики асинхронного двигателя при подъёме и опускании груза

При подъёме груза двигатель работает в первом квадранте со скоростью несколько меньшей скорости идеального холостого хода. Режим опускания груза обеспечивается изменением направления вращения двигателя, при этом ротор двигателя раскручивается грузом до скорости большей скорости идеального холостого хода. Разница потребляемой и рекуперированной в сеть энергии за цикл перемещения груза будет тем меньше, чем выше коэффициент полезного действия механических передач.

Не смотря на имеющиеся достоинства, низкая надёжность резисторно-контакторной схемы и отсутствие возможности плавного пуска и торможения, а также сложность обеспечения работа механизма на малых скоростях привели к необходимости использования частотно регулируемого электропривода. Такой привод содержит асинхронный электродвигатель и преобразователь частоты. Из-за низкой стоимости преобразователя без функции рекуперации энергии торможения в питающую сеть они получили достаточно широкое применение в рассматриваемых приводах. Однако, использование таких преобразователей в системах управления электропривода механизмов вертикального перемещения грузов в некоторых случаях следует считать не целесообразным.

Активный выпрямитель напряжения (АВН) и отдельно подключаемый рекуператор энергии являются устройствами, с помощью которых энергия торможения возвращается в сеть. Они обеспечивают длительную работу электропривода в 4-квadrантном режиме, т.е. в двигательном и генераторном режимах для обоих направлений вращения. Отдельно подключаемый рекуператор энергии подключается к клеммам шины постоянного тока преобразователя частоты и осуществляет однонаправленное преобразование энергии.

Активный выпрямитель напряжения является звеном постоянного тока преобразователя частоты и подключается последовательно с автономным инвертором напряжения. Использование активного выпрямителя и отдельно подключаемого рекуператора позволяет обеспечить энергосберегающий режим работы привода.

Рассмотрим пример расчёта срока окупаемости оборудования для рекуперации энергии в сеть для механизма вертикального перемещения груза конкретного мостового крана.

Тариф на электроэнергию в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в настоящее время составляет - 4,82 руб./кВт\*ч [3]. Один кВт\*ч соответствует  $3600 \cdot 10^3$  Дж, следовательно, стоимость одного Джоуля (С) можно найти так:

$$C = \frac{4,82}{3600 \cdot 10^3} = 0,00134 \cdot 10^{-3} \text{ руб.}$$

Далее, найдем потенциальную энергию груза находящегося на высоте (Еп):  $E_p = m \cdot g \cdot h$ ,

где  $m$  – грузоподъемность крана, 200 т.;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,8 м/с<sup>2</sup>;

$h$  – высота поднятия груза, 19 м.

$$E_{\text{п}} = 200 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 19 = 37\,249 \cdot 10^3, \text{ Дж.}$$

Рассчитаем, стоимость энергии, возвращенной в сеть при однократном опускании пуске груза ( $C_v$ ), по формуле:

$$C_v = E_{\text{п}} \cdot \eta \cdot C,$$

где  $\eta$  – КПД механизма, принимаем равным 93%.

$$C_v = 37\,249 \cdot 10^3 \cdot 0,93 \cdot 0,00134 \cdot 10^{-3} = 46,4 \text{ руб.}$$

Принимаем, количество рабочих дней в году ( $k$ ) – 248, тогда при односменной работе и одноразовом использовании крана, стоимость возвращенной энергии ( $C_{e_1}$ ) можно найти так:

$$C_{e_1} = k \cdot C_v = 248 \cdot 46,4 = 11\,507 \text{ руб.}$$

При использовании крана 20 раз за смену стоимость возвращенной энергии составит:

$$C_{e_{20}} = 248 \cdot 46,4 \cdot 20 = 230\,144 \text{ руб.}$$

Сравним сроки окупаемости оборудования для обеспечения возможности рекуперации энергии торможения в сеть двух производителей:

в первом варианте рассчитаем срок окупаемости преобразователя частоты фирмы SchneiderElectric ATV61EXC5D75N4H мощностью 75 кВт с активным выпрямителем напряжения ATV61. Его стоимость составляет 1 805 952 рубля, а стоимость преобразователя той же фирмы, той же мощности без возможности рекуперации энергии в сеть ATV61E5D75N4 – 395 508 рублей. Разница в стоимости этих преобразователей является суммой, затраченной на возможность рекуперации энергии торможения в сеть:

$$C_f = 1\,805\,952 - 395\,508 = 1\,410\,444 \text{ руб.}$$

Окупаемость ( $PP$ ) рассчитаем по формуле:

$$PP_1 = \frac{C_f}{C_e},$$

$$PP_1 = \frac{1\,410\,444}{230\,144} = 6,1 \text{ года.}$$

Во втором варианте рассчитаем срок окупаемости отдельно подключаемого рекуператора электроэнергии ВЕСПЕР EI-RC-100H, стоимость которого 689 400 руб.

$$PP_2 = \frac{689\,400}{230\,144} = 3 \text{ года.}$$

В среднем российские преобразователи электрической энергии можно приобрести на 10–50 % дешевле, чем импортные аналоги. Из расчетов видно, что с точки зрения экономической целесообразности, второй вариант наиболее выгодный.

Приведённые расчёты выполнены для работы мостового крана в одну смену. Также следует учитывать, что динамика роста тарифов на электроэнергию выше динамики роста цен на силовую электронику. Рост тарифов на электрическую энергию для промышленности и крупного бизнеса, работающего на территории г. Санкт-Петербурга за период с 2015 по 2020 годы составляет 10 % ежегодно [3]. За тот же период времени стоимость преобразователей частоты фирмы SchneiderElectric увеличилась в среднем на 33%. При неизменяющейся тенденции роста тарифов на электроэнергию и цен на преобразователи срок окупаемости устройств рекуперации электроэнергии через ближайшие пять лет уменьшится в 1,63 раза [4].

#### **Список использованных источников:**

1. Динамика потребления электроэнергии по России [Электронный ресурс]// 900igr.net: Состояние и перспективы развития энергетики [сайт]. [2020]. URL:<http://900igr.net/prezentacija/fizika/sostojanie-i-perspektivy-razvitiya-elektroenergetiki-236965/za-poslednie-gody-posle-prodolzhitelnogo-spada-v-1991-1998-godakh-10.html> (дата обращения 30.04.2021).
2. Ишутин А. Ю. Исследование режимов работы АД в сетях с распределенной генерацией энергии [Электронный ресурс]//Портал магистров URL: <http://masters.donntu.org/2018/etf/ishutin/diss/index.htm> (дата обращения 15.04.2021).
3. Темпы роста тарифов на электрическую энергию для промышленных потребителей Администрация Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]// Комитет по тарифам Санкт-Петербурга URL: <https://www.gov.spb.ru/> (дата обращения 30.04.2021).
4. Электротехническое оборудование дорожает из-за ослабления рубля [Электронный ресурс]// Ведомости URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2020/03/15/825229elektrotehnickeskoe-oborudovanie> (дата обращения 15.04.2021).

© Т.С. Зайцева, 2021

## SWOT-АНАЛИЗ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

студентка гр. 10607118 **Матус Екатерина Витальевна**,

Науч. руководитель:

канд. эконом. наук, доцент **Самосюк Наталья Александровна**

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В данной статье приведен SWOT-анализ биогазовых установок – выделены сильные и слабые стороны, а также основные возможности и угрозы их применения. После этого отмеченные особенности уточняются и анализируются. На основании анализа делается вывод о целесообразности и перспективности эксплуатации биогазовых установок.

**Ключевые слова.** Природное топливо, отходы, биогаз, биогазовая установка, угрозы, анализ.

## SWOT-ANALYSIS OF BIOGAS PLANTS

**Matus Ekaterina Vitalievna**

**Abstract.** This article presents a SWOT-analysis of biogas plants – there are the main strengths and weaknesses, as well as the opportunities and threats of their use. After that, the marked features are clarified and analyzed. Based on the analysis, a conclusion is made about the feasibility and prospects of operating biogas plants.

**Keywords.** Natural fuel, waste, biogas, biogas plant, threats, analysis.

Актуальной проблемой мирового масштаба является истощение запасов природного топлива и ухудшение экологической обстановки. Поэтому одним из основных направлений перспективного развития общества является переход к альтернативным источникам энергии. В настоящее время альтернативным решением для замены не возобновляемых ресурсов может служить биогаз. Технология генерации биогаза основана на разложении органического сырья благодаря жизнедеятельности микроорганизмов без доступа кислорода или же в анаэробных условиях. Биогаз обеспечивает утилизацию различных

отходов и позволяет получить тепловую и электрическую энергию, а также топливо для транспортных средств. Кроме этого биогаз может использоваться в бытовых условиях для приготовления пищи [1].

Строительство и эксплуатация биогазовых установок для производства биогаза характеризуются рядом особенностей. Для оценки эффективности биогазовой технологии можно применить метод SWOT-анализа.

SWOT-анализ – это универсальная методика стратегического планирования, которая позволяет достаточно просто взглянуть на существующее положение рассматриваемого объекта и принять какое-либо решение [2]. Метод основан на выделении факторов, разделенных на четыре категории:

1. сильные стороны;
2. слабые стороны;
3. возможности;
4. угрозы.

Для данных категорий можно выделить факторы, наиболее влияющие на эффективность применение биогазовых установок [3]. Матрица SWOT-анализа биогазовых установок представлена на рис. 1.

СИЛЬНЫЕ СТОРОНЫ		СЛАБЫЕ СТОРОНЫ	
Рейтинг	Параметр	Рейтинг	Параметр
1	Переработка домашних отходов.	1	Безопасность.
2	Сокращение выбросов парниковых газов.	2	Требование оптимальных условий работы.
3	Экономия ресурсов.	3	Немалые инвестиции.
4	Использование биоудобрений.	4	Ограниченность применения.
5	Улучшение экологической обстановки и качества жизни людей.	5	Риск распространения возбудителей инфекций.
ВОЗМОЖНОСТИ		УГРОЗЫ	
Рейтинг	Параметр	Рейтинг	Параметр
1	Снижение потребления природного газа.	1	Экономическая эффективность
2	Повышение энергобезопасности страны.	2	Слабая поддержка со стороны государства.
3	Модернизация энергосистемы.	3	Несоблюдение техники безопасности.
4		4	Издержки.

Рис. 1 – SWOT-анализ биогазовой установки

Далее необходимо проанализировать приведенные на рисунке 1 факторы. Анализ сильных и слабых сторон приведен на рисунке 2, анализ возможностей и угроз – на рисунке 3.

## АНАЛИЗ СИЛЬНЫХ СТОРОН:

- 1. Технология использования бытовых биогазовых установок в значительной степени помогает уменьшить отходы жизнедеятельности человека, наладить систему раздельного сбора мусора.
- 2. Снижение выбросов углекислого газа достигается путем снижения потребления дров и уменьшения обезлесения. Так, использование 1 м<sup>3</sup> биогаза вместо 1,3 кг дров снижает выбросы углекислого газа на 2,6 кг. Кроме этого уменьшение выбросов достигается за счет альтернативной замены бензина на биотопливо и составляет около 1,6 кг на 1 м<sup>3</sup>. Второе по значимости место среди парниковых газов занимает метан. Его доля в общем объеме выбросов составляет порядка 14 %. И хотя метан попадает в атмосферу в меньших количествах, чем углекислый газ, его способность задерживать тепло в 21 раз выше. Метан образуется в процессе производства и транспортировки угля, природного газа и нефти; в ходе распада органических отходов жизнедеятельности человека и животных, компонентов сельскохозяйственных стоков. Применение биогазовой установки позволяет перерабатывать вышеприведенные отходы, не допуская выбросы метана, и сокращает использование природного топлива.
- 3. Экономия топливных ресурсов достигается за счет использования биогаза не только в промышленных масштабах для производства электрической, тепловой энергии, а также автомобильного топлива, но и в бытовых условиях для приготовления пищи. Технология позволяет также сэкономить трудовые и материальные ресурсы благодаря оптимизации энергетической системы и замене устаревших и малоэффективных энергогенерирующих установок.
- 4. Использование биоудобрений в сельском хозяйстве позволяет сократить использование химических удобрений. Это обеспечивает сохранность плодородия почв, благоприятно влияет на качество выращиваемых сельскохозяйственных продуктов и на экологию в целом.
- 5. Переработка пищевых отходов, а также отходов растений и животных позволяет избежать безразборный выброс мусора, вызывающего серьезные проблемы с загрязнением окружающей среды, обеспечивает содержание окрестности в чистоте и порядке и, таким образом, поддерживает здоровье и гигиеническую жизнь людей.

## АНАЛИЗ СЛАБЫХ СТОРОН:

- 1. Проблема безопасности связана с летучей природой метана. Смеси биогаза, содержащие более 50% метана, горючие. Таким образом, нельзя использовать открытый огонь рядом с варочным котлом, а электрическое оборудование должно быть взрывозащищенным. Кроме того, зона варочного котла должна хорошо вентилироваться, чтобы свести к минимуму риск пожаров и взрывов.
- 2. Основными требованиями, предъявляемыми к биореактору – резервуару накопления биоотходов, являются абсолютная герметичность, кислотостойкость и надежность. Биогаз в реакторе образуется благодаря жизнедеятельности разнообразных бактерий, присутствующих в органических отходах. Для эффективной работы биогазовой установки необходимо создать и поддерживать оптимальную для микроорганизмов температуру 37-40°C. Для обеспечения такого температурного режима биореактор оснащается теплоизоляционной конструкцией, устройствами подогрева и перемешивания биомассы.

*Рис. 2 – Анализ сильных сторон и слабых сторон биогазовой установки*



## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ:

- 1. За счет расширения применения бытовых биогазовых установок в Республике Беларусь в целом можно существенно снизить потребление привозного газового топлива и увеличить экономическую безопасность государства.
- 2. Использование биогаза в пользу природному газу или электроэнергии для приготовления пищи в широком масштабе изменит соответственно их потребление. При таком раскладе для обеспечения энергетического баланса необходимо снижать производственные мощности. Таким образом, внедрение бытовых биогазовых установок необходимо осуществлять одновременно с модернизацией всей энергосистемы.

## АНАЛИЗ УГРОЗ:

- 1. При расчетах эффективности биогазовой установки необходимо учитывать различные факторы, такие как: капитальные вложения в ее строительство, затраты на эксплуатацию и обслуживание, условия ее размещения, объем перерабатываемых отходов. Исходя из этих параметров, определяются прибыль (убытки), срок окупаемости.
- 2. Угроза низкой заинтересованности, отсутствия государственного инвестирования в технологию обуславливает торможение развития применения биогазовых установок.
- 3. Несоблюдение техники безопасности и правил эксплуатации биогазовых установок может привести к широкому спектру последствий. Поэтому важным этапом, предшествующим внедрению технологии, является проведение информирования, возможности обучения будущих владельцев. Кроме этого установки должны соответствовать требованиям безопасности и надежности, включать необходимые датчики контроля и наладки внутренних процессов.
- 4. Угроза издержек связана со значительными капитальными затратами на строительство или приобретение установки и последующими эксплуатационными затратами для поддержания эффективной ее работы.

*Рис. 3 – Анализ возможностей и угроз биогазовой установки*

Применение биогазовой установки в качестве альтернативного источника энергии можно считать перспективным решением. Биогазовая технология в значительной степени помогает преодолеть топливный кризис, уменьшить отходы жизнедеятельности человека и загрязнение окружающей среды, обеспечивает защиту природных ресурсов Земли и значительно снижает парниковый эффект на земную атмосферу. Однако такое инновационное мероприятие требует ответственного подхода, чтобы обеспечить надежность и безопасность процессов производства, также предполагает немалые инвестиционные затраты и поддержку со стороны государства.

### **Список использованных источников:**

1. Матус Е. В. Принцип работы биогазовых установок / Е. В. Матус; науч. рук. Н. А. Самосюк // Актуальные проблемы энергетики 2020 [Электронный ресурс]: материалы студенческой научно-технической конференции / сост.: И. Н. Прокопеня, Т. А. Петровская. – Минск: БНТУ, 2020. – С. 805-810.
2. SWOT-анализ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/SWOT>. – Дата доступа: 25.04.2021
3. Матус Е. В. Особенности бытовых биогазовых установок./ Е. В. Матус; науч. рук. Н. А. Самосюк // Актуальные проблемы энергетики: материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов: секция «Экономика и организация энергетики» / сост. Т. Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2021.

© Е.В. Матус, 2021

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯЦИОННОЙ КАМЕРЫ В УСТАНОВКЕ СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ ШЛАКА

аспирант гр.13.06.01-01-31оп **Ильичева Екатерина Михайловна**,

Науч.руководитель:

д-р техн. наук, профессор **Лукин Сергей Владимирович**

Череповецкий государственный университет,

г. Череповец, Российская Федерация

**Аннотация.** В работе определяются конструктивные и режимные параметры грануляционной камеры в установке сухой грануляции шлака. Получены выражения, позволяющие оценивать радиус диска  $r_0$ , частота его вращения  $f$ , максимальный расход шлака  $G_{\max}$ , при котором происходит его распыление, в зависимости от диаметра капель жидкого шлака  $d$  и скорости их движения  $w$ . Приведены результаты исследования этих зависимостей, которые включают в себя теплофизические свойства доменного шлака – плотность, коэффициенты вязкости и поверхностного натяжения.

**Ключевые слова.** Энерготехнология, утилизация физической теплоты, доменная печь, доменный шлак, установка сухой грануляции шлака, грануляционная камера, механическое распыление.

## DEFINING CONSTRUCTIVE AND MODE PARAMETERS OF THE GRANULATION CHAMBER IN AN INSTALLATION OF A DRY SLAG GRANULATION

**Ilicheva Ekaterina Mihajlovna**

**Abstract.** In this paper defines the constructive and mode parameters of the granulation chamber in an installation of a dry slag granulation. We obtain expressions that allow us to estimate radius of the disk  $r_0$ , its rotation frequency  $f$ , the maximum volume slag flow rate  $G_{\max}$  at which it is sprayed, depending on the diameter of liquid slag droplets  $d$  and the speed of their movement  $w$ . The results of the study of these dependences, which include the thermophysical properties of blast-furnace slag - density, viscosity and surface tension coefficients.

**Keywords.** Energy technology, physical heat utilization, blast furnace, blast furnace slag, dry slag granulation plant, granulation chamber, mechanical spraying.

В ведущих странах мира проводятся исследования по разработке установок сухой грануляции доменного шлака (УСГШ), позволяющих получать сухой гранулированный шлак и утилизировать более 90% его физической теплоты [1–4]. Большую часть теплоты, расходуемую на нагрев охлаждающего воздуха до 600...650 °С, можно использовать в котле-утилизаторе для выработки пара энергетических и технологических параметров. Некоторую (меньшую) часть теплоты, передаваемую стенкам грануляционной камеры, можно использовать для выработки пара в системе испарительного охлаждения элементов УСГШ.

В работах [5, 6] представлена принципиальная схема установки сухой грануляции шлака и разработаны математические модели, описывающие предварительное охлаждение и затвердевание капель жидкого шлака в грануляционной камере установки сухой грануляции и окончательное охлаждение затвердевших гранул шлака на решетках с кипящим слоем, продуваемых снизу воздухом.

Самым важным элементом грануляционной камеры является устройство для распыления жидкого шлака, в качестве которого предлагается использовать диск из жаропрочного материала, охлаждаемого изнутри воздухом, с плоской верхней поверхностью, вращающейся в горизонтальной плоскости [7].

Основными конструктивными параметрами грануляционной камеры являются радиус диска  $r_0$  и радиус грануляционной камеры  $R$ , ее режимными параметрами являются объемный расход жидкого шлака  $G$  и угловая скорость вращения диска  $\omega$ . Величины  $\omega$  и  $r_0$  определяют максимальный диаметр распыленных капель  $d$  и скорость их радиального движения после распыления  $w$ . Скорость движения капель, отрывающихся от диска, равна величине  $w = \omega r_0$  – именно с этой скоростью капли летят в направлении цилиндрической стенки грануляционной камеры. Величины  $d$  и  $w$  должны быть такими, чтобы капля жидкого шлака успела затвердеть до соприкосновения со стенками грануляционной камеры, при этом выполняется условие:  $w\tau_3 < R$ , где  $\tau_3$  – длительность затвердевания капли в грануляционной камере. В работе [5] установлены зависимости величины  $\tau_3$  от различных факторов, основными из которых являются диаметр капли, ее начальная температура, температура воздуха в грануляционной камере.

В работе [8] представлена формула для определения максимального диаметра  $d$  основных капель, полученная с учетом экспериментальных данных по распылению капельных жидкостей:

$$d = \frac{C}{\omega} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho r_0}} = \frac{C}{w} \sqrt{\frac{\sigma \cdot r_0}{\rho}} \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения диска,  $\text{с}^{-1}$ ;  $r_0$  – радиус диска, м;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости,  $\text{Н}/\text{м}$ .

В формуле (1) эмпирический коэффициент  $C$  находится в диапазоне 1,9...4,6 и мало зависит от профиля кромки диска. Остальные величины, при которых получена формула (1), находятся в пределах:  $d = 0,03...4$  мм,  $\omega = 30...1000$   $\text{с}^{-1}$ ,  $r_0 = 0,01...0,11$  м,  $\rho = 900...1360$   $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\sigma = 0,031...0,456$   $\text{Н}/\text{м}$ .

Для жидкого доменного шлака необходимо проводить экспериментальные исследования, чтобы уточнить коэффициент  $C$ . Теоретически можно вывести формулу (1), приравняв силу поверхностного натяжения и центробежную силу, действующие на каплю перед ее отрывом [8]. В этом случае значение  $C = 3,46 \approx$ , что приблизительно равно среднему значению коэффициента  $C$  в диапазоне 1,9...4,6.

Из формулы (1) следует, что максимальный диаметр  $d$  распыляемых капель обратно пропорционален угловой скорости вращения диска  $\omega$  и квадратному корню радиуса диска  $r_0$ . В работе [5] показано, что для обеспечения приемлемого радиуса грануляционной камеры максимальный диаметр  $d$  жидких капель шлака не должен превышать 1...2 мм. Если максимальный диаметр капли  $d$  и скорость ее движения  $w$  определены из условия допустимого радиуса грануляционной камеры  $R$ , при котором капли данного и меньшего диаметров гарантированно затвердевают до соприкосновения со стенкой камеры, тогда из выражения (1) можно оценить радиус вращающегося диска:

$$r_0 \approx (\rho / \sigma) \cdot (dw / C)^2. \quad (2)$$

В этом случае угловая скорость вращения диска оценивается выражением  $\omega = w / r_0$ , где  $r_0$  определяется выражением (2).

Частота вращения диска равна:

$$f = \omega / (2\pi) = w / (2\pi r_0). \quad (3)$$

Отметим, что жидкий тор на краю диска и капли образуются, если толщина слоя жидкого шлака  $\delta$  вблизи края диска меньше диаметра  $d$ , в противном случае жидкий шлак будет просто сливаться с края диска без распыления. Выясним условия, при которых вблизи края диска ( $r = r_0$ )

выполняется неравенство  $\delta < d$ , и, следовательно, происходит распыление жидкого шлака. В работе [8] при аналитическом решении задачи движения жидкости, подаваемой из вертикального цилиндрического канала в центр горизонтально вращающегося диска, получено приближенное выражение для определения толщины жидкости на поверхности диска, м:

$$\delta = \left( \frac{3\nu G}{2\pi r^2 \omega^2} \right)^{1/3}, \quad (4)$$

где  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м<sup>2</sup>/с;  $G$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $r$  – текущий радиус, м;  $\omega$  – угловая скорость диска, рад/с.

Из выражения (4) и условия  $\delta \leq d$  при  $r = r_0$ , учитывая выражение  $w = \omega r_0$ , можно вывести, что объемный расход жидкого шлака  $G$  (м<sup>3</sup>/с), подаваемого на диск, не должен превышать максимальное значение  $G_{\max}$ :

$$G_{\max} = (2\pi/3) \cdot w^2 \cdot d^3 / \nu. \quad (5)$$

Выражения (2), (3) и (5) позволяют по выбранным значениям максимального диаметра капли жидкого шлака  $d$  и скорости ее движения в грануляционной камере  $w$  оценивать радиус диска  $r_0$ , частоту его вращения  $f$  и максимальный объемный расход жидкого шлака  $G_{\max}$ , при котором обеспечивается его распыление. Чтобы воспользоваться данными выражениями, нужно знать теплофизические свойства жидкого шлака:  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения на границе с газовой средой, Н/м;  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с, равный  $\nu = \mu/\rho$ , где  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости, Па·с.

Жидкие доменные шлаки на выпуске из печи должны иметь высокую серопоглотительную способность, хорошую текучесть и достаточную диффузионную подвижность [9]. Такими свойствами обладают шлаки с вязкостью при температуре на выпуске 1500 °С в пределах 0,26...0,33 Па·с, с температурой кристаллизации не более 1300 °С, а также поверхностным натяжением 0,430...0,450 Н/м.

Приняты для определенности следующие свойства жидкого шлака, поступающего на диск с температурой 1500 °С:  $\mu = 0,3$  Па·с;  $\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup>;  $\nu = 1,2 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с;  $\sigma = 0,45$  Н/м.

В работе [5] при моделировании охлаждения капель жидкого шлака в грануляционной камере показано, что капля диаметром  $d = 2$  мм, летящая со скоростью  $w = 10$  м/с, охлаждается с 1500 до 1200 °С (до температуры гарантированного затвердевания) примерно за время  $\tau_s \approx 0,7$  с, при этом радиус камеры должен составлять  $R = w\tau_s \approx 7$  м. Скорость капли  $w$  незначительно влияет на время  $\tau_s$ , так как в грануляционной камере

охлаждение капли происходит в большей степени за счет лучистого теплообмена со стенками камеры, и в меньшей степени – за счет конвективного теплообмена с газом (воздухом) в камере. При диаметре капли  $d = 1,5$  мм время  $\tau_s \approx 0,49$  с, радиус грануляционной камеры составит  $R \approx 4,9$  м (при  $w = 10$  м/с); при  $d = 1$  мм величина  $\tau_s \approx 0,28$  с,  $R \approx 2,8$  м (при  $w = 10$  м/с).

Уменьшение скорости  $w$  позволяет снизить радиус грануляционной камеры  $R$ , однако это может привести также к значительному уменьшению распыляющей способности диска, а значит – к снижению производительности установки грануляции шлака. Это следует из дальнейших расчетов, в которых скорость движения капли  $w$  в грануляционной камере варьировали от 5 до 15 м/с, а в качестве максимального диаметра капель принимали значения  $d = 1; 1,5; 2$  мм.

На рис. 1 показаны зависимости радиуса диска  $r_0$  и частоты его вращения  $f$  от скорости движения капли  $w$  при различных диаметрах капли  $d$ , рассчитанные по формулам (2) и (3), где коэффициент  $C$  принят равным 3,46.

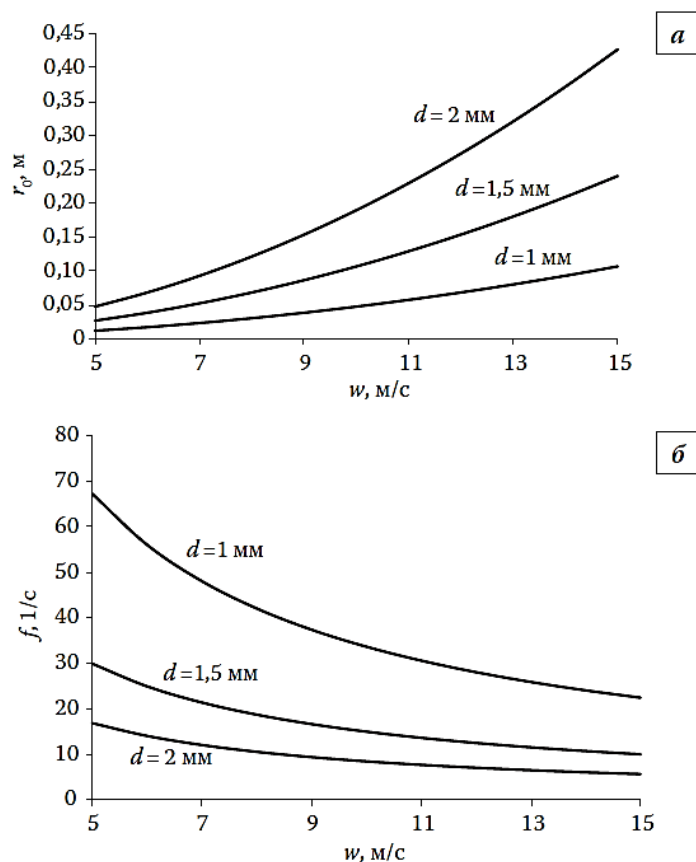


Рис. 1 - Зависимость радиуса диска  $r_0$  (а) и частоты вращения диска  $f$  (б) от скорости движения капли  $w$  при различных ее диаметрах  $d$

Из рис. 1 следует, что для получения каплей с максимальным диаметром  $d = 2$  мм со скоростью движения в грануляционной камере  $w = 5$  м/с радиус диска должен составлять  $r_0 = 0,0473$  м при частоте вращения  $f = 16,8$  с<sup>-1</sup>. Для увеличения скорости движения капли  $w$  при том же ее диаметре радиус диска должен возрастать, а частота вращения снижаться. Так, при том же диаметре капли  $d = 2$  мм и при  $w = 10$  м/с радиус  $r_0 = 0,189$  м, частота вращения  $f = 8,5$  с<sup>-1</sup>. При  $d = 2$  мм и  $w = 15$  м/с –  $r_0 = 0,426$  м,  $f = 5,6$  с<sup>-1</sup>.

По формуле (5) для различных значений  $w$  и  $d$  рассчитывали максимальный объемный расход жидкого шлака  $G_{\max}$ , подаваемого на диск, при котором может происходить распыление жидкого шлака. При этом действительный расход  $G$  должен быть меньше – с некоторым запасом величины  $G_{\max}$ . Результаты расчета приведены на рис. 2.

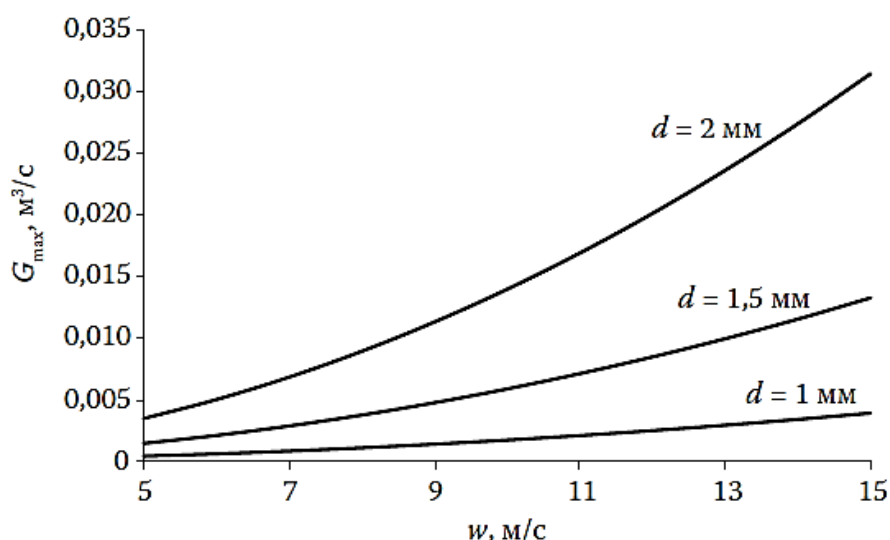


Рис. 2 - Зависимость максимального объемного расхода жидкого шлака  $G_{\max}$  от скорости движения капли  $w$  при различных ее диаметрах  $d$

Увеличение скорости полета капли  $w$  и диаметра капли  $d$  позволяет многократно увеличить максимальный расход шлака  $G_{\max}$ , а значит, и производительность установки (см. рис. 2). Так, при диаметре капли  $d = 2$  мм с увеличением скорости  $w$  от 5 до 15 м/с, т.е. в три раза, величина  $G_{\max}$  возрастает от 0,00349 до 0,0314 м³/с, т.е. в девять раз. Если зависимость  $G_{\max}$  от  $w$  является квадратичной, то зависимость  $G_{\max}$  от  $d$  – кубическая. При уменьшении диаметра капли от 2 до 1 мм (в два раза) величина  $G_{\max}$  при той же скорости снижается в восемь раз. Так, при диаметре капли  $d = 1$  мм с увеличением скорости от 5 до 15 м/с величина  $G_{\max}$  возрастает от 0,000436 до 0,00393 м³/с.



### Список использованных источников:

1. Pickering S.J., Hay N., Roylance T.F., Thomas G.H. New process for dry granulation and heat recovery from molten slag // *Ironmaking and Steelmaking*. – 1985. – Vol. 12, – No. 1. – P. 14–21.
2. Xie D., Jahanshali S., Norgate T. Dry granulation to provide a sustainable option for slag treatment // *Sustainable Mining Conference*. 17–19 August 2010. Kalgoorlie, WA, Australia. – P. 22–28.
3. Каппес Х., Мичелс Д. Сухая грануляция шлака с утилизацией энергии – от рождения идеи до пилотной установки // *Черные металлы*. – 2015. – № 5 (1001). – С. 46–52.
4. Zhang H., Wang H., Zhu X., Qiu Y., Li K., Chen R., Liao Q. A review of waste heat recovery technologies towards molten slag in steel industry // *Applied Energy*. – 2013. – Vol. 112. – P. 956–966.
5. Лукин С.В., Шестаков Н.И., Ильичева Е.М. Теплообмен в грануляционной камере установки сухой грануляции шлака // *Металлург*. – 2019. – № 8. – С. 36–41.
6. Лукин С.В., Фокин А.В., Ильичева Е.М. Теплообмен на решетках с кипящим слоем в установке сухой грануляции шлака // *Металлург*. – 2020. – №4. – С. 16–20.
7. Лукин С.В. Определение геометрических и режимных параметров устройства для распыления жидкого шлака в установке сухой грануляции шлака / С.В. Лукин, Н.И. Шестаков, Е.М. Ильичева, А.В. Фокин // *Металлург*. – 2021. – № 3. – С. 19–24
8. Паж Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. М. : Химия, 1984. – 256 с.
9. Юрьев Б.П. Изучение теплофизических свойств доменных шлаков в процессе их термической обработки // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 2014. – № 11. – С. 5–10.

© Е.М. Ильичева, 2021

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОРОГОСТОЯЩИХ  
СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ  
НА ПРОИЗВОДСТВЕ**

ассистент, аспирант гр. 520-09 **Слюта Марина Олеговна**,  
аспирант гр. 7-520-09 **Таянчина Алевтина Васильевна**  
Высшая школа технологий и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Внедрение инновационных устройств автоматизации решает множество задач, стоящих перед руководителями и позволяет предприятиям перейти на новый уровень качества, экономить ресурсы, повысить эффективность производства, увеличить уровень безопасности, сократить трудовые и иные затраты, увеличить объем производства, укрепить конкурентные позиции. Однако внедрение дорогостоящего оборудования имеет ряд проблем. В данной статье представлены проблемы использования дорогостоящих современных средств автоматизации на производстве и приведены примеры их решения.

**Ключевые слова.** Средства автоматизации, эффективность производства, затраты, объем производства, уровень качества.

**PROBLEMS OF USING EXPENSIVE MODERN AUTOMATION  
MEANS IN PRODUCTION**

**Sluta Marina Olegovna,  
Tayanchina Alevtina Vasilievna**

**Abstract.** The introduction of innovative automation devices solves many problems facing managers and allows enterprises to: move to a new level of quality, save resources, improve production efficiency, increase production capacity, improve safety, reduce labor and other costs, increase production, strengthen competitive positions. However, the introduction of expensive equipment has a number of problems. This article presents the problems of using expensive modern automation tools in production and provides examples of their solutions.

**Keywords.** Automation equipment, production efficiency, costs, production volume, quality level.

Фирмы, занимающиеся производством и продажей оборудования, не стоят на месте и постоянно развиваются. Они разрабатывают новые технологические решения, придумывают новые линейки средств автоматизации с огромным количеством различных функций, называют их «интеллектуальными» и выставляют на продажу по цене выше средней.

Внедрение инновационных устройств автоматизации решает множество задач, стоящих перед руководителями и позволяет предприятиям:

- перейти на новый уровень качества;
- экономить ресурсы;
- повысить эффективность производства;
- нарастить производственные мощности;
- повысить уровень безопасности;
- сократить трудовые и иные затраты;
- увеличить объем производства;
- укрепить конкурентные позиции.

В качестве примера можно привести модернизацию системы управления котлом ДЕ10-14 в деревне Гостилицы Ломоносовского района Ленинградской области. Устаревшая релейная схема и вышедшие из строя самописцы (рис. 1) были демонтированы и вместо них была установлена новая система управления на базе контроллера Siemens (рис. 2). Благодаря этому котел работает в полностью автоматическом режиме и архивные данные сохраняются в цифровом виде.



*Рис. 1 - Релейная схема*

Однако внедрение дорогостоящего оборудования имеет ряд проблем:

- стоимость оборудования выше средней;
- дорогостоящие установка и обслуживание;
- нехватка квалифицированных специалистов для эксплуатации.



*Рис. 2 - Система управления котлом ДЕ10-14 на базе контроллера Siemens*

При произведенной модернизации можно выделить положительные стороны: сделали схему более упорядоченную и можно избежать путаницы в проводах, можно реализовать интеграцию в скада-систему. Также если потребуется контроль за дополнительными параметрами достаточно будет добавить еще один блок управления, а не целый дополнительный контур релейной схемы. Однако модернизация данной системы достаточно дорогая, также может возникнуть недопонимание со стороны персонала в новом программном обеспечении, так как для работы с релейной схемой хватит понимания азов логики, а для работы с контроллером Siemens нужен грамотный специалист, знающий все необходимые для настройки программы.

Очень часто оборудование подбирается сложное и, как следствие, дорогостоящее, поскольку на данный момент не существует разумных критериев подбора оборудования и средств автоматизации. Таким образом, исполнители работ по модернизации, привыкшие работать с большими, сложными объектами, часто предлагают чрезмерно сложные решения для простых задач.

Рассмотрим данную проблему на примере водокачки в поселке Новоселье Ломоносовского района Ленинградской области. Водокачка управляет 8 насосами и контролирует уровень в емкостях. Для этого

достаточно контролера семейства SIMATIC из линейки S7-1200 с необходимыми дополнительными модулями расширения и с недорогой сенсорной панелью управления [1].

Во время установки и наладки технических средств программист, не имея возможности плавно разгонять двигатель насоса и избежать чрезмерного перерегулирования при разгоне, сделал запрос на установку дополнительных запорных задвижек с дистанционным управлением. Так же был установлен контроллер из линейки S7-1500 и дорогая сенсорная панель управления. Стоимость данной комплектации составила более 1 млн. руб., а можно было бы уложиться в сумму порядка 200 тыс. руб., применив средства автоматизации меньшей стоимости.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что в большинстве случаев независимо от установленного оборудования требуемая задача будет выполнена. Поэтому проблемы как таковой нет, и на многих производствах остается все без модернизаций уже очень много лет, и руководству проще не думать об этой задаче. Однако руководителям не стоит забывать о том, что новое современное оборудование более удобно в эксплуатации для квалифицированных специалистов. Также у так называемых «интеллектуальных» средств автоматизации есть ряд функций, которые помогают запустить процессы самодиагностики оборудования или архивирование данных, которых необходимо использовать для статистики на предприятии.

Но также необходимо понимать, что при модернизации системы автоматизации важно подбирать оптимальное оборудование, а не использовать сверхдорогое оборудование с набором ненужных дополнительных функций. Важно грамотно оценивать задачу, а также консультироваться со специалистами, которые разбираются в данной области, чтобы избежать лишних затрат.

Таким образом, для решения данной проблемы, для более рационального подбора технических средств автоматизации под выполняемые задачи и более эффективного использования, необходимо выработать критерии подбора оборудования для систем автоматизации, а также обучать специалистов.

#### **Список использованных источников:**

1. Siemens. SIMATIC Technology [Электронный ресурс]. URL: <https://new.siemens.com> (дата обращения: 25.04.2021).

© М.О. Слюта, А.В. Таянчина, 2021

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

студентка гр. 49ж **Полозкова Анастасия Петровна**

Науч. руководитель:

канд. техн. наук, доцент **Финиченко Александра Юрьевна**

Омский государственный университет путей сообщения,

г. Омск, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассматривается когенерационная схема и возможность применения газовых генераторов с увеличением эффективности работы данной установки как источник электроэнергии. Рассмотрен вопрос применения теплиц, с целью получения максимальной результативности, проведен анализ использования отработавших газов газового генератора в качестве удобрения для растений.

**Ключевые слова.** Газовый генератор, альтернативная энергетика, отработавшие газы, сеть природного газа, горючее вещество, фотосинтез.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF GENERATING GAS UNITS

**Polozkova Anastasia Petrovna**

**Abstract.** The article discusses a cogeneration scheme and the possibility of using gas generators with an increase in the efficiency of this installation as a source of electricity. The question of the use of greenhouses is considered, in order to obtain maximum efficiency, the analysis of the use of the exhaust gases of a gas generator as a fertilizer for plants is carried out.

**Keywords.** Gas generator, alternative energy, exhaust gases, natural gas network, combustible substance, photosynthesis.

Стремительное развитие экономической отрасли влечет за собой увеличение объемов потребления энергии, повышенная выработка энергии, в свою очередь, вызывает ухудшение экологической обстановки

и, соответственно, отрицательно сказывается на состоянии окружающей среды. Применение газовых генераторов, как полноценных источников электроэнергии, приобрело активное распространение не так давно, соответственно, научные исследования, касающиеся данной тематики, обладают актуальностью. На рынок электроэнергии выходят частные поставщики, интересующиеся данными установками, поэтому сегодня газовые генераторы пользуются большой популярностью и являются выгодным вариантом для обеспечения электрической энергией объектов различного назначения в качестве основного или же резервного источника энергии. Данные установки высокоэффективны, окупаются в короткие сроки, рабочим топливом является природный газ или же сжиженный. При сравнении газовых генераторов с другими генерирующими установками выводится один из плюсов рассматриваемых моделей – они работают как когенерационные установки, то есть одновременно вырабатывают как электрическую, так и тепловую энергию, данная функция не присуща дизельным и бензиновым генераторам [1].

Задача данного научного исследования заключается в анализе работы конкретной модели газовой генерирующей установки, рассмотрении возможности применения когенерационной схемы. Сделать вывод об увеличении мощности при использовании отработавших газов и системы отопления теплиц на основе выработанной тепловой энергии газовым генератором.

В состав конструкции газового генератора входят: стандартный двигатель внутреннего сгорания, внешние смесеобразование и искровое зажигание горючего вещества в камере сгорания. Схема работы данного устройства работает по циклу Отто. Газ подается с баллона, либо с магистрали (природный), подается горючее вещество в ДВС. При возгорании газа в ДВС возникает вращающий момент (механическое движение вала двигателя), передающийся на электрический генератор (происходит выработка электроэнергии). Генератор, от такого воздействия, в свою очередь, вырабатывает напряжение для однофазных или трехфазных потребителей [2].

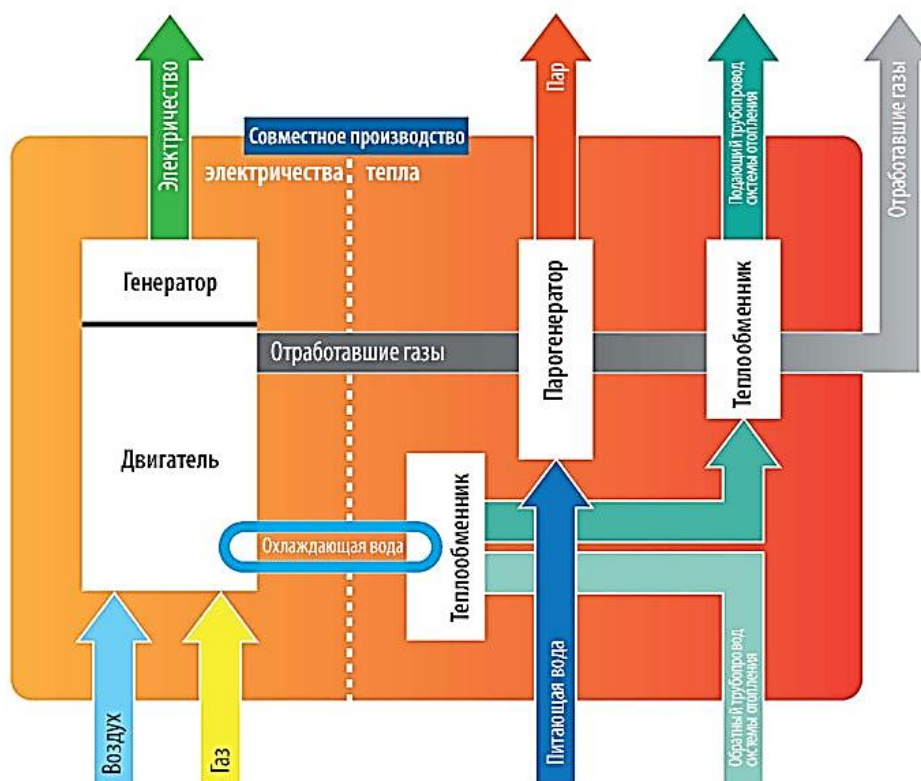


Рис.1 - Рабочая схема системы

Классификация газовых устройств:

По виду применяемого электростанции делятся на 2 вида:

1. Газовые генераторы, работающие на сжиженном газу. Обычно имеют маленькую мощность, функционируют порядка 15-20 часов. Газ подается с помощью газгольдера или же баллона.

2. Генераторы, которые работают на природном газе. Подключаются к магистральному газопроводу, при небольшом давлении газа устройство вырабатывает энергию на максимальной мощности.

В зависимости от длительности автономной работы газовые бывают:

1. Резервные устройства. Периодически отключаются после нескольких часов непрерывной работы для остывания, промежутки времени отключения составляет около 2 часов. В основном такие приборы используют, как аварийные источники питания.

2. Постоянные генераторы. Используются как единственный или основной источник энергии.

Газовые электростанции по типу генератора делятся на:

1. Однофазные генераторы. Применяются в качестве источника питания для однофазных энергопотребителей. Для примера: данные приборы снабжают большой дом электроэнергией в течении нескольких часов.



2. Трехфазные генераторы. Используются как источники питания электрических приборов, работающих от сети с напряжением 380В.

Изучаемая модель относится к однофазным газовым генераторам, которые работают на природном газе и используются, как основной источник энергии. При обеспечении объектов электроэнергией, получаемой данным способом, вырабатывается некоторое количество тепловой энергии, а также выбрасываются отработавшие газы, которые после охлаждения могут быть использованы в качестве удобрения для ускоренного развития растений, возможности получения ранних овощей, увеличения сбора зеленой массы и цветов. Исследован газовый генератор Green Power CC 5000 AT-NG/LPG/220, который имеет следующие характеристики (таблица 1):

*Таблица 1. Характеристики выбранного газового генератора*

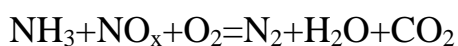
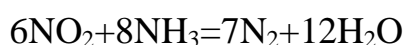
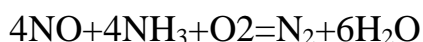
Тип установки	Напольный
Тип Топлива	Природный газ
Производитель	Китай
Габариты, размер (В×Ш×Г), мм	580×580×700
Масса, кг	88,5
Давление природного газа на входе, мБар	20-60
Расход магистрального газа при макс. мощности, м <sup>3</sup> /час	1,67
Электрическая мощность, Вт	4200
Напряжение в сети, В	220

Данная установка, может работать как на природном, так и на сжиженном. Но исследования проводятся для газового генератора, подключенного к магистральной сети. Исследуемый газовый генератор при выработке только электроэнергии имеет КПД около 30%. Опираясь на проведенные работы Энергетическим институтом имени Г. М. Кржижановского и Институтом физиологии растений имени К. А. Тимирязева АН СССР в начале XX века, предложено использование когенерационной схемы. Рабочая схема системы: генерирующая установка, которая вырабатывает электроэнергию и утилизирует тепло систем смазки и охлаждения. Одновременно с этими процессами будут выброшены продукты горения. Для дальнейшего использования

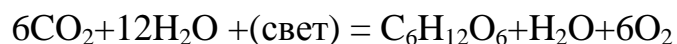
отработавшие газы проходят очистку и охлаждаются в обычном теплообменнике до допустимой температуры (около 50 °С). С помощью специальных лопастных турбовениляторов происходит смешивание с воздухом в теплице, в итоге смесь доставляется непосредственно к основаниям растений.

Мочевина, то есть карбамид или гидразин углерода, получается в процессе реакции между жидким аммиаком  $\text{NH}_3$  и углекислым газом  $\text{CO}_2$ . При взаимодействии с продуктами горения мочевины разлагается до аммиака, который, в свою очередь, вступая в реакцию с оксидами азота, превращает их в азот  $\text{N}_2$ .

Химический процесс:



После очистки углекислый газ поступает в теплицу, где смешивается с воздухом и в процессе фотосинтеза поглощается растениями:



После проведенных экспериментов оказалось возможным использование продуктов сгорания газообразного топлива даже с повышением содержания углекислого газа в теплицах и доведением концентрации углекислого газа с 0,03% в воздухе до 0,3% в атмосфере установок защищенного грунта. Такое выгодное использование газового генератора приводит и к экономии использования углекислого газа, то есть одного из важных удобрений, который способствует быстрому росту растений и созреванию плодов. Таким образом, использование отработавших газов газового генератора при выработке электрической энергии способствует развитию аграрных хозяйств. Когенерационная установка увеличивает КПД генератора до 80-90%, так как тепло, теряющиеся через выхлопные газы, используется в качестве удобрения, помимо этого теплица снабжается горячей водой от генерирующей установки [3].

Преимущества использования газовых генераторов [4]:

- Рассматриваемая модель применяемого газового генератора стабильно работает в широком температурном диапазоне, примерно от -50 до +50 °С. Конструкции не требует обустройства помещения, то есть достаточно навеса, предохраняющего от контакта с

атмосферной влагой. Единственное, что обязательно – устройство заземления.

- Требования к хранению топлива также являются огромным преимуществом. Газ хранится неограниченное время, в то время как бензин, например, через полгода теряет свое октановое значение, а в смеси появляется осадок в результате расслоения.

- Более длительный срок службы. А также реже нуждается в ремонте, так как используется более чистое топливо в системе отсутствует риск скопления нагара, приводящего к периодическим чисткам узлов.

- Моторесурс достигает 2 тысяч моточасов без капитального ремонта.

- Безвредность процесса получения энергии, то есть при сгорании топлива не выбрасываются выхлопные газы, которые наносят ущерб природе.

Газовый генератор с применением теплиц – это современное решение, которое позволяет не только автономно производить электрическую энергию, но и использовать продукты сгорания природного газа. В качестве органического удобрения возможно применение отработавших газов, которые способны стимулировать рост растений. То есть одновременно вырабатывая тепловую и электрическую энергию, такая система способна обеспечивать топливную эффективность более 80% по сравнению с 30% эффективности стандартного применения газового генератора без когенерационной схемы. Стандартный срок окупаемости данных систем составляет менее 3–4 лет.

#### **Список использованных источников:**

1. Газета «Энергетика и промышленность России. 20 лет в отрасли» статья «Когенерация...для теплиц», В. Беляков, Д. Сазонов.
2. Н.Э. РАМБУШ, «Газогенераторы», Гонти 1939г.
3. В. Н. Клименко, А. И. Мазур, П. П. Сабашук, «Когенерационные системы с тепловыми двигателями», Киев, 2008 г.
4. <https://top-generators.ru/catalog/generator/gazovye/ustroystvo-gazovogo-generatora/>

© А.П. Полозкова, 2021

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА ПЛАСТИНЫ ИЗ TiNi

студент гр. 512 Губский Тимофей Николаевич,

студент гр. 512 Ильяхунов Тимур Азаматович

Науч. руководитель:

канд. физ.-мат. наук, доцент Демина Маргарита Юрьевна

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Целью этой работы является исследование поперечного изгиба пластины из никелида титана. Также в работе рассмотрены функциональные и механические характеристики материалов с термоупругими мартенситными превращениями, характеристические температуры и факторы, влияющие на их величину.

**Ключевые слова.** «Смарт»-материалы, сплавы с памятью формы, эффект памяти формы, мартенситные превращения, никелид титана.

## STUDY OF TRANSVERSE BENDING OF TiNi PLATE

Gubsky Timofey Nikolaevich,

Ilyakhunov Timur Azamatovich

**Abstract.** The aim of this work is to study the transverse bending of a titanium nickelide plate. The paper also considers the functional and mechanical characteristics of materials with thermoelastic martensitic transformations, characteristic temperatures and factors affecting their magnitude.

**Keywords.** Smart-materials, shape memory alloys, shape memory effect, martensitic transformations, titanium nickelide.

В последние десятилетия наблюдается стремительно развитие нового поколения материалов, называемых «умными» или «смарт»-материалами. Такие материалы обладают дополнительными свойствами, расширяющими их структурные возможности, при изменении внешних воздействий. К внешним относятся механические, температурные, световые воздействия,

действия электрического или магнитного полей, изменения параметров среды, в которой находится материал.

К интеллектуальным или «смарт»-материалам относятся сплавы с памятью формы, которые обладают свойством восстанавливать при нагревании значительные деформации, причем при значительных противодействующих усилиях. Эта способность материалов с памятью формы применяется в устройствах и элементах конструкций разного назначения: датчиках температуры и давления, преобразователях теплового или электрического сигнала в механический и т.п. Элементы, выполненные из сплавов с памятью формы, могут иметь форму пружины, пластины, стержня или более сложную конфигурацию. Для таких элементов характерна нелинейная зависимость больших перемещений от внешних сил, при этом деформации самого материала остаются малыми и материал работает упруго [1-2].

Пластины из никелида титана, наиболее известного сплава с памятью формы, применяются в медицине при фиксировании переломов кости. В технике встречаются конструкции, в которых стержень или тонкая полоска сильно изгибаются при работе материала в пределах упругости, например, гибкие токоподводы к подвижным частям в электромеханических системах (в гироскопических приборах), детали клапанов, гибкие упругие связи, движущиеся элементы (аккумуляторы потенциальной энергии), механические датчики нелинейных зависимостей или выпрямители нелинейных зависимостей. В процессе изгиба тонкой детали сильно изменяется ее первоначальная конфигурация, причем перемещения при изгибе становятся соизмеримыми с размерами самой детали.

Эффект памяти формы проявляется вследствие фазовых аустенитно-мартенситных переходов с обратимым изменением размеров кристаллов новой фазы при изменении температуры или механического напряжения. Экспериментальные исследования температурно-деформационного поведения элементов из сплавов с памятью формы представляют особый интерес, т.к. на основе опытных данных строятся теоретические модели изделий из памяти формы, а также верифицируются полученные расчетные результаты [3-4].

В данной работе проведено экспериментальное исследование плоского изгиба прямоугольной пластины толщиной  $h = 0,60 \pm 0,05$  мм, шириной  $b = 18,31 \pm 0,08$  мм и длиной  $l = 77,16 \pm 0,08$  мм, выполненной из эквиатомного никелида титана с температурами фазовых переходов  $M_n = 62$  °С,  $M_k = 30$  °С,  $A_n = 44$  °С,  $A_k = 72$  °С. Моменты инерции прямоугольного сечения составляют  $J_x = bh^3/12 = 0,33$  мм<sup>4</sup> и  $J_y = hb^3/12 = 306,93$  мм<sup>4</sup>, следовательно, наименьшая и наибольшая жесткость сечения пластинки на изгиб при модуле упругости мартенсита  $E_m = 30$  ГПа равны соответственно  $EJ_x = 0,01$  Нм<sup>2</sup> и  $EJ_y = 9,21$  Нм<sup>2</sup>.

Пластину предварительно отжигали при температуре 500 °С в течение часа в заневоленном состоянии между плоскими железными брусками.

Затем выполняли опыты по термоциклированию пластины в температурных интервалах мартенситных переходов под постоянной нагрузкой. Для этого пластину заземляли жестко по одной из коротких сторон, нагревали в свободном состоянии до температуры 90 °С, нагружали постоянной сосредоточенной силой  $P$ , приложенной к противоположному незакрепленному концу, и охлаждали под нагрузкой до температуры ~24 °С. Значения нагрузки в опытах составляли  $P$ : 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 Н. Последующий нагрев пластины до 90 °С выполняли при помощи инфракрасной лампы ИКЗ электрической мощностью 250 Вт (рис. 1). При охлаждении под нагрузкой пластина изгибалась в вертикальной плоскости, изменяя кривизну (рис. 2), при нагреве под нагрузкой плоская форма восстанавливалась. Измеряли в процессе термоциклирования смещение незакрепленного конца пластины по вертикали  $y_{max}$  и горизонтали  $z_{max}$ , а также рассчитывали максимальное смещение от начального положения пластины  $r_{max} = \sqrt{y_{max}^2 + z_{max}^2}$  (рис. 3).

Зависимость максимального перемещения незакрепленного конца пластины от приложенной нагрузки приведена на рис. 4 и показывает, что даже при небольших нагрузках  $P=0,2$  Н максимальное перемещение имеет значительную величину  $r_{max} = 65$  мм при длине пластины  $l = 77,16$  мм.

При последующем увеличении нагрузки в термоцикле максимальное смещение достигает наибольшего значения и далее не возрастает (рис. 5).

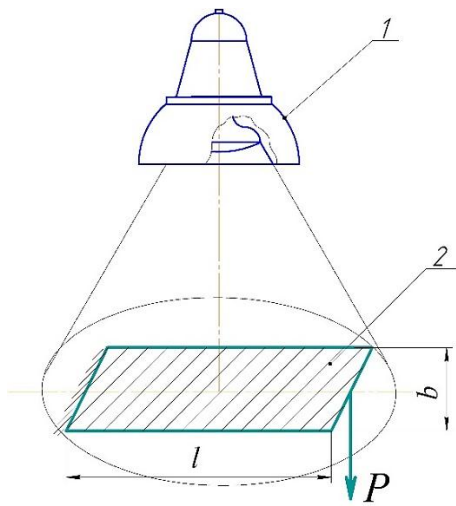


Рис. 1 - Схема установки

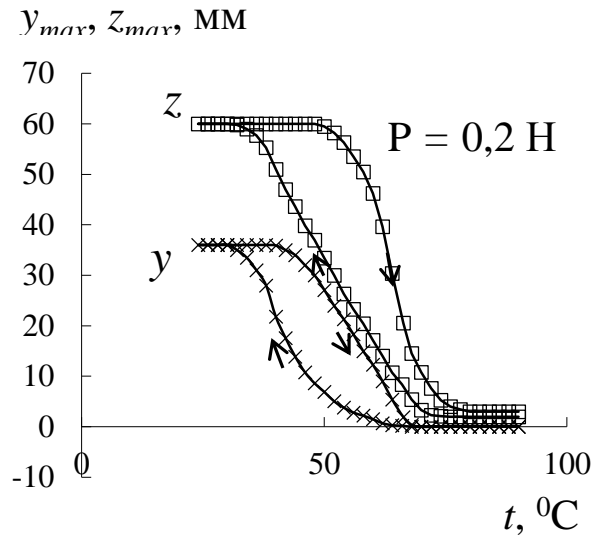


Рис. 2 - Температурно-деформационный гистерезис пластины под нагрузкой

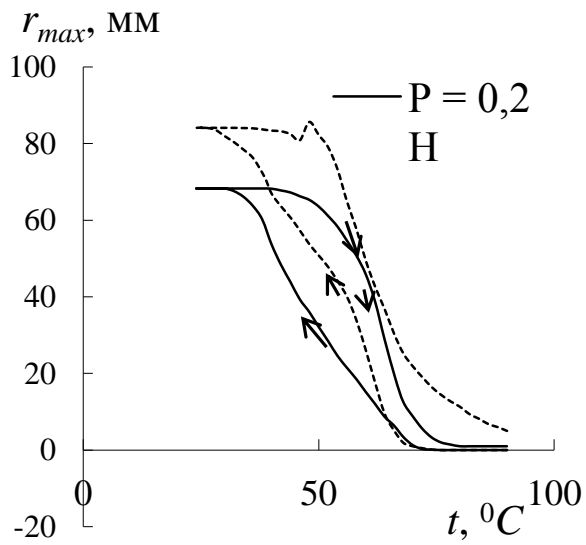


Рис. 3 - Температурная зависимость смещения незакрепленного конца пластины при термоциклировании под нагрузкой

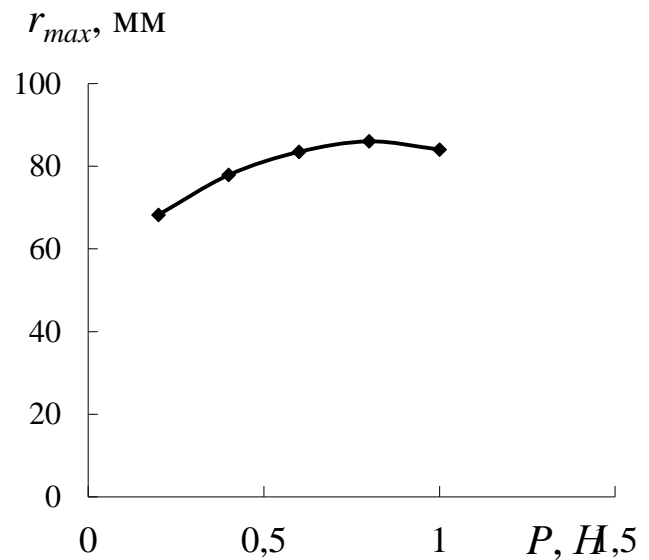


Рис. 4 - Зависимость максимального перемещения незакрепленного конца пластины от приложенной нагрузки

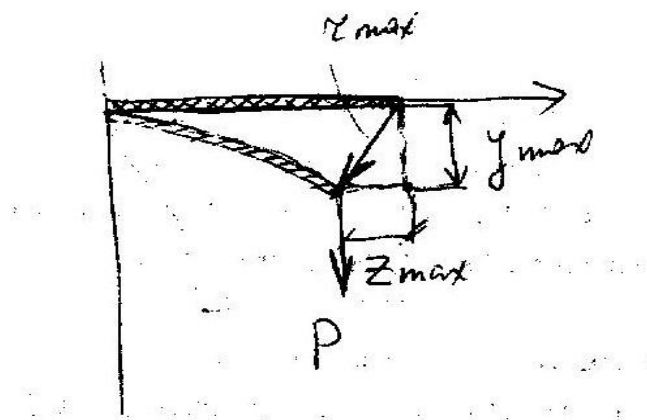


Рис. 5 - График изменения изгиба пластинки

### Список использованных источников:

1. Belyaev S., Resnina N., Borisov V., Lomakin I., Rubanik V., Rubanik V., Rubanik O. Functional properties of bimetal composite of "stainless steel - TiNi alloy" produced by explosion welding // Physics Procedia. - 2010. - №10. - P. 52-57.
2. Belyaev S., Evard M., Lomakin I., Resnina N., Volkov A., Rubanik V. Functional properties of shape memory bimetal plate // Materials Today: Proceedings 2S. 2015. P.723-726.
3. Belyaev S., Resnina N., Lomakin I., Rubanik V. Functional properties of 'Ti<sub>50</sub>Ni<sub>50</sub>-Ti<sub>49,3</sub>Ni<sub>50,7</sub>' shape memory composite produced by explosion welding // Smart Materials and Structures. 2014. Т. 23, №8. 085029 (8 pp).
4. Моторин А.С. Функционально-механические свойства никелида титана при высокоскоростном растяжении / автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. СПбГУ. 16.03.2016.

© Т.Н. Губский, Т. А. Ильяхунов, 2021



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В КАЛОРИФЕРАХ  
ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

аспирант **Комаревцев Михаил Андреевич**,

Науч.руководитель: канд. техн. наук, доц. **Новожилова Анна Владимировна**  
Высшая школа энергетики, нефти и газа САФУ,  
г. Архангельск, Российская Федерация

**Аннотация.** Проведение экспериментов по изучению развитых поверхностей теплообмена при естественной конвекции требует большого количества временных затрат. В статье рассмотрено влияние установки National Instruments DAQ NI-9211 в экспериментальную схему. Представлены отклонения результатов эксперимента при измерении в идентичных условиях, а также сравнение результатов, полученных в предыдущих экспериментах с результатами при использовании National Instruments DAQ NI-9211.

**Ключевые слова.** Калорифер, естественная конвекция, биметаллическая ребристая труба, лесосушильная камера.

**EXPERIMENTAL SETUP FOR STUDYING HEAT EXCHANGE  
SURFACES IN AIR HEATERS OF TIMBER DRYING CHAMBERS  
UNDER NATURAL CONVECTION**

**Komarevtsev Mikhail Andreevich**

**Abstract.** Carrying out experiments to study developed heat transfer surfaces during natural convection requires a large amount of time labor. This article discusses the impact of installing the National Instruments DAQ NI-9211 on the experimental circuit. The deviations of the experimental results when measured under identical conditions are presented, as well as a comparison of the results obtained in previous experiments with the results using the National Instruments DAQ NI-9211.

**Keywords.** Air heater, natural convection, finned tube, timber drying chamber.

Конвективная сушка древесины – один из важнейших этапов производства изделий из дерева. Она улучшает механические и технологические свойства древесины, обеспечивает защиту древесины от насекомых и грибков. Сушка является одним из энергоемких технологических процессов. Энергозатраты могут достигать 80 % от общих энергетических затрат предприятия, что оказывает значительное влияние на стоимостную и качественную характеристику готового изделия [1].

В зависимости от режима сушки и конструкции лесосушильной камеры определяется время достижения заданного содержания влаги в древесине.

Для качественной сушки применяют нормативные режимы сушки, поддерживаемые с помощью системы регулирования температуры и влажности агента сушки. Стандартные режимы координированы по влажности древесины. В зависимости от требований, предъявляемых к качеству древесины, пиломатериалы высушивают при различных режимах. На практике обычно применяют режимы низкотемпературного и высокотемпературного процессов. Режимы низкотемпературного процесса предусматривают использование в качестве сушильного агента влажного воздуха с температурой в начальной стадии сушки до 100 °С.

Вопросы аэродинамики лесосушильных камер, влияния скорости и равномерности распределения сушильного агента в штабеле постоянно совершенствуются [2].

В [3] при импульсной сушке выделяются стадии разделения постоянной вынужденной конвективной сушки на процесс «импульс» и «пауза». Во время процесса «импульс» происходит вынужденная конвективная сушка с интенсивным процессом испарения влаги с поверхности материала. Процесс «пауза» характеризуется отсутствием циркуляции и теплоснабжения в рабочей области.

В [4] рассматривается возможность применения прерывистой циркуляции воздуха. Общее время сушки по ступеням режима делится на циклы прогрева материала и его охлаждения по нормативной их продолжительности, таким образом регулируется интенсивность влагопереноса от древесины к сушильному агенту.

Проведенный анализ показывает, что в процессах сушки древесины предлагается использовать естественную конвекцию, как вид теплообмена между сушильным агентом и теплообменным аппаратом, поверхностью теплообмена в котором являются оребренные трубы.

Для исследование свободно-конвективного теплообмена на биметаллических ребристых трубах (БРТ) была собрана экспериментальная установка представленная на рисунке 1.

Модель экспериментального пучка (1) представляет собой ребристые трубы (9), закрепленные между двумя трубными досками (10), которые жестко скреплены стальными анкерными стяжками. Пучок труб, расположенный вертикально, составлен из двух рядов по пять горизонтальных обогреваемых труб коридорной компоновки и с помощью подвесов устанавлен в камере (2).

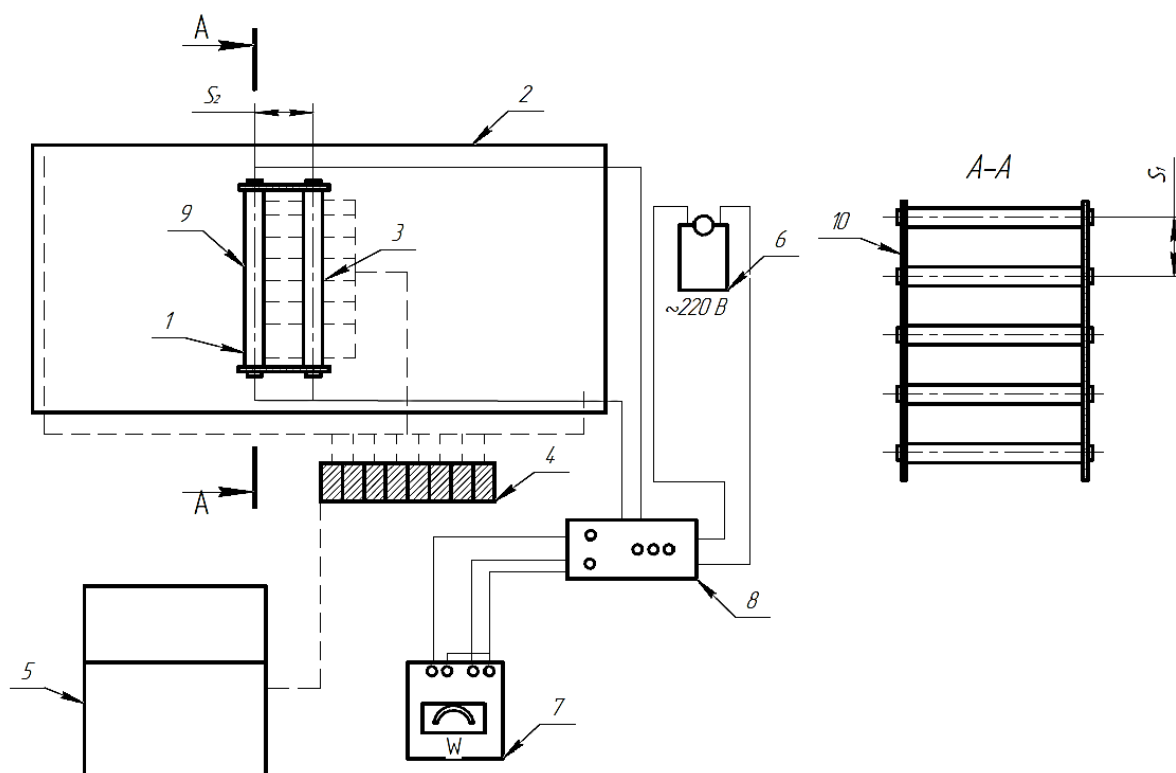


Рис. 1 – Схема экспериментальной установки

На наружной поверхности труб-калориметров у основания ребра были зачеканены 30 протарированных хромель-копелевых термопар (3). Две термопары были размещены в диагонально противоположных углах камеры для фиксации показаний температу воздуха в камере. Трубы обогревались электрическим током. Электричество подводилось от однофазной сети 220В через регулятор напряжения (6) РНО-250-10. Мощность, подаваемая на калориметры, регистрировалась ваттметром (7) марки Д5107 класса точности 0,1 через блок переключателей (8). Нагревательные элементы всех труб пучка соединялись между собой в параллель и имели практически одинаковое электрическое сопротивление.

Все термопары с помощью National Instruments DAQNI-9211 (4) подключены к компьютеру (5). Описание и принцип работы National Instruments DAQNI-9211 приведены в работе [5].

Эксперименты по естественно-конвективной теплоотдаче к воздуху на пучках ребристых труб проводились в условиях полного теплового моделирования, который подразумевает обогрев всех труб. Измерения производились на калориметрах, на которых были установлены термопары. Всего калориметров в пучке 6, на каждом из которых установлено по 5 термопар. Время проведения опыта для получения данных на каждой мощности 1,5-2 ч. Снятие данных одновременно стало возможно благодаря автоматизации этого процесса.

Перед началом проведения опыта осуществляется осмотр схемы подключения нагревателей труб и приборов. Подключается компьютер и вносятся константы эксперимента, к ним относятся:

- мощность, устанавливаемая во время опыта;
- константы уравнения взаимодействия National Instruments DAQNI-9211 и термопар;
- интервал опроса значений с термопар.

Ввиду отсутствия хромель-копелевых термопар в базе данных модуля DAQ NI-9211 потребовалось провести сопоставление значений, показываемых модулем и протарированных термопар. Опыты по согласованию результатов измерений модуля DAQ NI-9211 проводились на установке [6] на однорядном пучке при межтрубном расстоянии 70 мм.

После включения в сеть однофазного регулятора напряжения задавали электрическую мощность, подводимую к пучку труб. Значения температур с заданной периодичностью вносятся в журнал наблюдений (Excel-file). После 1,5...2 часов эксперимента проводится проверка журнала на предмет наступления установившегося теплового режима, при наступлении его эксперимент считается завершенным.

Результаты измерения с помощью DAQ NI-9211 и полученной зависимости были сопоставлены со значениями термопар, находящихся в тех же условиях, что и подключенные к DAQ NI-9211. Диапазон абсолютных отклонений не превышает  $\pm 1,5$  °С, а относительных отклонений не превышает  $\pm 2$  % (рисунок 2).

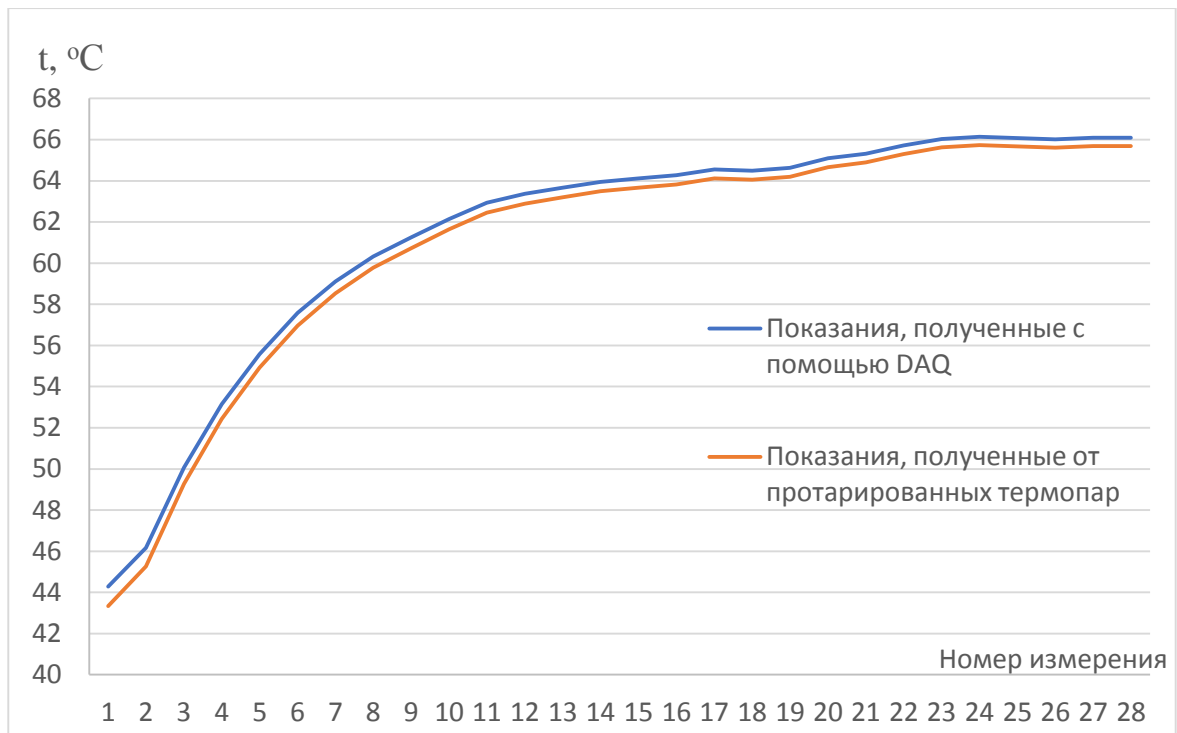


Рис. 2 – Сопоставление значений, полученных с помощью DAQNI-9211, со значениями протарированных термопар

В результате была получена зависимость показаний модуля DAQ NI-9211 от показаний протарированных термопар, представленная на рис. 3.

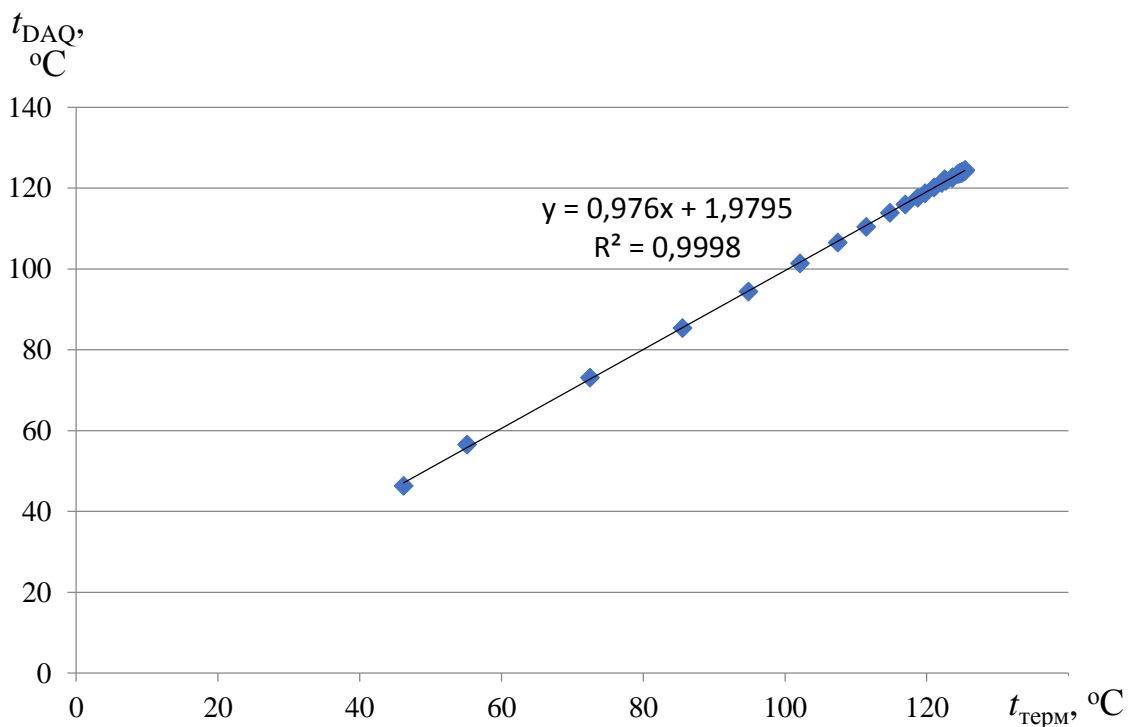


Рис. 3 – Поправочное уравнение для DAQNI-9211

Следующим этапом подтверждения достоверности показываемых значений было сравнение средних значений температур, измеренных с помощью DAQ NI-9211 со средними значениями температур из предыдущих экспериментов. Поскольку в прошлых экспериментах измерения температуры производились единоразово в момент установления стационарного теплового режима, когда показания милливольтметра в течение 10 минут не изменялись, то проводить сравнение на протяжении всего времени прогрева не представляется возможным. В этой связи сравнивались средние значения температур по трубке при установившемся режиме. Для этих целей были выбраны трубки 3 и 5 из [6] и повторены опыты для шага 70 мм. Полученные данные представлены в таблице.

Таблица 1. Согласование опытов

W, Вт	Показания						Среднее значение температуры предыдущего эксперимента, °С	Среднее значение температуры полученной с помощью DAQ	Абсолютное отклонение, °С	Относительное отклонение, %
5 трубка										
20	55,3	55,1	57,3	57,6	57,5	57,1	56,69	56,29	0,40	0,70
70	110,0	110,4	118,3	120,0	117,8	114,3	115,15	113,33	1,83	1,59
3 трубка										
20	57,11	55,44	59,89	58,92	59,47	57,94	58,13	57,81	0,32	0,55
70	110,0	105,41	116,13	113,9	115,29	111,5	112,04	117,75	-5,71	-5,09

Сравнение значений показывает, что данные согласуются хорошо, за исключением значения для мощности в 45 Вт для третьей трубки, это может быть связано с особенностью проведения эксперимента.

В заключении следует отметить, что была усовершенствована и автоматизирована экспериментальная установка для исследования свободной конвекции ребренных поверхностей теплообмена, которые используются в калориферах лесосушильных камер, а также в энергетических установках. Погрешность измерений температур с DAQ NI-9211 по сравнению с измерением с помощью милливольтметра не

превышает  $\pm 2\%$ . Благодаря применению DAQ NI-9211 удалось одновременно подключить 32 термопары и вносить результаты измерений в автоматическом режиме. Это позволяет исключить ошибки при занесении экспериментатором результатов измерений в журнал измерений, а также расширить возможности проведения экспериментов.

#### **Список использованных источников:**

1. Кречетов И.В. Сушка древесины: учебник для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 427 с.
2. Кунтыш В.Б., Позднякова А.В., Мелехов В.И. Теплоотдача естественной конвекцией одиночного ряда вертикальных оребренных труб калориферов лесосушильных камер // Известия вузов. Лесной журнал. – 2002. – № 2. – С. 116-121.
3. Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. No 1. С. 69–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-69-73.
4. Михеев А.А. Способ комбинированной циркуляции в лесосушильной камере // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. С. 202–205.
5. Новиков Н.С. Использование NI-COMPACTDAQ для получения и обработки данных с датчиков // Достижения вузовской науки 2021 – Пенза: Издательство «Наука и Просвещение» – 2021. – С.39-42.
6. Новожилова А.В., Комаревцев М.А. Исследование теплообмена вертикального пучка оребренных труб при естественной конвекции // Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. - 2019. – С.119-124.

© М.А. Комаревцев, 2021

## ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ОТВОДА ВЛАГИ ВО ВЛАЖНОПАРОВЫХ ТУРБИНАХ

студент гр. 431 **Зверев Леонид Олегович**,  
Науч. руководитель: канд. техн. наук, доц. **Злобин Владимир Германович**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Отвод влаги может существенно снизить механические потери во влажнопаровых турбинах, ослабить эрозийное разрушение. Особенно важно значение имеет удаление крупнодисперсной влаги, так как сильная эрозия происходит под влиянием крупных капель, которые вызывают значительные механические потери.

В данной статье рассмотрены инновационные способы отвода влаги во влажнопаровых турбинах. Применение данных мероприятий позволяет снизить значение влажности пара с 50 до 40 % на выходе из последней ступени. Указанные мероприятия позволят повысить эрозионную надежность лопаточного аппарата, КПД установки и мощность турбоустановки.

**Ключевые слова.** Влажнопаровая турбина, влага, цилиндр низкого давления, рабочие лопатки, эрозия.

## INNOVATIVE WAYS TO REMOVE MOISTURE IN WET STEAM TURBINES

**Zverev Leonid Olegovich**

**Abstract.** Moisture removal can significantly reduce mechanical losses in humid steam turbines, weaken erosion destruction. The removal of coarse moisture is especially important, since strong erosion occurs under the influence of large droplets, which cause significant mechanical losses.

This article discusses innovative ways to remove moisture in wet steam turbines. The use of these measures makes it possible to reduce the value of steam humidity from 50% to 40% at the outlet of the last stage. These measures will improve the erosional reliability of the blade apparatus, the efficiency of the unit and the power of the turbine unit.



**Keywords.** Wet steam turbine, moisture, low pressure cylinder, working blades, erosion.

Энергоблоки атомных (АЭС) и тепловых электростанций (ТЭС) сильно проигрывают в экономичности из-за достаточно низких значений термического и внутреннего относительного КПД [1-4].

Определяющим критерием надежности работы цилиндров низкого давления (ЦНД) мощных паровых турбин служит последняя ступень. Отечественные последние ступени ЦНД отличаются надежностью и экономичностью. Однако, каждый следующий шаг к более высоким показателям последних лопаток дается со значительными трудностями.

Повышение влажности в процессе расширения приводит к снижению внутреннего относительного КПД в турбинах АЭС [5, с.16-17].

Присутствие влажности в последней ступени ЦНД турбины, вызывает эрозию, влияет на надежность их работы. Вопросы, связанные с конденсационной нестационарностью, заставляют более внимательно взглянуть на формирование отсека ступеней ЦНД и, прежде всего, отсека из двух последних ступеней, так от наличия влажности зависит надежность их работы [6, с.10].

В последних ступенях ЦНД турбины, работающих в области влажного пара, при работе турбин на частичных режимах наблюдаются мощные срывные явления, которые могут возникнуть под влиянием большого числа факторов, в том числе значительно влияющих на характеристики потоков [7, с.333-334].

Во влажнопаровом потоке следует учитывать положение линии Вильсона на  $i-s$  диаграмме водяного пара (рис.1). В области до линии Вильсона на номинальном режиме оказывается предпоследняя ступень, а за линией Вильсона — последняя в отсеке ступеней ЦНД.

Предпоследняя ступень ЦНД находится в зоне начальной конденсации с сопутствующими явлениями: коррозией, колебаниями параметров потока в зоне интенсивной конденсации. Для предпоследней ступени ЦНД турбины характерны: существенное переохлаждение потока, увеличение потерь энергии. В предпоследней ступени ЦНД формируется структура потока, натекающего на последнюю ступень. Свобода проектирования предпоследней ступени ЦНД турбины связана и значительно ограничена условиями работы последней ступени.

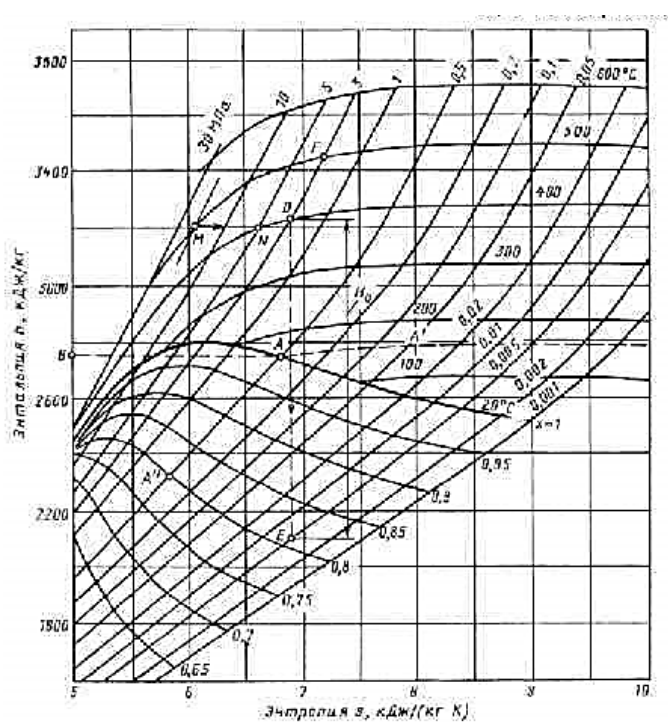


Рис.1- Линия Вильсона на *i-s* диаграмме водяного пара

По результатам многочисленных опытов [9, с.87-88] показано, что даже в неподвижных решетках, а тем более в турбинах, всегда наблюдаются пульсации потока. При испытаниях на воздушных стендах, это небольшие пульсации полного давления, с амплитудой до 1–2 %. При таких невысоких значениях пульсации потери энергии в ступени определяются обычными расчетными методами. Во влажнопаровых потоках колебания на порядок выше, чем в ступенях, работающих на перегретом паре.

По этой причине процессы, протекающие в последнем отсеке ЦНД, работающем на перегретом и на влажном паре, существенно различаются между собой. Различие особенно видны в сверхкритических потоках, характерных для мощных турбин, поэтому и возникают значительные потери энергии [8, с.135].

В 2018 году в промышленную эксплуатацию был запущен энергоблок №2 ЛАЭС-2 в г. Сосновый бор Ленинградской области. При обследовании внутренней части турбин через 1,5-2 года обнаружено, что на лопатках последних ступеней турбины К-1200-240, работающих на влажном паре, наблюдаются сильные разрушительные процессы.

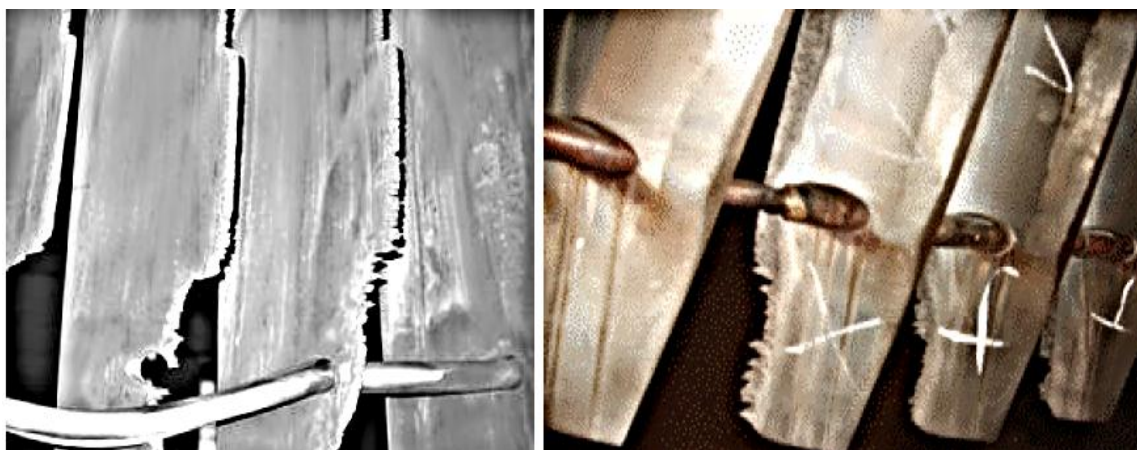
Все ступени турбины К-1200-240, кроме первых двух ступеней ЦНД, работают на влажном паре. Влага присутствует в потоке пара в виде тумана, капель и пленки, движущихся по поверхностям подвижных и неподвижных элементов проточной части и, срывающихся в виде струй и

капель. Капли влаги снижают внутренний относительный КПД турбины К-1200-240, приводят к торможению потока пара, а также вызывают эрозию проточной части.

Эрозионный износ рабочих лопаток при ударах капель влаги о поверхность входных кромок первоначально проявляется в виде шероховатости, далее на поверхности появляются углубления, кратеры, язвины, и даже искажается форма профиля лопаток. На рис. 2 и 3 представлены подверженные эрозии лопатки паровой турбины К-1200-240.



*Рис. 2 - Поврежденные лопатки турбины К-1200-240*



*Рис. 3 - Эрозионное разрушение лопаток турбины К-1200-240*

Для защиты лопаток паровой турбины типа К-1200 от эрозионного разрушения в настоящее время на ЛАЭС-2 используются следующие способы:

- снижение влажности пара на выходе из турбины, за счет применения промежуточного перегрева пара;
- применение влагоулавливающих устройств в проточной части турбины (внутриканальная сепарация, влагоулавливающие устройства на периферии ступени и т.п.);

- применение эрозионно-стойких материалов, упрочнение поверхности лопаток, использование защитных покрытий.

Защита проточной части от эрозии в основном осуществляется за счет повышения твердости на участках, наиболее подверженных действию влаги.

Для защиты используются следующие методы [10, с.423]: хромирование; местная закалка кромок; напайка пластинок из материала повышенной твердости; электроискровое упрочнение и др.

Рассмотрим мероприятия по снижению эрозионного разрушения рабочих лопаток на примере паровой турбины К-1200-6,8/50 (рис.4).

Паровая конденсационная турбоустановка типа К-1200-6,8/50, с промежуточной сепарацией и двухступенчатым перегревом пара, с рабочей частотой вращения  $3000 \text{ мин}^{-1}$  ( $50 \text{ с}^{-1}$ ) предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2УЗ, монтируемого на общем фундаменте с турбиной.

Турбоустановка предназначена для работы в моноблоке с водоводяным реактором типа ВВЭР-1200 базового блока АЭС с ВВЭР-1200 и работает на насыщенном паре с параметрами перед турбиной:  $P = 6,8 \text{ МПа}$  ( $69,4 \text{ кгс/см}^2$ ), температура –  $283,5...283,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , влажность –  $0,5 \%$ .



*Рис. 4- Турбина К-1200-6,8/50*

Турбина К-1200-6,8/50 представляет собой одновальный пятицилиндровый агрегат, состоящий из двухпоточного цилиндра высокого давления ЦВД и четырех двухпоточных цилиндров низкого давления ЦНД (рис.5). Принятое расположение ЦВД способствует снижению величин относительных осевых перемещений роторов турбины.

Из камер отбора за 2-й, 3-й и 5-й ступенями каждого из потоков пар отбирается на регенеративный подогрев в ПВД-6, ПВД-5 и деаэратор.

Из выхлопа ЦВД пар отбирается на ПНД-4. Основной расход пара после ЦВД выходит через четыре патрубка и, далее, по четырем трубам направляется в четыре сепаратора-пароперегревателя (СПП). Аппараты СПП расположены попарно с обеих сторон турбины, симметрично относительно передней и задней групп ЦНД каждый.

На каждом из трубопроводов выхода пара из цилиндра высокого давления перед аппаратами СПП предусмотрена установка предвключенного пленочного сепаратора с отводом отсепарированной влаги через разделитель в сепаратосборник.

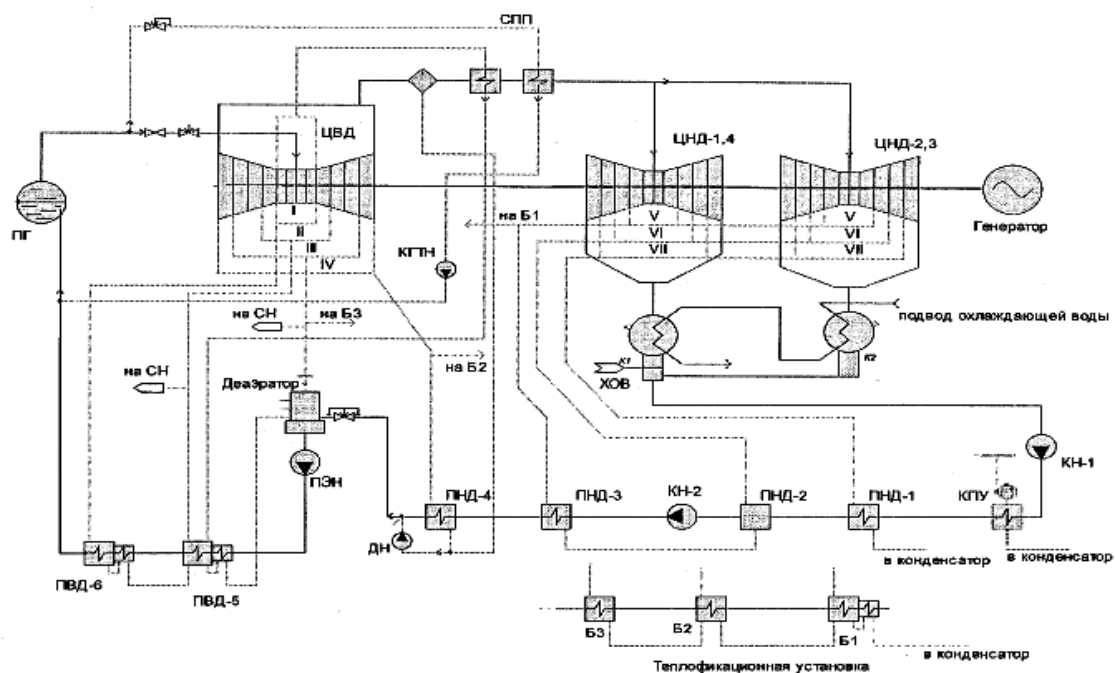


Рис. 5 - Тепловая схема турбины К-1200-6,8/50

Лопаточный аппарат турбины К-1200-6,8/580 имеет некоторые особенности:

- увеличение числа ступеней в ЦВД с 5-ти до 6-ти в каждом потоке;
- применение технологии 3D-проектирования проточной части ЦВД;
- оптимизация выхлопного патрубка ЦВД;
- отработка меридиональных обводов и каналов отборов пара в ЦВД;
- применение более эффективных профилей НЛ 1-5 ступеней ЦНД, выполненных с тангенциальным навалом (при сохранении высот лопаток);
- применение конструкции корпуса ЦНД, обеспечивающей увеличение числа отборов пара из каждого ЦНД с 2 до 3, позволяющее



принять оптимальные решения по организации отборов пара на регенеративные подогреватели;

- применение более развитых надбандажных уплотнений в ЦВД и ЦНД.

Рабочая лопатка 5-й ступени ЦНД выполнена с усиленным профилем, с целью обеспечения увеличения надежности и расширения диапазона её применения для турбин мощностью до 1600 МВт. Данная конструкция предпочтительна в плане эрозионного износа периферийной части пера лопатки, что обусловлено повышением требований к сроку службы турбины (60 лет, вместо 30 лет).

Цилиндр высокого давления турбины, обоймы и диафрагмы выполнены из нержавеющей стали, это мероприятие полностью решило проблему щелевой эрозии, требующей значительных затрат для ремонтных работ во время эксплуатации.

В последней ступени ЦНД турбины предусмотрены мероприятия для повышения надежности:

- повышенный адиабатический теплоперепад;
- повышенные осевые зазоры и внутриканальное удаление влаги – до 25% пленочной влаги в диафрагме последней ступени (активные мероприятия);
- предусмотрено упрочнение входных и выходных кромок пера и бандажей титановых рабочих лопаток методом ионной имплантации с осаждением нитрида титана (пассивная защита).

Предусматривается выполнение бандажей наклонными, для более эффективного удаления крупнодисперсной влаги из проточной части.

Перспективным направлением также является защита путем создания водяной пленки в опасных местах на профиле рабочих лопаток [10, с.232]. Для этого на спинке лопатки делаются продольные пазы, в районе которых задерживается влага, и следовательно, удар капель воды происходит не в металл, а в водяную пленку. Пленка под действием центробежной силы постепенно стекает к вершине лопатки, затем удаляется из камер над рабочими лопатками. Опыт эксплуатации показал, что так можно удалять до 20% влаги на последних ступенях турбины [11, с.111-112].

Как показали результаты проведенных работ [9, с.134-135], влагоудаление «зубчиковыми» лопатками зависит от влажности текущего пара, и давления пара перед ступенью и, чем меньше коэффициент сепарации, тем выше давление и меньше влажность.

Применение данных мероприятий позволяет снизить значение влажности пара с 50 до 40 %. на выходе из последней ступени турбины. Приведенные мероприятия по снижению влаги позволят повысить эрозионную надежность лопаточного аппарата, КПД установки, мощность турбоустановки.

#### **Список использованных источников:**

1. ГОСТ 3618-2016 Турбины паровые стационарные для привода турбогенераторов. Типы и основные параметры. М.: Стандартинформ, 2017. - 7 с.
2. ГОСТ 2.701-2008 ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. М.: Стандартинформ, 2009. - 10 с.
3. Нормы технологического проектирования атомных электрических станций: (ВНТП Минэнерго СССР). - М.: ЦНТИ Информэнерго, 1981. - 141с.
4. ВНТП-81. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций. М.: Минэнерго СССР, 1981. - 46 с.
5. Беляев Л.А. Турбины тепловых и атомных электрических станций. ФГОУ ВПО Томский политехнический университет, Томск, 2009. - 142 с.
6. ГОСТ 4.424-86 Система показателей качества продукции. Турбины паровые стационарные. Номенклатура показателей. М.: Издательство стандартов, 1986. - 14 с.
7. Прочность элементов паровых турбин/ под ред. Л.А. Шубенко-Шубина, М.: Гос. Научно-техн. изд-во. машиностроительной литературы, 1962. – 565 с.
8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. 2019. - 139 с.
9. Луканин П.В., Короткова Т.Ю. Тепловые двигатели для целлюлозно-бумажной промышленности (теория и конструкция паровых турбин): учебное пособие/ СПбГТУ РП. СПб., 2008. - 197 с.
10. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов/ А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухий; под ред. А.Г. Костюка.- М.: Издательский дом МЭИ, 2016. - 557 с.
11. СО 153-34.20.501-2003 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. 4.4. Паротурбинные установки. Приказ Минэнерго РФ от 19.06.2003 № 229. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ, 2019. - 139 с.

© Л.О. Зверев, 2021

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА ТРЕУГОЛЬНИКОМ

студент гр.21219 **Фомин Егор Евгеньевич**,  
канд. физ.-мат. наук., доцент **Тихомиров Александр Андреевич**  
Физико-технический институт ПетрГУ,  
г. Петрозаводск, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной работе рассмотрена задача нахождения токов в генераторе, соединенного треугольником. Проведены расчеты влияния характера нагрузки на распределение токов в источнике питания и его величины.

**Ключевые слова.** Генератор, соединение треугольником, токи, источник питания.

## CURRENT DISTRIBUTION IN THE GENERATOR CONNECTED BY A TRIANGLE

**Fomin Egor Evgenevich,**  
**Tikhomirov Aleksandr Andreevich**

**Abstract.** In this work, the methods of finding currents in a generator connected by a triangle were considered. The question of the current distribution in the power supply and its value when connecting different loads is also considered.

**Keywords.** Generator, triangle connection, currents, power supply.

Вопрос распределения токов в обмотках генератора соединенных в треугольником для нахождения баланса мощности при расчете трехфазных сетей практически не рассматривается в литературе. Исходя из этого, целью данной работы было изучение методов нахождения токов и распределение их в обмотках генератора, соединенного треугольником.

Рассмотрим соединение обмоток генератора и потребителя по схеме треугольником-треугольником, которое представлено на рисунке 1.



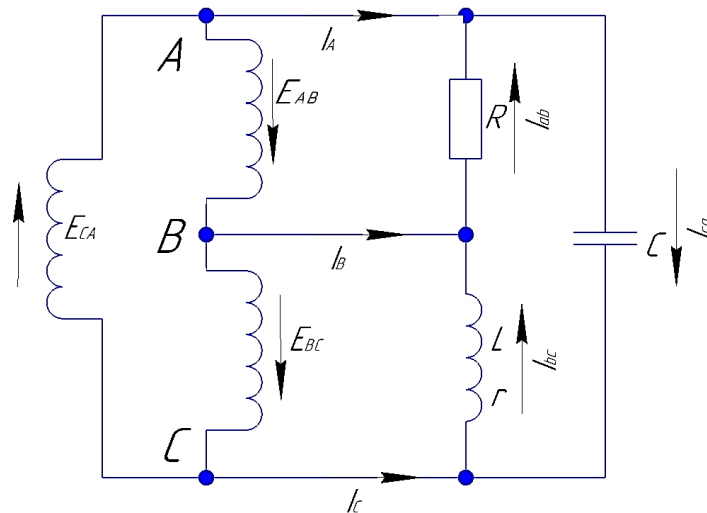


Рис. 1 – Соединение источника питания и потребителя по схеме треугольник-треугольник

Из рисунка 1 следует, что при соединении обмоток генератора по схеме треугольник образуется замкнутый контур. Исходя из того, что на каждой обмотке генератора существует ЭДС и существует замкнутый контур для протекания тока, рассмотрим вопрос величины этого тока.

Так как геометрическая сумма ЭДС трехфазного питания в замкнутом треугольнике равна нулю (рис. 2), поэтому если к зажимам А, В, С не присоединена нагрузка, то по обмоткам генератора не будет протекать ток [1, с. 187]. Это означает, что ЭДС каждой обмотки компенсируется оставшимися другими двумя ЭДС и ток в обмотках генератора отсутствует.

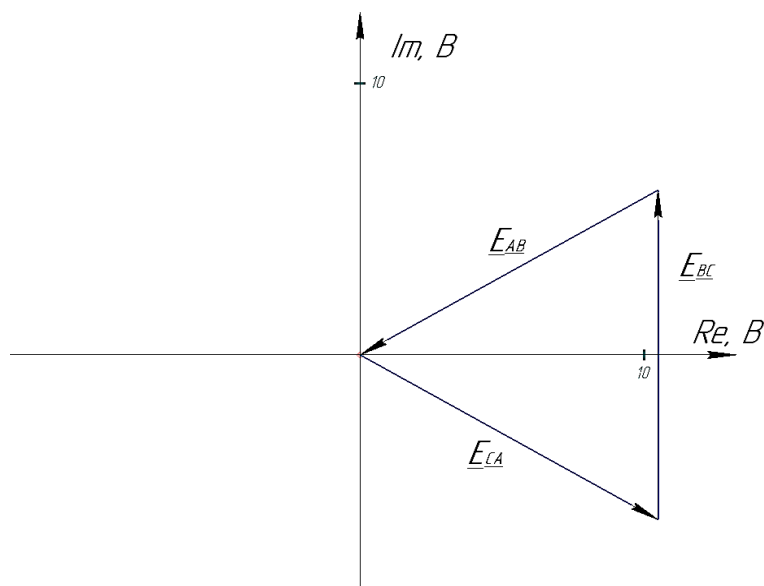


Рис. 2 - Векторная диаграмма напряжений трехфазного источника питания

Рассмотрим токи в обмотках генератора при подключении нагрузки. Отметим, что с помощью составления системы уравнений по первому закону Кирхгофа невозможно найти токи на генераторе через токи в линиях, так как данная система уравнений имеет бесконечное количество решений.

$$\begin{cases} \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{AB} = \dot{I}_A \\ \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{BC} = \dot{I}_B \\ \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{CA} = \dot{I}_C \end{cases}$$

При решении схемы методом узловых потенциалов, также нельзя найти токи в обмотках источника питания, так как конечном счете все сводится к составлению системы уравнений по первому закону Кирхгофа.

Рассмотрим случай подключения к источнику питания, соединённого треугольником, одной активной нагрузки  $R$  к обмотке генератора  $\dot{E}_{AB}$  (рис. 3).

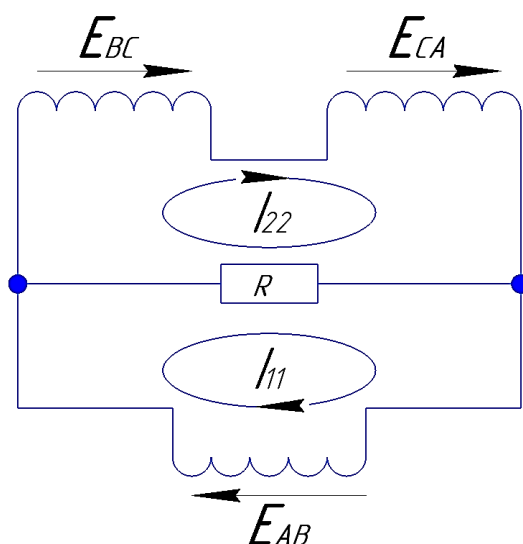


Рис. 3 – Подключение активной нагрузки к трехфазному источнику питания

Тогда значения линейных напряжений можно записать как:  
 $\dot{E}_{AB} = E e^{-j150^\circ} \text{ В},$

$$\dot{E}_{BC} = E e^{j90^\circ} \text{ В}, \quad \dot{E}_{CA} = E e^{-j30^\circ} \text{ В}.$$

Составим систему уравнений методом контурных токов:

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} * R - \dot{I}_{22} * R = \dot{E}_{AB} \\ \dot{I}_{22} * R - \dot{I}_{11} * R = \dot{E}_{BC} + \dot{E}_{CA} \end{cases}$$

$$\dot{I}_{11} = \frac{\dot{E}_{AB}}{R} + \dot{I}_{22}$$

$$\dot{I}_{22} = \dot{I}_{22}$$

$\dot{I}_{22}$ - свободная переменная, тогда  $\dot{I}_R = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{22} = \frac{\dot{E}_{AB}}{R}$

Система уравнений для данной схемы имеет бесконечное количество решений. С помощью нее можно найти ток на потребителе, но невозможно найти токи в обмотках генератора.

Рассмотрим случай соединения источника питания и неравномерной RLC-нагрузки по схеме треугольник-треугольник (рис. 4). Рассмотрим вопрос распределения и величины токов в обмотках генератора.

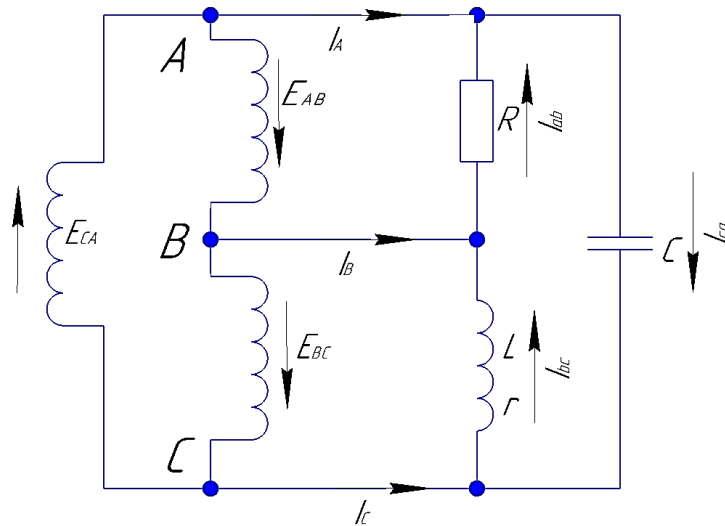


Рис. 4 - Соединения источника питания и неравномерной RLC-нагрузки

Для расчета возьмем конкретные значения:

$\dot{E}_{AB} = 12,12 e^{-j150}$  В,  $\dot{E}_{BC} = 12,12 e^{j90}$  В,  $\dot{E}_{CA} = 12,12 e^{-j30}$  В,  $R = 100$  Ом,  
 $L = 100$  мГн

$r = 239$  Ом,  $C = 1$  мкФ.

Токи на нагрузке:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{E}_{AB}}{R} = \frac{-10,5 - j6,0622}{100} = -105 - j60,622 \text{ мА} = 121,24 e^{-j150} \text{ мА}$$

$$\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{E}_{BC}}{r + j\omega L} = \frac{j12,12}{239 + j31,4} = 6,55 + j49,851 \text{ мА} = 50,28 e^{j82,51} \text{ мА}$$

$$\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{E}_{CA}}{-\frac{j}{\omega C}} = \frac{10,5 - j6,0622}{-j3184,70} = 1,9 + j3,3 \text{ мА} = 3,81 e^{j60,1} \text{ мА}$$

Токи в линиях:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{ab} = 105 + j60,622 + 1,9 + j3,3 = 106,9 + j63,91 \text{ мА}$$

$$\dot{I}_A = 124,55e^{j30,9} \text{ мА}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{bc} = -105 - j60,622 - 6,55 - j49,851 = -111,55 - j110,47 \text{ мА}$$

$$\dot{I}_B = 156,99e^{-j135,28} \text{ мА}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ca} = 6,55 + j49,851 - 1,9 - j3,3 = 4,65 + j46,551 \text{ мА}$$

$$\dot{I}_C = 46,78e^{j84,3} \text{ мА}$$

Токи на источнике питания и в линиях. Выполним преобразование схемы, а именно преобразуем треугольник потребителей в звезду (рис. 5).

$$\dot{Z}_A = \frac{R * \left(-\frac{j}{wC}\right)}{R+r+jwL-\frac{j}{wC}} = \frac{-j3184,7*100}{339-j3153,3} = 99,84 - j10,73 \text{ Ом}$$

$$\dot{Z}_B = \frac{R*(r+jwL)}{R+r+jwL-\frac{j}{wC}} = \frac{100*(239+j31,4)}{339-j3153,3} = -0,1789 + j7,5986 \text{ Ом}$$

$$\dot{Z}_C = \frac{\left(-\frac{j}{wC}\right)*(r+jwL)}{R+r+jwL-\frac{j}{wC}} = \frac{-j3184,7*(239+j31,4)}{339-j3153,3} = 241,99 + j5,697 \text{ Ом}$$

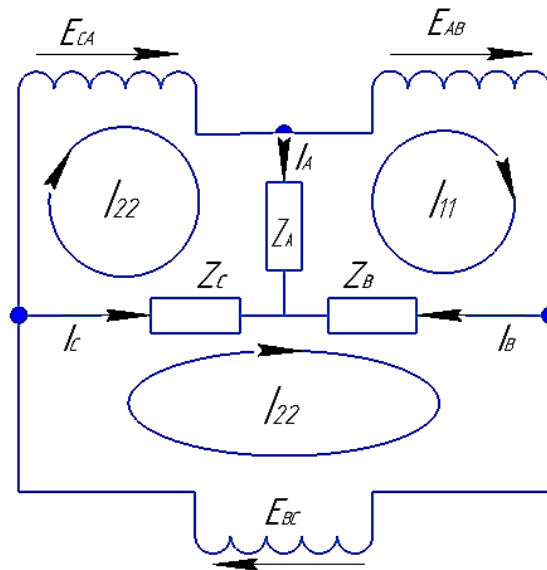


Рис. 5 – Преобразование нагрузок

Система уравнений (Метод контурных токов):

$$\begin{cases} \dot{I}_{11} * (\dot{Z}_A + \dot{Z}_B) - \dot{I}_{22} * \dot{Z}_B - \dot{I}_{33} * \dot{Z}_A = \dot{E}_{AB} \\ \dot{I}_{22} * (\dot{Z}_B + \dot{Z}_C) - \dot{I}_{11} * \dot{Z}_B - \dot{I}_{33} * \dot{Z}_C = \dot{E}_{BC} \\ \dot{I}_{33} * (\dot{Z}_C + \dot{Z}_A) - \dot{I}_{11} * \dot{Z}_A - \dot{I}_{22} * \dot{Z}_C = \dot{E}_{CA} \end{cases}$$

Контурные токи

$$\dot{I}_{11} = -0,055778 + j1,94478 \text{ A} = 1,95e^{j91,46} \text{ A}$$

$$\dot{I}_{22} = 0,055778 + j2,05523 \text{ A} = 2,006e^{j88,4} \text{ A}$$

$$\dot{I}_{33} = 0,05113061 + j2,008665 \text{ A} = 2,009e^{j88,5} \text{ A}$$

Перейдем от контурных токов к реальным:

$$\dot{I}_{AB} = \dot{I}_{11}; \quad \dot{I}_{BC} = \dot{I}_{22}; \quad \dot{I}_{CA} = \dot{I}_{33}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{33} - \dot{I}_{11} = 0,055778 + j2,05523 + 0,055778 - j1,94478 = \\ &= 0,107 + j0,0639 \text{ A} = 125e^{j30,8} \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= \dot{I}_{11} - \dot{I}_{22} = -0,055778 + j1,94478 - 0,055778 - j2,05523 = \\ &= -0,111556 - j0,110 \text{ A} = 157e^{-j135,3} \text{ mA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= \dot{I}_{22} - \dot{I}_{33} = 0,055778 + j2,05523 - 0,05113061 - j2,008665 = \\ &= 0,00465 + j0,046565 \text{ A} = 46,797e^{j84,3} \text{ mA} \end{aligned}$$

Проведем баланс мощности. Вырабатываемая мощность:

$$\begin{aligned} \dot{S}_{AB} &= \dot{I}_{AB}^* * \dot{E}_{AB} = (-0,055778 - j1,94478) * (-10,5 - j6,0622) = \\ &= -11,204 + j20,758 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{CB} &= \dot{I}_{CB}^* * \dot{E}_{CB} = (0,055778 - j2,05523) * (j12,12) = \\ &= 24,91 + j0,676 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{CA} &= \dot{I}_{CA}^* * \dot{E}_{CA} = (0,05113061 - j2,008665) * (10,5 - j6,0622) = \\ &= -11,64 - j21,4 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{\text{Выр.}} = \dot{S}_{AB} + \dot{S}_{CB} + \dot{S}_{CA} = 2,066 + j0,034 \text{ VA}$$

Потребляемая мощность:

$$\dot{S}_{ab} = \dot{I}_{ab}^* * \dot{I}_{ab} * R = 0,12124e^{-j150} * 0,12124e^{j150} * 100 = 1,4641 \text{ VA}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{bc} &= \dot{I}_{bc}^* * \dot{I}_{bc} * (r + jwL) = 0,05028e^{j82,51} * 0,05028e^{-j82,51} * \\ &* (239 + j31,4) = 0,6042 + j0,0794 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_{ca} &= \dot{I}_{ca}^* * \dot{I}_{ca} * \left(-\frac{j}{wC}\right) = 0,00381e^{j60,1} * 0,00381e^{-j60,1} * (-j3184,7) = \\ &= -j0,04629 \text{ VA} \end{aligned}$$

$$\dot{S}_{\text{Пот.}} = \dot{S}_{ab} + \dot{S}_{bc} + \dot{S}_{ca} = 2,06083 + j0,03311 \text{ VA}$$

$$\dot{S}_{\text{Выр.}} \approx \dot{S}_{\text{Пот.}}$$

Для данной схемы есть единственное решение системы уравнений, т. е. известны токи в обмотках генератора. Так как токи на генераторе имеют почти одинаковое направление, которое показано на векторной диаграмме токов на источнике питания и в линиях (рис. 6). Можно сделать вывод, что в соединении обмоток генератора треугольником, при неравномерной RLC-нагрузке, в этом контуре протекает уравнительный ток.

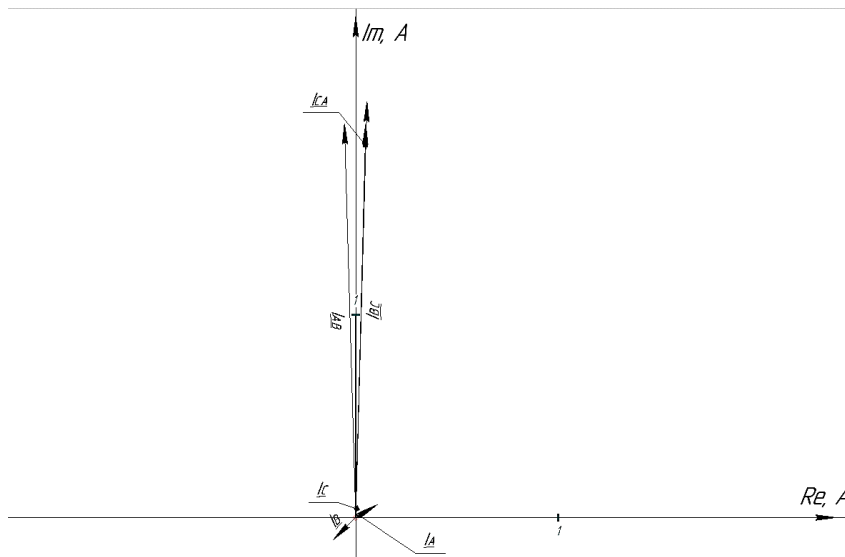


Рис. 6 – Векторная диаграмма токов в генераторе

В отличие от соединения обмоток в звезду, нахождения токов в обмотках генератора при соединении в треугольник является более сложной задачей, не всегда имеющей единственное решение. При не подключенном генераторе к нагрузке, ток в обмотках не протекает. В случае, когда к выводам источника питания подключена разнородная нагрузка, в контуре, образованном обмотками генератора, протекает уравнивающий ток.

#### Список использованных источников:

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 701 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс.

© Е.Е. Фомин, А.А. Тихомиров, 2021

## ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ DNAEXPLORER И КОНГРАФ

магистрант гр. 519 **Воропанова Мария Андреевна**,  
канд. техн. наук, доцент **Ремизова Ирина Викторовна**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Приводится описание и сравнительный анализ комплексов программных средств, используемых для разработки проектов автоматизации: инструмента проектирования DNAExplorer, входящего в состав распределенной системы ValmetDNA и инструментальной программной среды КОНГРАФ. Анализ включает в себя сравнение функциональных и стоимостных возможностей систем, доступность для обучения и работы.

**Ключевые слова.** КОНГРАФ, DNAExplorer, среда разработки, ValmetDNA, КОНТАР.

## OVERVIEW AND COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DNA EXPLORER AND CONGRAPH SYSTEMS

**Voropanova Mariya Andreevna,**  
**Remizova Irina Viktorovna**

**Abstract.** A description and comparative analysis of software packages used for the development of automation projects is given: the design tool DNA Explorer, which is part of the Valmet DNA distributed system and the CONGRAF tool software environment. The analysis includes a comparison of the functional and cost capabilities of the systems, availability for training and work.

**Keywords.** KONGRAF, DNA Explorer, development environment, Valmet DNA, KONTAR

Возрастающие потребности человечества приводят к тому, что с каждым днем появляется все больше и больше объектов, подлежащих

автоматизации. Огромное многообразие различных технических средств, которые могут быть использованы для оснащения объектов автоматизации, ставят проблему правильного подбора оборудования, а в дальнейшем и управления им. Как следствие возникает потребность в квалифицированных специалистах. Подготовкой таких кадров занимаются профессиональные учебные заведения, в том числе и Высшая школа технологии и энергетики. Результатом тесного сотрудничества кафедры Информационно-измерительных технологий и систем управления (ИИТСУ) и Санкт-Петербургского отделения компании Valmet стало появление нового учебного класса, оснащенного стендом с оборудованием фирмы Valmet. Альтернативой для студентов при изучении методологии разработки систем автоматизации является функционирующий компьютерный класс кафедры ИИТСУ с установленным промышленным контроллером МС8 программно-технического комплекса (ПТК) КОНТАР. Различие представленного аппаратного и программного обеспечения в данных классах, позволяет студентам получить знания в создании систем автоматизации посредством изучения и сравнения различных сред разработки и сопровождения, а также использования разнопланового оборудования.

На основании выше сказанного достаточно интересным будет провести сравнительный анализ комплексов программных средств, используемых для разработки проектов автоматизации в представленных классах и имеющихся в доступе обучающихся.

Инструмент проектирования DNAExplorer, разработанный финской компанией Valmet, входит в состав распределенной системы ValmetDNA, являющейся платформой автоматизации и информационной платформой управления процессом. DNAExplorer является платной средой проектирования. В свою очередь инструментальная программная среда (ИПС) КОНГРАФ, разработанная Московским заводом тепловой автоматики для ПТК КОНТАР, является свободно распространяемой. Язык интерфейса в DNAExplorer английский, в ИПС КОНГРАФ – русский и английский.

Функциональные возможности систем представлены следующим образом.

DNA Explorer позволяет решать следующие задачи:

– создавать и редактировать новые объекты проектирования, а также просматривать информацию о них;



- считывать значения созданных объектов из среды выполнения в базу данных и осуществлять направленный поиск;
- загружать пакеты и объекты в реальную или виртуальную операционную среду выполнения.

В свою очередь основными возможностями ИПС КОНГРАФ являются:

- программирование разрабатываемой задачи или выбор наиболее близкого решения из предлагаемого набора типовых проектов;
- создание проектов для одного или нескольких контроллеров, которые объединены в единую приборную сеть (в последнем случае ресурсы можно оптимально распределить между контроллерами);
- отладка части или целого алгоритма до загрузки в контроллеры;
- компиляция созданного алгоритма локально или удаленно [1].

Преимуществом DNAExplorer перед ИПС КОНГРАФ является наличие возможности создания экранов оператора. Полученный набор панелей оператора можно применять только на операторских станциях, оборудованных компьютерами с операционной системой Windows с помощью инструмента DNAOperate, входящего в состав ValmetDNA. В свою очередь у ПТК КОНТАР, для разработки экранов оператора и для дальнейшей визуализации технических процессов на полученных экранах, создан пакет КОНСОЛЬ. Отладочная программа КОНСОЛЬ является Windows совместимой и распространяется бесплатно.

Для разработки программ каждая инструментальная среда предоставляет один определенный язык программирования. Для среды КОНГРАФ это графический язык программирования FBD (FunctionBlockDiagram) стандарта МЭК 61131-3. В библиотеке КОНГРАФ имеется большое количество функциональных блоков. Кроме того, эта библиотека постоянно расширяется. Также у пользователя есть возможность создавать собственные блоки. При необходимости получения информации о том или ином блоке можно воспользоваться справкой.

Программа, разработанная в ИПС КОНГРАФ представлена на рис. 1.

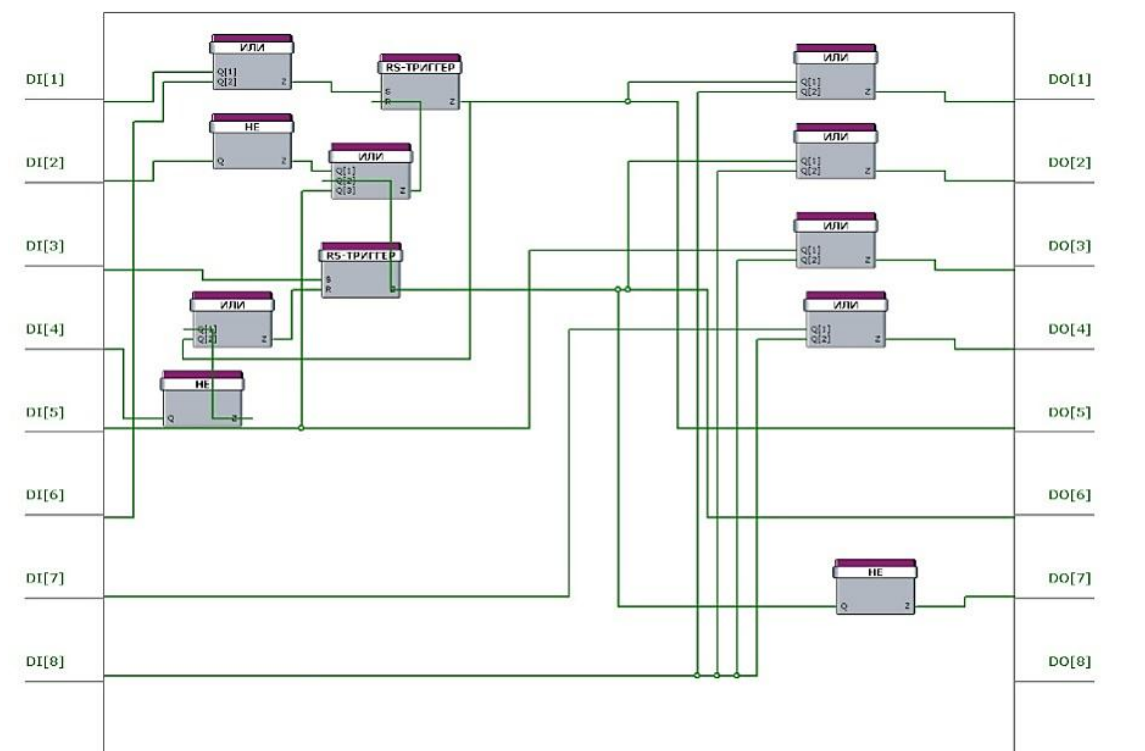


Рис. 1 – Пример программы в ИПС КОНГРАФ

В DNAExplorer программирование производится посредством инструмента FunctionBlockCAD (FbCAD). С его помощью создаются функциональные блок-схемы, являющиеся соответствующими контурами регулирования, управления и мониторинга технологического процесса. Программа пишется на так называемом «языке автоматизации», который используется во всей системе ValmetDNA. Создание программы осуществляется с помощью блоков-модулей.

С точки зрения разработчика прикладных программ модуль является логической единицей. Модули – это минимальные программные блоки, которые могут быть индивидуально загружены на серверы приложений. Модулем может быть отдельный контур управления или измерения, программа сквозного последовательного управления, программа управления группой электродвигателей или дисплей, отображаемый на экране видеомонитора.

В библиотеках FbCAD имеется большое количество блоков. Их количество настолько велико, что неопытному пользователю может быть затруднительно найти требуемый блок. В такой ситуации рекомендуется пользоваться справкой. Справку требуется задействовать и в случае если необходимо разобрать готовый работающий алгоритм, т.к. язык описания блоков не стандартизирован. Однако, если пользователь плохо владеет

английским языком, использование предоставляемой справки может создавать определенную сложность.

Результатом программирования является модуль автоматизации (рис. 2). Модуль автоматизации – это графическое представление прикладной программы.

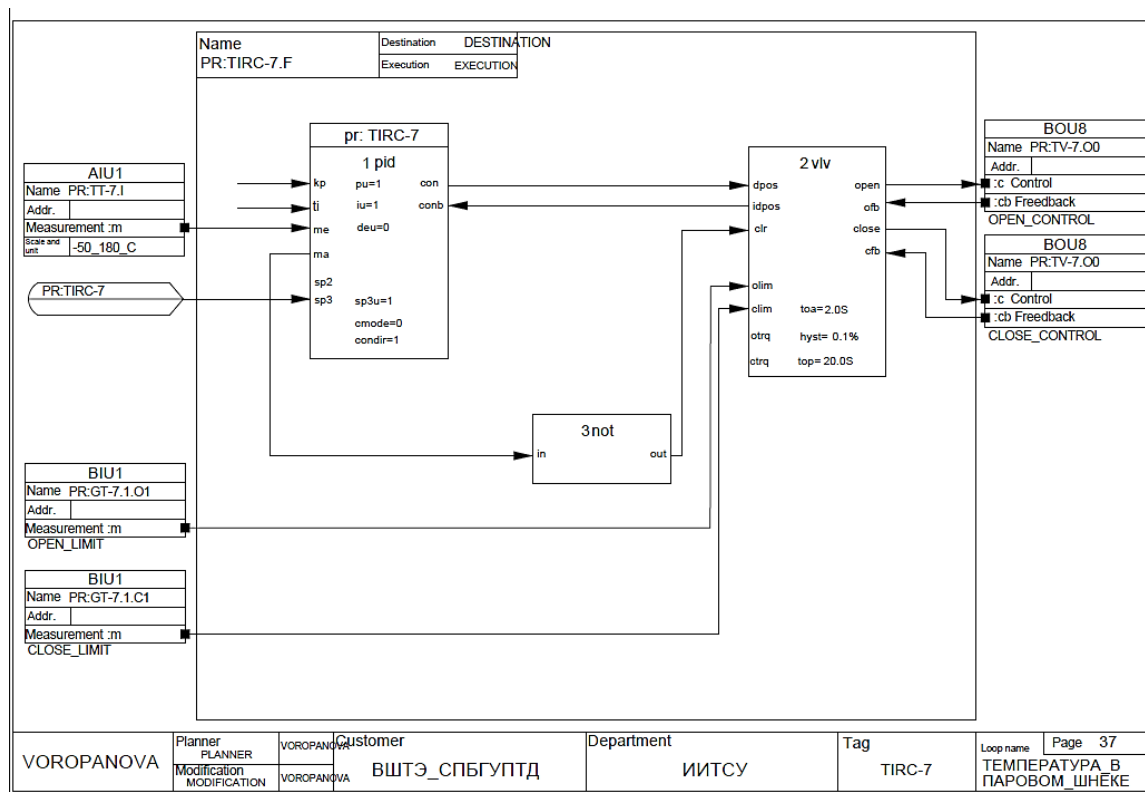


Рис. 2 – Блок-схема модуля автоматизации

Еще одной отличительной особенностью проектирования в ValmetDNA является поддержка обмена данными на основе согласованных имен или слов. В этом есть некоторые преимущества:

- пользователю не требуется разрабатывать свою собственную систему имен (хотя опытному специалисту это не доставляет неудобств);
- облегчается поиск ошибок и техническое обслуживание системы для персонала, не участвовавшего непосредственно в разработке проекта.

Сравнение доступности обучения при разработке проектов показывает, что среда разработки КОНГРАФ является интуитивно понятной и сопровождается большим количеством инструкций и описаний. Кроме того, на сайте разработчика размещены видеуроки для обучения.

DNAExplorer является более сложной для обучения. Обучающие инструкции отсутствуют. Однако, следует отметить, что компания Valmet самостоятельно занимается разработкой систем автоматизации индивидуально под заказчиков. Компания проводит обучение для своих сотрудников, заинтересованных специалистов и студентов учебных заведений, заключивших договор о приобретении распределенной системы ValmetDNA.

Таким образом, рассмотрены основные характеристики программных средств разработки DNAExplorer и ИПС КОНГРАФ. Однозначно сказать, какому инструменту проектирования стоит отдать предпочтение нельзя. Для небольших типовых проектов таких как, системы вентиляции и кондиционирования, системы водоподготовки и т.д., предпочтительнее использовать среду разработки КОНГРАФ, что обусловлено свободным распространением пакета.

DNAExplorer в составе ValmetDNA предпочтительнее использовать для крупных и сложных технологических процессов, например сушка бумажного полотна, когда качество предоставляемого продукта оправдывает свою стоимость.

#### **Список использованных источников:**

1. ООО прибор.ru: КОНТАР – Программно-технический комплекс КОНТАР [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ooo-pribor.ru/descriptions/20689/> (дата обращения 19.04.2021)

© М.А. Воропанова, И.В. Ремизова, 2021

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ

студентка гр.10607118 **Велитченко Мария Николаевна**,  
студент 10602219 **Ковалец Илья Владимирович**,

Науч. руководитель:

ст. преп., магистр экономических наук **Корсак Екатерина Павловна**  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В настоящий момент всё большую актуальность приобретает «зелёная» энергетика, а именно низкоуглеродная энергия или возобновляемые источники. В данной работе рассмотрены пьезогенераторы, принцип их работы, эффективность установки таких панелей на территории учреждения образования на примере Белорусского национального технического университета.

**Ключевые слова.** Пьезоэнергетика, энергетическая безопасность, экология, энергоэффективность, энергосбережение, доступность энергии, топливно-энергетические ресурсы, цели устойчивого развития.

## APPLICATION OF PIEZO CONVERTERS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

**Velitchenko Mariya Nikolaevna,**  
**Kovalets Ilya Vladimirovich**

**Abstract.** At the moment, “green” energy is becoming increasingly important, namely low-carbon energy or renewable sources. This work discusses piezoelectric generators, the principle of their operation, the efficiency of installing such panels on the territory of an educational institution using the example of the Belarusian National Technical University.

**Keywords.** Piezoenergetics, energy security, ecology, energy efficiency, energy saving, energy availability, fuel and energy resources, Sustainable Development Goals.

Развитие технологий позволяет использовать всё больше альтернативной энергии взамен ископаемых топливных ресурсов. Достаточно широко уже используется энергия ветра, солнца, потоков воды

или ядерная энергия. Каждый день человечество делает все новые шаги к оптимизации повседневных энергетических затрат. Рассматриваются проекты по использованию движения волн и ветра, воздействия уличного шума, сердцебиения и энергии перемещения людей и транспорта. В этом могут помочь пьезогенераторы. В последние годы был создан ряд образцов панелей, которые фактически могут закрыть потребности потребителей малой мощности [1].

Пьезоэнергетика на данный момент ещё не обрела должной популярности, но является перспективным направлением и имеет ряд преимуществ. В первую очередь стоит сказать об экологичности пьезопанелей: они не создают отходов и выбросов. Размещение таких панелей не требует выделения отдельных площадей, так как они гармонично встраиваются в городской ландшафт: дороги, тротуары, площадки, где проходит много людей. К характеристикам, увеличивающим срок службы пьезогенераторов, можно отнести их небольшие габариты и устойчивость к погодным и природным явлениям.

В основе данного типа генераторов лежит пьезоэлектрический эффект, который заключается в возникновении электрического напряжения на электродах пьезоэлемента при его механической деформации. В качестве пьезоэлементов, к которым прикладывается физическое усилие, используют кристаллы, не имеющих центра симметрии и при деформации их структуры, происходит появление электрического момента. Возникающее напряжение может быть достаточно для надежного обеспечения электроэнергией мелких потребителей.

Недостатком является процесс выработки электрической энергии, который возможен только в момент механического воздействия на панель. В результате идёт краткосрочный ток, что требует дополнительных капиталовложений в аккумуляторы и другие устройства. Сама технология получения возобновляемой энергии пока является дорогостоящей: первые проекты, реализованные в 2012-2015 годах обошлись в 25 400 \$ за квадратный метр [2].

В данной работе авторы рассмотрели внедрение пьезогенераторов на территории учреждений образования на примере Белорусского национального технического университета, так как он является одним из ведущих и многочисленных в Республике Беларусь.

Ведущей на мировом рынке электрогенерирующих панелей является компания PAVEGEN. При одном нажатии вырабатывается примерно 2-5 Джоулей энергии. Представленные данной компанией панели представлены треугольными плитами, в вершинах каждой из которых

располагается пьезогенератор. Компания на данный момент ставит себе цель снизить цену до 50-100 \$ за квадратный метр электропроизводящего покрытия [3].

Мощность, производимая электрогенерирующими плитами фирмы Pavegen за сутки, покрывает дневную потребность освещения в электроэнергии. Так, мощность световых приборов перед главным корпусом БНТУ равно 13,4 кВт. Ежедневная проходимость ворот перед главным корпусом (составляющая примерно 10 000 человек) делает возможной реализацию подобной энергетической инициативы. При расположении генераторов по углам треугольник плиты у последней модели плит достигается одновременное срабатывание большего их числа, и, следовательно, механическая энергия используется более эффективно [4].

Реализация проекта по внедрению пьезогенерирующих установок является не только экологическим проектом, но и положительно скажется на эффективности использования ресурсов, а именно использования человеческого потенциала вместо сжигания ТЭР. Внедрение электрогенерирующих плит является шагом к увеличению уровня энергетической безопасности города, а по мере распространения технологии – регионов. Единственной преградой в достижении такого перехода является цена на изделия. Однако по мере развития науки и техники можно говорить о том, что уже в ближайшем будущем эта технология станет более доступной.

#### **Список использованных источников:**

1. Никифоров В., Гриценко А., Щёголева А. Состояние и перспективы развития пьезоэлектрических генераторов [Электронный ресурс] <https://kit-e.ru/elcomp/sostoyanie-i-perspektivy-razv>
2. Пьезогенераторы - новые источники электроэнергии. Фантазии или реальность? // "Электрик Инфо": сетевой журн. 2015. [Электронный ресурс] <http://elektrik.info/main/news/652-pezogeneratorov-nov..>
3. Пьезогенераторы. Устройство и работа. Особенности и применение [Электронный ресурс] <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie>
4. Pavegen transforms footsteps into clean-electricity and data into insights! [Электронный ресурс] <https://pavegen.com>

© М.Н. Велитченко, И.В. Ковалец, 2021

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЕ**

студент гр. 512 **Веселов Владислав Андреевич**,  
студент гр. 512 **Водополов Эдуард Викторович**,

Науч. руководитель:

канд. физ.-мат. наук, доцент **Демина Маргарита Юрьевна**  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** В данной статье авторы излагают принцип движения взвешенных частиц в электрофильтрах, рассматривают процесс фильтрации. В ходе работы авторы вывели зависимость скорости движения частицы от ряда параметров, для наглядности, пользуясь программой для работы с электронными таблицами "Excel", результаты представили в графическом виде.

**Ключевые слова.** Электропривод, электрическая зарядка частиц, коронирующие электроды, электрическое поле.

## **INFLUENCE OF THE MEDIUM PARAMETERS ON THE PARTICLE VELOCITY IN THE ELECTROFILTER**

**Veselov Vladislav Andreevich,  
Vodopolov Eduard Viktorovich**

**Abstract.** In this article, the authors describe the principle of motion of suspended particles in electrofilters, consider the filtration process. In the course of the work, the authors derived the dependence of the particle velocity on a number of parameters, for clarity, using the program for working with spreadsheets "Excel", the results were presented in graphical form.

**Keywords.** Electric drive, electric charging of particles, corona electrodes, electric field.

Электрофильтрование находит все большее применение для очистки воздуха от пыли. К преимуществам этого вида очистки относятся: возможность получения высокой степени очистки (до 99% и более), небольшое гидравлическое сопротивление (100 - 300 Па); независимость работы от давления газов; незначительный расход электроэнергии



(0,1 - 0,8 кВт ч на 1000 м<sup>3</sup> газа вместо 2 для других пылеуловителей); возможность очистки газов при высоких температурах и их агрессивности; широкий диапазон концентрации пыли (от долей грамма на 1 м<sup>3</sup> до 50 г/м<sup>3</sup>); полная автоматизация работы.

Электрическая очистка газов от взвешенных частиц (пыли, тумана, дыма) основана на следующем. В процессе ионизации газовых молекул электрическим разрядом происходит зарядка частиц, содержащихся в газе, затем под действием электрического поля эти частицы осаждаются на электродах и выделяются из газового потока.

Электрическая зарядка частиц осуществляется в поле коронного разряда, возникающего в электрическом поле между коронирующими (высоковольтными) и осадительными (заземлёнными) электродами.

При подаче тока высокого напряжения на коронирующие электроды, между коронирующими и осадительными электродами возникает электрическое поле, напряжённость которого можно изменять путём регулирования напряжения питания.

При увеличении напряжения до определённой величины между электродами образуется коронный разряд, в результате чего возникает направленное движение заряженных частиц к электродам.

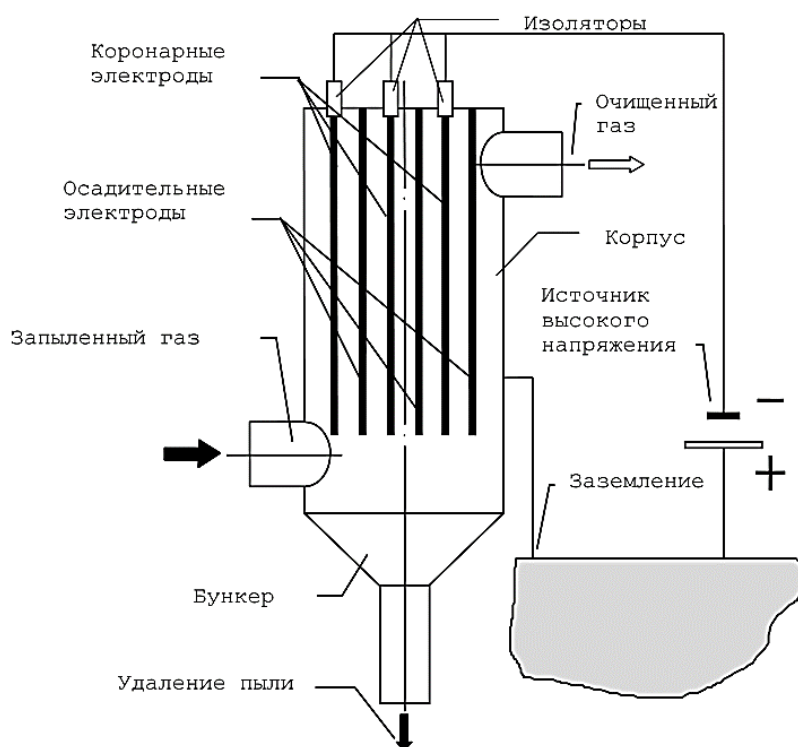


Рис.1 - Движение частиц в электрофильтре

На уже ионизированную частицу действуют сила Лоренца, действующая со стороны электрического поля, и сопротивление среды, в которой движется частица:

$$\vec{F}_{эл} + \vec{F}_c = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$qE - 6\pi\eta r v = m \frac{dv}{dt},$$

где  $q$  - заряд частицы

$E$  - напряжённость поля

$\eta$  - вязкость среды

$r$  - радиус частицы

$v$  - скорость частицы

$$\frac{dv}{dt} = \frac{qE}{m} - \frac{6\pi\eta r v}{m} \quad (1)$$

Для упрощения введём:

$$a = \frac{qE}{m}$$

$$b = \frac{6\pi\eta r}{m}$$

Тогда получим:

$$\frac{dv}{dt} = a - bv$$

$$\frac{dv}{a - bv} = dt \quad (2)$$

Проинтегрировав выражение (2), получим:

$$-\frac{1}{b} \frac{dy}{dx} \ln|a - bv| + c = t$$

$$c = \frac{1}{b} \ln|a - bv_0|$$

$$\frac{1}{b} \ln \left| \frac{qE - 6\pi\eta r v}{qE - 6\pi\eta r v_0} \right| = t$$

$$\frac{a - bv_0}{a - bv} = e^{bt}$$

$$a - bv_0 = (a - bv)e^{bt}$$

$$a - bv_0 = ae^{bt} - bve^{bt}$$

$$bve^{bt} = ae^{bt} - a + bv_0$$

Отсюда выразим скорость:

$$v = \frac{ae^{bt} - a + bv_0}{be^{bt}} = \frac{a}{b} - \frac{a}{b}e^{-bt} + v_0e^{-bt} = \frac{a}{b}(1 - e^{-bt}) + v_0e^{-bt}$$

При нулевой начальной скорости:

$$v = \frac{a}{b}(1 - e^{-bt}).$$

Таким образом, получили зависимость скорости движения частицы от некоторых параметров. Результаты представлены в виде графиков в Excel.

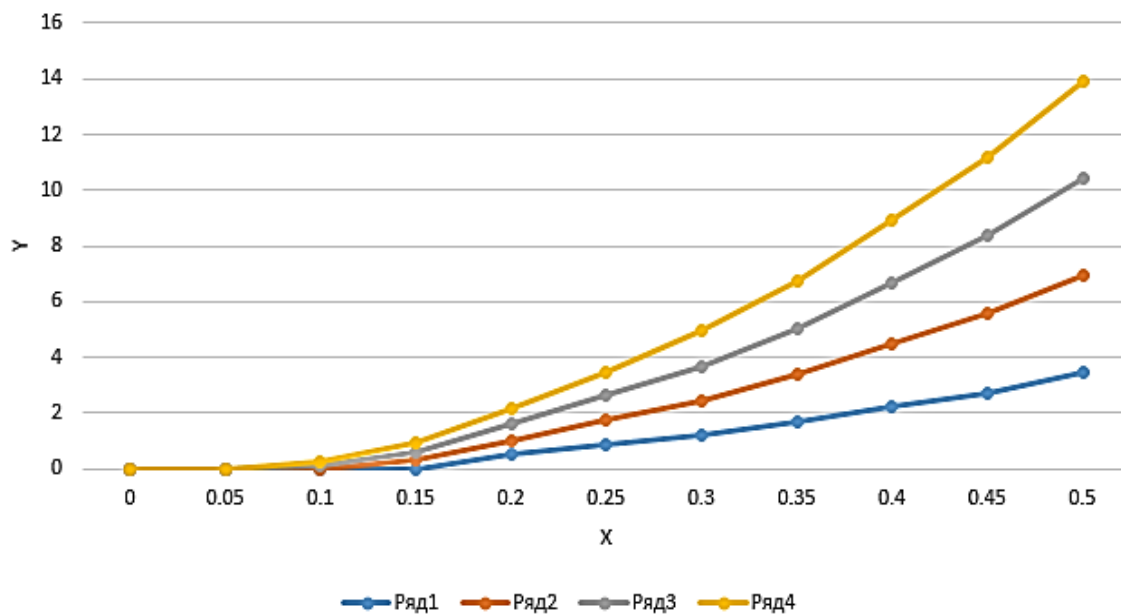


Рис.2 – Траектория частицы

© Э.В. Водополов, В.А. Веселов, 2021

## **ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧАЕМОСТИ РЕМОНТНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС**

студент гр. ЭН-100018 **Касков Дмитрий Олегович**,  
студент гр. ЭН-100018 **Воложенинов Тимофей Павлович**,  
Науч. руководитель: ст. преподаватель **Климова Виктория Андреевна**  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ),  
г. Екатеринбург, Российская Федерация

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы, связанные с использованием САД-систем для обучения ремонтного персонала АЭС с целью минимизации дозовых затрат во время ТОиР оборудования. Описана разработка 3D-моделей оборудования на примере частей циркуляционного насоса, выполнена привязка их к картам ремонта и дефектации. Показаны пути и перспективы внедрения трехмерных моделей оборудования в учебный процесс подготовки специалистов.

**Ключевые слова.** 3D-моделирование, атомная энергетика, ремонтный персонал, дозовые затраты, обучение.

## **APPLICATION OF 3D-TECHNOLOGIES TO SOLVE THE PROBLEM OF THE NPP MAINTENANCE PERSONNEL IRRADIATION REDUCING**

**Kaskov Dmitriy Olegovich,  
Volozheninov Timofey Pavlovich**

**Abstract.** The article deals with the issues related to the use of CAD-systems for the training of NPP repair personnel in order to minimize the dose costs for maintenance and repair of equipment. The development of 3D models of equipment is described using the example of parts of a circulation pump, and they are linked to repair and defect maps. The ways and prospects of implementing three-dimensional models of equipment in the educational process of training specialists are shown.

**Keywords.** 3D modeling, nuclear power, maintenance personnel, dose costs, training.

Надежность работы и безопасность атомных станций в значительной мере определяются высоким качеством технического обслуживания и ремонта(ТОиР). Спецификой ТОиР систем и оборудования АЭС является необходимость проведения многих работ в условиях воздействия ионизирующих излучений. Снизить облучаемость ремонтного персонала можно при помощи [1, с. 394; 2, с. 89; 6, с. 153]:

- улучшения параметров радиационной обстановки;
- увеличения расстояния от источника ионизирующего излучения до работающего;
- сокращения времени нахождения работника в зоне действия ионизирующего излучения.

Последний пункт может быть реализован тщательным планированием, эффективным управлением работами, тренировками по выполнению операций на макетах в чистой зоне и компьютерных моделях оборудования, а также применением высоко производительного оборудования [6, с.152-154]. Это позволяет работникам многократно выполнять операции в чистой зоне, исключая переоблучение и ущерб в случае ошибочных действий, а также сократить время пребывания работника в зоне повышенного уровня излучения.

Высокая сложность оборудования современных АЭС и наличие радиоактивных загрязнений делают необходимым создание специального учебно-методического обеспечения для подготовки ремонтного персонала. В ходе данного обучения традиционно используются чертежи и схемы (двумерные изображения), основным недостатком которых – потребность в пространственном воображении. Но с развитием цифровых технологий и появлением трёхмерных систем автоматизированного проектирования (САПР, англ. CAD – Computer-Aided Design) стала возможна разработка 3D-моделей оборудования АЭС, находящегося в зоне контролируемого доступа. Это позволяет значительно облегчить и ускорить процесс подготовки высококвалифицированных специалистов по эксплуатации обслуживанию систем и оборудования энергоблоков.

На кафедре «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ для подготовки специалистов уже много лет используются виртуальные технологий обучения, в том числе 3D-моделирование [3, с. 52; 4, с. 2]. Это создает условия для разработки учебно-методических пособий с объемным визуальным содержанием, что в перспективе способно улучшить профессиональную подготовку специалистов по ремонту оборудования атомных станций в условиях повышенного радиационного фона.

Авторы данной работы при помощи САПР SolidWork выполнили трехмерное моделирование деталей центробежного консольного насоса АХ45/54-К-СД. Этот насос применяется в системах, обеспечивающих безопасность атомной станции, и во вспомогательных системах [5, с. 216-219]. Он предназначен для поддержания в допустимых пределах параметров работы атомной станции, определяющих ее безопасность не только в нормальных условиях эксплуатации, таких как работа энергоблока на мощности, плановое изменение нагрузки, плановое расхолаживание, но также и в аварийных режимах, вызванных нарушениями в работе или отказом оборудования и систем.

Насос состоит из трех основных частей:

- приводная часть: кронштейн с подшипниковыми опорами, вал с радиальными и радиально-упорными подшипниками, отбойник, соединительная муфта, упругие элементы;
- проточная часть: корпус насоса, рабочее колесо, всасывающий патрубок, гайка крепления рабочего колеса, сменные защитные диски;
- узел уплотнения: сальники уплотнительные, кольца набивки, защитная втулка.

При производстве работ по техническому обслуживанию и ремонту всех выше перечисленных частей насоса должны выполняться требования правил ядерной, технической и радиационной безопасности, охраны труда и пожарной безопасности. Перед выводом в ремонт, в соответствии с руководством по эксплуатации, необходимо выполнить проверку. Для обнаружения дефектов производятся визуальный осмотр и контроль методами, описанными в картах ремонта и дефектации [5, с. 9-10, с. 51-54]. Визуальный осмотр с целью получения информации об общем состоянии оборудования проводят в доступных местах для обнаружения нарушения крепления в соединениях деталей, остаточной деформации, коррозионных и механических повреждений, протечек, повреждения лакокрасочного покрытия. По результатам дефектации детали и сборочные единицы сортируют на три группы: а) годные без ремонта; б) требующие ремонта; в) негодные, подлежащие замене. Обнаруженные дефекты устраняют в соответствии с указаниями карт дефектации и ремонта, аналогично выполняют контроль в местах ремонта.

Правила ТОиР требуют от ремонтного персонала не только детального знания конструкции оборудования, но и полного визуального представления деталей, а также их связи с картами дефектации и ремонта. Для того чтобы сделать процесс изучения конструкции более наглядным, мы создали 3D- модели следующих деталей насоса: вал(рис.1), патрубок всасывающий(рис.2), втулка защитная (рис. 3).

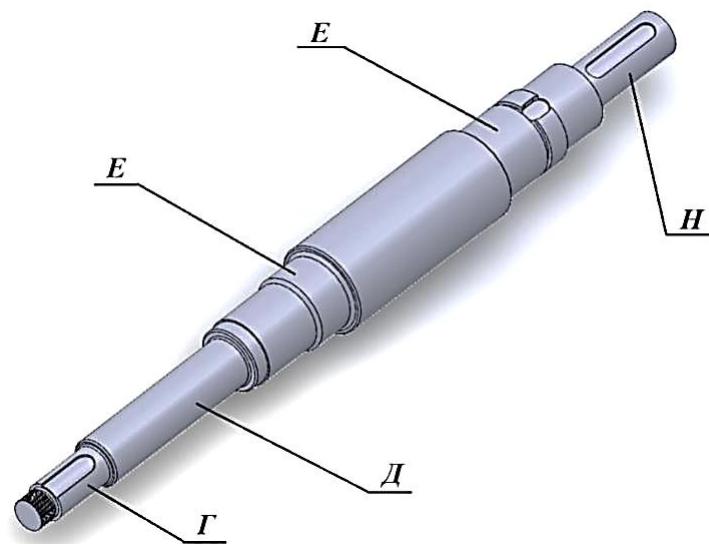


Рис. 1 – Трехмерная модель вала насоса

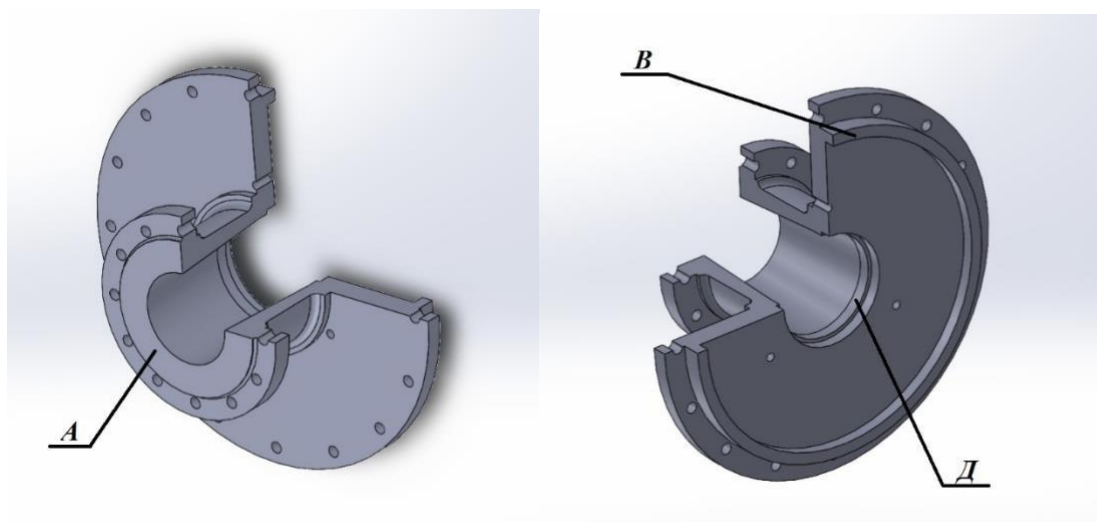


Рис. 2 – Трехмерная модель всасывающего патрубка, разрез

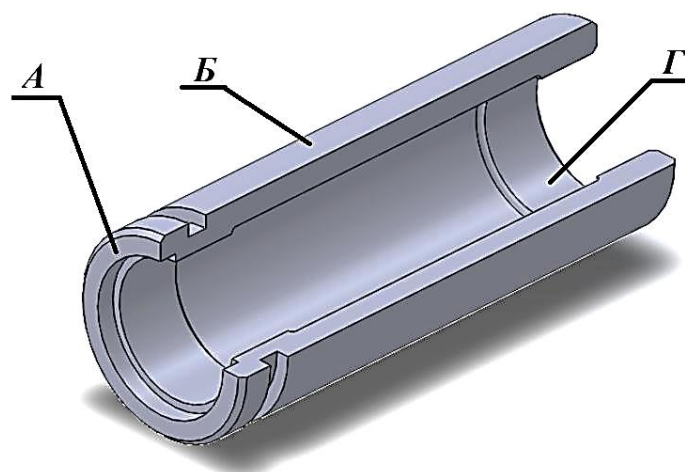


Рис. 3 – Трехмерная модель втулки защитной, разрез

Каждая модель дополнена фрагментами карт дефектации с обозначением мест возможных повреждений (позиции на рисунках). В таблице 1 приведена выписка из карт дефектации, показывающая, каким образом производится выявление дефектов для данного элемента.

Например, на рис.1 обозначены поверхности вала Г, Д, Е и Н. Возможные дефекты на этих поверхностях – царапины и вмятины, которые обнаруживаются при помощи визуального контроля (ВК). Инструментальный контроль (ИК) позволяет установить размеры дефекта.

Использование трехмерных моделей вместо двумерных чертежей и схем позволяет однозначно идентифицировать поверхность, которую нужно осмотреть или обработать. Более того, модель можно дополнить всплывающими окнами, содержащими сведения из карт дефектации в удобной для восприятия форме.

Таблица 1. Выписка из карт дефектации

Обозначение	Дефект	Метод установления дефекта	Средство измерения	Заключение; Рекомендуемые методы ремонта	Требования после ремонта
Рис. 1: Г,Д,Е,Н	Царапины, вмятины глубиной до 0,1 мм на площади не более 10%	ВК, ИК	Штангенциркуль ШЦ-П-160-0,05	Ремонт; механическая обработка выступов заподлицо с основной поверхностью	Шероховатость не более 1,6 мкм; контроль – ВК, ИК
Рис. 2: А	Вмятины, царапины, раковины глубиной до 0,2 мм	ВК, ИК	Штангенциркуль ШЦ-П-160-0,05	Ремонт; механическая обработка	Шероховатость не более 3,2 мкм. Контроль – ВК, ИК. Отклонение от плоскостности не более 0,1 мм
Рис. 2: В, Д	Царапины, вмятины глубиной до 0,1 мм на площади не более 10%	ВК, ИК	Штангенциркуль ШЦ-П-160-0,05	Ремонт; механическая обработка выступов заподлицо с основной поверхностью	Шероховатость не более 1,6 мкм; Контроль – ВК, ИК



Рис. 3: А	Царапины, вмятины, раковины	ВК		Ремонт; механическая обработка	Шероховатость не более 1,6 мкм. Контроль –ВК, ИК. Торцовое биение относительно поверхности Г – не более 0,025 мм
Рис. 3: Г	Царапины, вмятины глубиной не более 0,1мм на площади не более 10%	ВК, ИК	Штанген- циркуль ШЦ- П-160-0,05	Ремонт; механическая обработка выступов заподлицо с основной поверхностью	Шероховатость не более 1,6мкм. Контроль –ВК,ИК
Рис. 3: Б	Раковины, царапины глубиной не более 0,1мм	ВК, ИК	Штанген- циркуль ШЦ- П-160-0,05	Ремонт; механическая обработка	Шероховатость не более 0,8мкм. Контроль –ВК, ИК. Радиальное биение относительно поверхности Г не более 0,04 мм.

В заключение можно сказать, что данный метод наглядного представления деталей оборудования АЭС может стать основой для создания электронных учебно-методических материалов для подготовки специалистов. Использование компьютерного моделирования позволяет изучать конструкции и технологии проведения ремонтных операций оборудования радиоактивных систем АЭС в чистой зоне без воздействия ионизирующего излучения. Подготовка ремонтного персонала с использованием современных методов компьютерного моделирования позволит добиться снижения коллективных доз при выполнении работ в зоне контролируемого доступа.

### Список использованных источников:

1. Михайлова А.Ф., Ташлыков О.Л. Пути реализации принципа оптимизации в радиологической защите персонала // Ядерная физика и инжиниринг. – 2018. – Т. 9. – №4. С. 393-401.
2. Наумов А.А., Ташлыков О.Л. Минимизация дозовых затрат при ремонтном обслуживании систем и оборудования АЭС// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2010. – №1. – С. 80-88.
3. Ташлыков О.Л., Щеклеин С.Е. Виртуальные технологии обучения в решении проблемы снижения облучаемости ремонтного персонала//Дистанционное и виртуальное обучение.–2010.–№8. –С.48-57.
4. Zavadskii D. I., and Tashlykov O. L. Optimization of radiation protection of staff using BIM-designing // AIP Conference Proceedings. – 2020. – Is. 2313. –Articlenumber 070017.
5. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций: учебник. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2018. – 352 с.
6. Ташлыков О.Л. АЭС. Продление ресурса и снятие с эксплуатации: учебник. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. – 2020. – 216 с.

© Д.О. Касков, Т.П. Воложенинов, 2021

## АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛА

канд. техн. наук, зав. кафедрой **Ковалёв Дмитрий Александрович**,  
Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Применение существующих или разработка новых математических моделей процесса сжигания черного щелока в содорегенерационном котлоагрегате (СРК) остается актуальным вопросом из-за постоянно увеличивающихся требований экономической эффективности, поэтому предлагается общий алгоритм моделирования СРК, который включает в себя четыре части: расчет температуры и состава газа в зоне пиролиза; расчет температуры и состава газа в зоне окисления; расчет степени восстановления сульфата натрия в слое огарка; расчет теплотехнической части котла. Применение предложенного алгоритма моделирования СРК дает возможность моделировать различные режимы работы СРК, для выбора оптимального режима процесса сжигания черного щелока.

**Ключевые слова.** Содорегенерационный котёл, математическая модель, алгоритм, сжигание черного щелока.

## ALGORITHM FOR MODELING A RECOVERY BOILER

**Kovalev Dmitrii Alexandrovich**

**Abstract.** The use of existing or the development of new mathematical models for the combustion of black liquor in a recovery boiler remains an urgent issue due to the possible economic effect, therefore, a general algorithm has been developed to model the recovery boiler, which includes four parts: calculation of the temperature and gas composition in the pyrolysis zone; calculation of the temperature and composition of the gas in the oxidation zone; calculation of the degree of reduction of sodium sulfate in the cinder layer; calculation of the boiler heat engineering part. Application of the proposed recovery boiler simulation algorithm makes it possible to model different operation modes of the recovery boiler to select the optimal mode of the black liquor combustion process.

**Keywords.** Recovery boiler, mathematical model, algorithm, black liquor combustion.

Математическая модель процесса сжигания черного щелока в содорегенерационном котлоагрегате (СРК) устанавливает связи между входными и выходными параметрами, и должна учитывать ряд факторов.

При составлении модели условно разделим топку на восстановительную и окислительную зоны [1, 2], причём восстановительная включает зону пиролиза и слой (подушку) огарка.

Организация режима горения в топке является сложной многофакторной задачей со множеством противоречивых условий [1-3], при этом зависимости реализуются через вспомогательные параметры: состав, температура газов и огарка в зонах топки, соотношение сульфат/углерод в щёлоке, высота слоя огарка, дисперсность распыла чёрного щёлока и др.

Математическая модель процесса сжигания черного щелока в СРК это система алгебраических уравнений на основе балансовых соотношений для окислительной зоны и зоны пиролиза. Решение системы зависит от исходных данных, получаемых с датчиков или лабораторными анализами, и позволяет выбрать величины управляющих параметров для обеспечения заданных выходных значений.

Математическая модель процессов в зоне пиролиза может быть представлена системой уравнений, учитывающих баланс веществ в конденсированной и газовой фазе, баланс тепла, равновесие реакции конверсии окиси углерода водяным паром и равенство атмосферному полному давлению газов.

Математическая модель окислительной зоны аналогична модели зоны пиролиза, аналогичны и основные принятые допущения при её составлении. Ход процессов, протекающих здесь, обусловлен наличием избытка кислорода в газах, за счёт чего обеспечивается полное сгорание горючих остатков из зоны пиролиза.

Применение существующих или разработка новых математических моделей процесса сжигания черного щелока в СРК остается актуальным вопросом из-за постоянно увеличивающихся требований экономической эффективности, поэтому для моделирования СРК разработан общий алгоритм, приведенный на рисунке 1.

В начале алгоритма вводятся необходимые исходные данные и константы для расчета. Затем происходит поэтапный расчет режимов

работы всего котла (с целью выбора оптимального режима работы), который включает в себя 4 этапа:

- расчет температуры и состава газа в зоне пиролиза;
- расчет температуры и состава газа в зоне окисления;
- расчет степени восстановления сульфата натрия в слое огарка;
- расчет теплотехнической части котла.

На каждом этапе расчета выводятся таблицы и графики с выходными параметрами. В конце алгоритма происходит вывод общих данных по расчету СРК. При необходимости, возможно, произвести изменения каких либо входных параметров и повторить расчет, сравнивая полученные результаты. Сравнивая результаты расчетов, возможно выполнить выбор оптимального (необходимого) режима работы СРК.

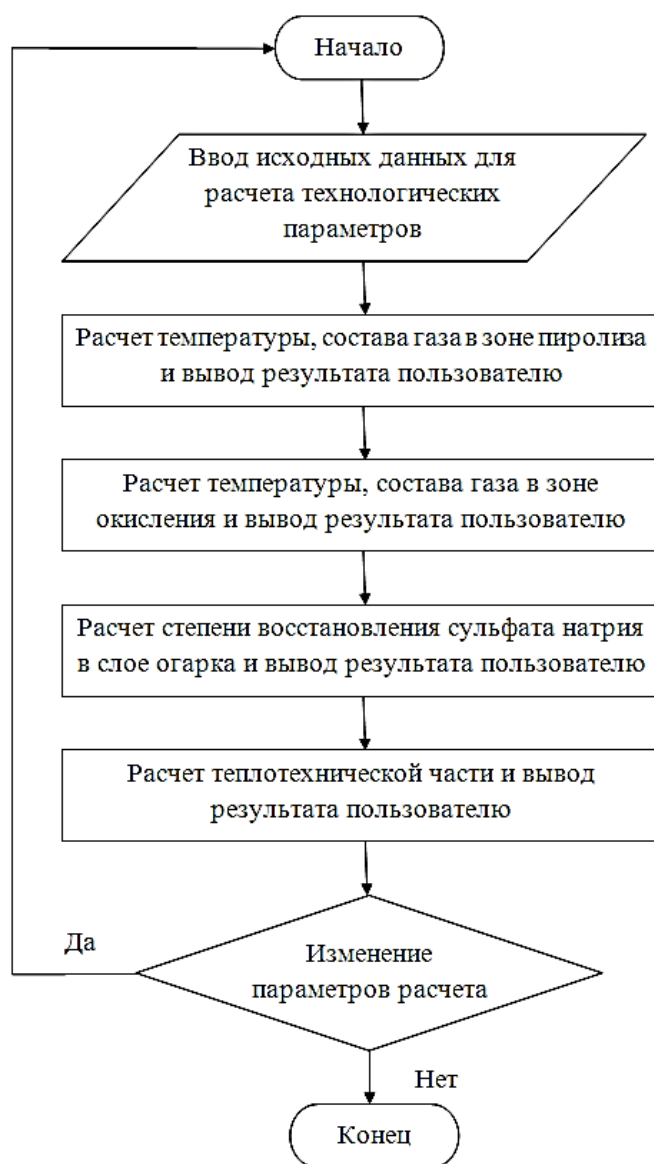


Рис. 1 – Общий алгоритм моделирования СРК

Применение предложенного алгоритма моделирования СРК дает возможность моделировать различные режимы работы СРК, для выбора оптимального режима процесса сжигания черного щелока.

#### **Список использованных источников:**

1. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 3. Автоматизация, стандартизация, экономика и охрана окружающей среды в ЦБП. Ч. 1. Автоматизация, стандартизация и экономика в ЦБП.- СПб. : Политехника, 2008. - 621 с. ISBN 978-5-7325-0707-2.
2. Кушмылев, С. П. Повышение эффективности управления СРК на основе оперативного прогнозирования параметров процесса сжигания черного щелока / С. П. Кушмылев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2007. – № 1. – С. 34-37.
3. Луканин, П. В. Оценка энергетической эффективности производства сульфатной целлюлозы методом приращения эксергий / П. В. Луканин // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22. – № 2. – С. 3-11. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-2-3-11.

© Д.А. Ковалёв, 2021

## ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В СЕТЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ВЫБОР ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА

магистрант **Ракевич Снежана Игоревна**,

Науч. руководитель: канд. техн. наук, доц. **Назаров Владимир Иванович**

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрены причины и характер возникновения гидроудара в системах теплоснабжения, предложены противоударные устройства и их применение для различных систем, даны рекомендации по применению комплекса противоударных мероприятий магистральных тепловых сетей большого диаметра, приведена методика оценки величины гидравлического удара по формулам Жуковского и выражениям Л. Аллиеви.

**Ключевые слова.** Гидравлический удар, скачок давления, ударная волна, система теплоснабжения, трубопроводы, противоударные устройства, противоударные мероприятия.

## ASSESSMENT OF THE MAGNITUDE OF THE HYDRAULIC SHOCK IN THE HEAT SUPPLY NETWORKS AND THE CHOICE OF A PROTECTIVE DEVICE

**Rakevich Snezhana Igorevna**

**Abstract.** The causes and nature of the occurrence of water hammer in heat supply systems are considered, shock-proof devices and their application for various systems are proposed, recommendations for the use of a complex of shock-proof measures of large-diameter main heat networks are given, a method for estimating the magnitude of hydraulic shock according to Zhukovsky's formulas and L. Allievi's expressions is given.

**Keywords.** Hydraulic shock, pressure jump, shock wave, heat supply system, pipelines, shock-proof devices, shock-proof measures.

В результате нормальной эксплуатации систем теплоснабжения наблюдается медленное изменение параметров сетевой воды. Неправильная работа или отказ элементов водяных систем

теплоснабжения вызывает появление гидроудара, который вызван резким изменением скорости потока жидкости, который носит волновой характер, что влечет за собой резкое повышения и понижения давлений и имеет волновой характер.

В системах теплоснабжения гидравлический удар возникает из-за пуска насосов с неправильно собранной тепловой схеме, ошибочных действиях персонала при маневрировании запорно-регулирующей арматурой. Гидроудар так же появляется в результате снижения статического давления ниже расчетного. К гидроудару приводит аварийное отключение питания насосной станции с последующим ее самозапуском или включение резервных насосов с большим запаздыванием по времени.

Особенно опасен гидравлический удар на длинных участках трубопроводов с появлением ударной волны, при котором колебания давления повторяются до тех пор, пока начальная кинетическая энергия не будет поглощена трением.

Значение скачка давления при гидравлическом ударе определяется расчётом, на основании которого выбирают комплекс мероприятий и устройств препятствующие разрушению и повреждению элементов систем теплоснабжения.

Величина гидравлического удара определяется многими факторами: параметрами насосных установок, типом запорной арматуры, длиной трубопровода, материалом труб, их диаметром, характеристиками теплоносителя, наличием нерастворённых газов, профилем укладки трубопровода.

Для защиты от гидравлических ударов используют противоударные приборы [1, с. 122, 123]. В качестве противоударных приборов устанавливают пружинные и рычажно-грузовые клапаны. Эти клапаны хорошо работают на паровых котлах, где давление поднимается медленно, но на водоводах они работают неудовлетворительно. Это объясняется высокой инерционностью рычажно-грузовых клапанов и необходимостью точного расчёта на заданное давление пружинных клапанов. При изменении давления последние или протекают, или не гасят гидравлические удары. Анализ различных противоударных устройств и мероприятий с точки зрения применимости их для систем теплоснабжения показал, что наиболее целесообразны противоударные клапаны-гасители систем ЛИИЖТа (Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта), разрывные мембраны, быстродействующие сливные клапана. Для магистральных тепловых сетей большого диаметра применяется



комплекс противоударных мероприятий, который включает также воздушные клапаны для впуска воздуха или воды в местах возможных разрывов сплошности потока, обратные клапаны на наклонных участках для расчленения потока и устройства для пропуски воды через насос в обратном направлении после его выключения.

В сетях теплоснабжения наибольшее распространение получили защитные устройства, обеспечивающие поддержание рабочего давления за счет сброса теплоносителя в приемную емкость. К ним в первую очередь относятся предохранительные и быстродействующие сливные клапана (БСК). Выбор этих устройств должен осуществляться по величине повышения давления от гидравлического удара.

Существуют различные методы оценки скачка давления жидкости от гидроудара такие как:

- формулы Жуковского [2, с. 23],
- выражение и диаграммы Л. Аллиеве [3, с. 33, 47],

Согласно формулам Жуковского при гидроударе повышение давления в трубопроводе составит:

$$P_z = P_o + \rho \cdot a \cdot \Delta v \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $P_z$  – давление жидкости в трубопроводе при гидроударе, МПа,  $P_o$  – давление жидкости в трубопроводе до гидроудара, МПа;  $a$  – скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с;  $\rho$  – средняя плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta v$  – падение скорости потока жидкости в момент гидроудара, м/с.

Скачок давления при гидроударе  $P_z$  по уравнениям Л. Аллиеве рассчитывается по следующим образом,

$$P_z = P_o \cdot (1 + \xi_m), \quad (2)$$

где  $P_z$  – давление жидкости в трубопроводе при гидроударе, МПа,  $P_o$  – давление жидкости в трубопроводе до гидроудара, МПа;  $\xi_m$  - ударное воздействие напора при гидроударе находят полученному из графика на рисунке 1, при чем значения константы трубопровода  $\rho$  и обратной величины давление среды в трубопроводе до полного закрытия клапана  $\theta$  определяются следующим образом.

$$\rho = \frac{a \cdot v}{2 \cdot g \cdot P_o}, \quad (3)$$

где  $a$  – скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с;  $v$  - скорость потока жидкости до гидроудара, м/с;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $P_o$  – давление жидкости в трубопроводе до гидроудара, Па

$$\theta = \frac{T_e}{\mu}, \quad (4)$$

где  $T_e$  – время срабатывания клапана, с;  $\mu$  – фаза удара (удвоенный промежуток времени пробега по трубопроводу ударной волной), с.

$$\mu = \frac{2 \cdot L_a}{a}, \quad (5)$$

где  $L_a$  – длина участка рассматриваемого трубопровода, м.

Когда  $\theta$  меньше или равно 1,0,  $P_z$  можно оценить по выражению Жуковского, упомянутому выше.

Предложенные выражения не учитывают наложения ударных волн, поэтому носит оценочный характер.

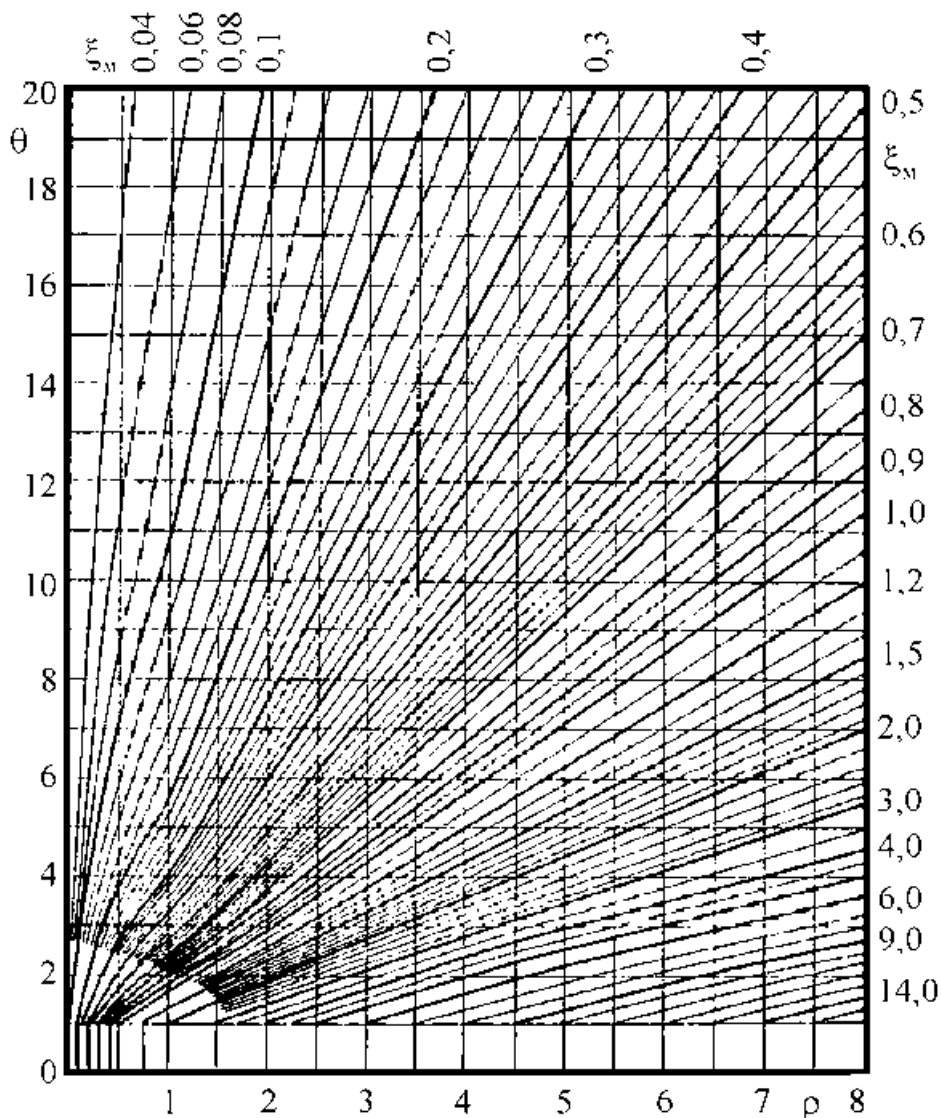


Рис. 1 – Зависимость ударного воздействия напора при гидроударе  $\xi_m$  от константы трубопровода  $\rho$  и обратной величины давления среды в трубопроводе  $\theta$ .

Формулы Жуковского можно применять не только в случае быстрого закрытия клапана, но и в любых других случаях, когда расход жидкости изменяется за короткое время. Для случая с медленным закрытием клапана не было разработано ни одного окончательного уравнения, такого как выражение Жуковского в области быстрого закрытия клапана, тогда как выражения и диаграммы Л. Аллиеви основаны на следующих условиях:

- пропускная способности клапана пропорциональна ходу клапана.
- падение давления от трения вдоль трубопровода ничтожно мало по сравнению со скачком давления во время гидроудара.

#### **Список использованных источников:**

1. Курганов А. М., Фёдоров М. Ф. Гидравлические расчёты сетей водоснабжения и водоотведения: справочник / под общ. ред. А. М. Курганова. - 3-е изд., перераб. и доп. —Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. — 440 с.: ил.
2. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. / Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах / Н.Е. Жуковский. – М: ГИТТЛ, 1949. – 117 с.
3. Allievi L. Teoria del colpo d'ariete. – Milano, 1913. – 132 p.

© С.И. Ракевич, 2021

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ДАТЧИКОВ  
ПО ЭНТРОПИЙНОМУ КРИТЕРИЮ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДИАГНОСТИРУЕМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

аспирант **Сиринова Марта Сергеевна**,  
канд. техн. наук, доцент **Куркина Виктория Вадимовна**  
Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет),  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** При разработке информационного обеспечения системы автоматизации технологического процесса очень важно обеспечить возможность эффективной диагностики процесса и в то же время уменьшить капитальные затраты на измерительную аппаратуру. Решение этой противоречивой проблемы предлагается провести с помощью энтропийного критерия. Для этого на основании анализа процесса определяются возможные нарушения и сравниваются изменения энтропии при подключении каждого из возможных потенциальных датчиков для каждого нарушения. Выбираются те датчики, которые обеспечивают наибольшее уменьшение энтропии (увеличение информации).

**Ключевые слова.** Диагностика технологических процессов, сенсорная сеть, энтропия, информационное обеспечение систем автоматизации.

**SELECTION OF THE OPTIMAL NUMBER OF SENSORS  
ACCORDING TO THE ENTROPY CRITERION TO ENSURE  
THE DIAGNOSABILITY OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS**

**Sirinova Marta Sergeevna,  
Kurkina Victoria Vadimovna**

**Abstract.** When developing information support for a process automation system, it is very important to ensure the possibility of effective diagnostics of the process and at the same time to reduce the capital costs of measuring equipment. The solution of this contradictory problem is proposed to do using the entropy criterion. To do this, based on the analysis of the process, possible its faults are determined and the entropy changes are compared for each fault

when each of the possible potential sensors is connected. The sensors that provide the greatest decrease in entropy (increase in information) are selecting.

**Keywords.** Diagnostics of technological processes, sensor network, entropy, information support of automation systems.

Обеспечение повышения диагностируемости состояния технологического процесса на сегодня является актуальной и важнейшей задачей, особенно для сложных потенциально опасных процессов. При этом задача сводится как к определению причины обнаруженного нарушения, так и определению точного места его возникновения. Решение проблемы связано с разработкой эффективного информационного обеспечения системы автоматизации, которое в первую очередь определяется установленными на процессе датчиками. При этом, база данных информационного обеспечения должна включать для каждого датчика необходимые регламентные данные для определения качества работы измерительного канала.

Как правило, перед разработчиком системы автоматизации стоит дилемма: с одной стороны, для повышения надежности и качественного определения нештатных ситуаций желательно увеличивать количество датчиков или, с другой стороны, ориентируясь на финансовые ограничения и проблемы с обслуживанием, по возможности уменьшать число датчиков, но сохраняя достаточный уровень диагностируемости. Это требует разработки соответствующих методов для обоснованного выбора оптимального их числа.

В общем случае задача определения минимального состава датчиков и их положения на контролируемом технологическом процессе, тем не менее, обеспечивающих уверенное обнаружение и идентификацию всех возможных нарушений и нештатных ситуаций, которые могут возникнуть на процессе, является актуальной задачей, т.к. позволяет существенно повысить надежность и эффективность контролируемого процесса.

Критериями для выбора датчиков и построения эффективной сенсорной сети, как уже упоминалось выше, традиционно являются либо критерии обеспечения надежной работы процесса [1], либо критерии обеспечения эффективной диагностики состояния технологического процесса [2]. Именно вариант построения сенсорной сети согласно требованиям второго критерия, будет рассмотрен в предлагаемой статье.

При этом зависимости между нарушениями и наблюдаемыми параметрами обычно представлялись в виде направленного графа [3]. Подход, основанный на графах, позволяет наглядно проследить поведения системы и, следовательно, получить многомерные причинно-следственные

связи между нарушениями и симптомами. Однако, он не обеспечивает оптимальности сенсорной сети, а только наблюдаемость процесса. В то же время важно учитывать затраты на сеть, т.е. полученный набор датчиков необходимо минимизировать. Для этого требуется применить тот или иной алгоритм оптимизации, например, на основе генетического алгоритма [4].

В то же время представляет определенный интерес применение информационного критерия, используя для него в качестве метрики энтропию. Как известно, понятие энтропии имеет двойное толкование. В физике энтропия является мерой беспорядка, определяемого количеством состояний, в которых система может находиться. В информатике – это мера количества информации, содержащейся в данных. При использовании энтропии в качестве критерия при синтезе сенсорной сети оба эти понятия в какой-то степени объединяются: энтропия  $H$  здесь зависит от числа состояний контролируемого процесса  $N$  (в нашем случае – числа нарушений на процессе) и от вероятности  $p_i$  скачок каждый датчик отражает каждое состояние процесса:

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log p_i, \quad (1)$$

где логарифм здесь и далее берется по основанию 2.

Полезная информация при выполнении диагностики может трактоваться как распознавание датчиком того или иного нарушения на процессе и, соответственно, энтропия – как ошибка (неспособность) датчика распознать нарушение. Тогда максимальная энтропия (максимальная неопределенность)  $H_{max}$  будет наблюдаться в случае, если датчик с равной вероятностью  $p_i = 1/N$  будет не способен распознать каждое из  $N$  нарушений. Подставляя это значение вероятности в выражение (1), получим для  $H_{max}$ :

$$H_{max} = \log N. \quad (2)$$

Если обозначить изменение энтропии при введении в сенсорную сеть  $i$ -того датчика через  $H(d_i)$ , то для величины  $\Delta I_i$  изменения (уменьшения) общей энтропии (увеличения информации [5,6] при подключении этого датчика) получим:

$$\Delta I_i = H_{max} - H(d_i) = H_{max} - (- \sum_{j=1}^N p_{ij} \log(p_{ij})), \quad (3)$$

где  $i$  – индекс датчика, а  $j$  – индекс нарушения на контролируемом процессе. При этом удобно пользоваться относительным значением прироста информации:

$$\delta I_i = \Delta I_i / H_{max}. \quad (4)$$

Тогда для выбора датчика необходимо вычислить связанную с ним энтропию и по (3) остаточную за счет его подключения энтропию системы  $\Delta I_i$ .

Для оценки величины  $H(d_i)$ , учитывая, что как правило, необходимая статистика отсутствует, можно воспользоваться следующим приемом: пронормировать на «1» номинальные и изменившиеся при возникновении нарушения значения переменной, измеряемой конкретным, например,  $i$ -тым датчиком, поделив каждое из них на их сумму. Тогда, подставив нормированные значения в (3) в качестве  $p_{ij}$  и учитывая, что сравнение производится для двух ситуаций - при наличии и отсутствии нарушения и в этом случае  $H_{max}$  будет равно  $H_{max} = \log 2$ , получим необходимые значения  $\Delta I_i$  и по выражению (4)  $\delta I_i$ . Выбирается тот датчик, который обеспечивает максимальное для  $i$ -го нарушения приращение информации (минимальное  $\delta I_i$ ).

Достоинство этого метода в том, что наиболее релевантные переменные (датчики) для каждого нарушения могут получены сразу без дополнительных оптимизационных процедур. Однако необходимо провести с помощью экспертов тщательный анализ процесса, чтобы выделить максимальное количество возможных нарушений и на основании этого провести синтез сенсорной сети.

#### **Список использованных источников:**

1. Duan R.; Lin Y.; Feng T. Optimal sensor placement based on system reliability criterion under epistemic uncertainty // IEEE Access, - 2018. – V.6 - P.57061-57073. - doi:10.1109/ACCESS.2018.2873420
2. Jung: D., Dong Y., Frisk E., Krysander M., Biswas G. Sensor selection for fault diagnosis in uncertain systems // international journal of control, - 2020. - Vol.93.- No.3. - P.629–639. doi.org/10.1080/00207179.2018.1484171
3. Raghuraj, R.; Bhushan, M.; Rengaswamy, R. Locating sensors in complex chemical plants based on fault diagnostic observability criteria. // AIChE J., 1999.– V. 45. – P. 310–322.
4. Wang J.; Wang Zh.; Ma X.; Feng G.; Zhang Ch. Locating Sensors in Complex Engineering Systems for Fault Isolation Using Population-Based Incremental Learning // Energies, - 2020. - Vol.13. - No.310. – 14 p. doi:10.3390/en13020310
5. Orantes A.; Kempowsky T.; Le Lann M.-V. Classification as an aid tool for the selection of sensors used for fault detection and isolation // Transactions of the Institute of Measurement and Control. - 2006. - Vol.28. - No.5. - P. 457.
6. Наumenko А.П. Методы технической диагностики: материалы лекций. – Омск: ОмГТУ, 2016. – 125 с.

© М.С. Сиринова, В.В. Куркина, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Кадим М.Х., Русинов Л.А.</b> <i>(г. Санкт-Петербург)</i> АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ НА НАЛИЧИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ. ....	3
<b>Хакимбеков Т.Т., Смолина Н.В.</b> <i>(г. Архангельск)</i> СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ. ....	10
<b>Титоренко К.В., руководитель Добрынин Е.В.</b> <i>(г. Самара)</i> ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ. ....	18
<b>Купрейчук Р.С., руководитель Смыслова А.Л.</b> <i>(г. Череповец)</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛУЩЕНИЯ ШПОНА С УЧЕТОМ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ. ....	22
<b>Богдан Е.В., руководитель Карницкий Н.Б.</b> <i>(г. Минск)</i> ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЭНЕРГОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ С ИНТЕГРИРОВАННОЙ АЭС. ....	30
<b>Савенко А.В., руководитель Злобин В.Г.</b> <i>(г. Санкт-Петербург)</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНДЕНСАЦИОННОГО ЭКОНОМАЙЗЕРА В ПАРОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ. ....	37
<b>Маслов В.А., руководитель Быковская Л.В.</b> <i>(г. Оренбург)</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛЭП 500 КВ. ....	42
<b>Бессонов И.А., Чалпанов С.В., руководитель Ташлыков О.Л.</b> <i>(г. Екатеринбург)</i> О СПОСОБАХ ОЧИСТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПЕРВОГО КОНТУРА БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ ОТ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ. ....	48



<b>Кучерова Н.А., руководитель Злобин В.Г.</b> (г. Санкт-Петербург)	
ОСМОТИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ .....	56
<b>Борщевский А.В., руководитель Гецман Е.М.</b> (г. Минск)	
ИНТЕГРАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙНА И КОНЦЕПЦИИ МИКРОГРИДА В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	60
<b>Зайчко А.Ю., руководитель Секретарёв Ю.А.</b> (г. Новосибирск)	
ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СХЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ. ....	67
<b>Фокин А.В., руководитель Лукин С.В.</b> (г. Череповец)	
РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА НА РЕШЕТКАХ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ В УСТАНОВКЕ СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА. ....	77
<b>Гриб Ю.А., Гурьянова А.Э., руководитель Зверева Э.Р.</b> (г. Казань)	
СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ КОТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ .....	82
<b>Ковалёв Е.Н.</b> (г. Санкт-Петербург)	
АНАЛИЗ РАБОТЫ СИНУС-ФИЛЬТРА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ .....	87
<b>Глухов С.М., Ширманов И.А., руководитель Ташлыков О.Л.</b> (г. Екатеринбург)	
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ НА ОБЪЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ. ....	93
<b>Косовская Н.Ю.</b> (г. Санкт-Петербург)	
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МИНИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТИВНЫХ РЕЗОЛЬВЕНТ. ....	102
<b>Talarkaliyeva A.N.</b> (г. Алматы)	
BIG IOT DATA MANAGEMENT: AN OVERVIEW OF THE EDGE COMPUTING. ....	110

<b>Зорин М.Б., руководитель Стрельников Н.А.</b> (г. Новосибирск) ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. ....	118
<b>Дятлова Е.П., Телков А.А.</b> (г. Санкт-Петербург) ЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАПОРНОГО ЯЩИКА С ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКОЙ И ОГРАНИЧЕНИЯ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ. ....	125
<b>Скачкова Е.Н., Букша В.Ю.</b> (г. Санкт-Петербург) ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ К 2035 ГОДУ.	130
<b>Глухов С.М., Лёзов А.Д., руководитель Ташлыков О.Л.</b> (г. Екатеринбург) О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОСИФОНОВ В КАЧЕСТВЕ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛООТВОДА .....	135
<b>Зайцева Т.С., руководитель Королев В.И.</b> (г. Санкт-Петербург) ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПОДЪЕМНО- ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ....	143
<b>Матус Е.В., руководитель Самосюк Н.А.</b> (г. Минск) SWOT-АНАЛИЗ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК .....	149
<b>Ильичева Е.М., руководитель Лукин С.В.</b> (г. Череповец) ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАНУЛЯЦИОННОЙ КАМЕРЫ В УСТАНОВКЕ СУХОЙ ГРАНУЛЯЦИИ ШЛАКА .....	154
<b>Слюта М.О., Таянчина А.В.</b> (г. Санкт-Петербург) ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОРОГОСТОЯЩИХ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ .....	161
<b>Полозкова А.П., руководитель Финиченко А.Ю.</b> (г. Омск) ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ ГАЗОВЫХ УСТАНОВОК. ....	165

<b>Губский Т.Н., Ильяхунов Т.А., руководитель Демина М.Ю.</b> (г. Санкт-Петербург) ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ИЗГИБА ПЛАСТИНЫ ИЗ TiNi . . . . .	171
<b>Комаревцев М.А., руководитель Новожилова А.В.</b> (г. Архангельск) ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕПЛООБМЕНА В КАЛОРИФЕРАХ ЛЕСОСУШИЛЬНЫХ КАМЕР ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ . . . . .	176
<b>Зверев Л.О., руководитель Злобин В.Г.</b> (г. Санкт-Петербург) ИННОВАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ОТВОДА ВЛАГИ ВО ВЛАЖНОПАРОВЫХ ТУРБИНАХ . . . . .	183
<b>Фомин Е.Е., Тихомиров А.А.</b> (г. Петрозаводск) РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ОБМОТОК ГЕНЕРАТОРА ТРЕУГОЛЬНИКОМ . . . . .	191
<b>Воропанова М.А., Ремизова И.В.</b> (г. Санкт-Петербург) ОБЗОР И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ DNAEXPLORER И КОНГРАФ. . . . .	198
<b>Велитченко М.Н., Ковалец И.В., руководитель Корсак Е.П.</b> (г. Минск) ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УЧРЕЖДЕНИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ . . . . .	204
<b>Веселов В.А., Водополов Э.В., руководитель Демина М.Ю.</b> (г. Санкт-Петербург) ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ НА СКОРОСТЬ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЕ. . . . .	207
<b>Касков Д.О., Воложенинов Т.П., руководитель Климова В.А.</b> (г. Екатеринбург) ПРИМЕНЕНИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ОБЛУЧАЕМОСТИ РЕМОНТНОГО ПЕРСОНАЛА АЭС. . . . .	211
<b>Ковалёв Д.А.</b> (г. Санкт-Петербург) АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СОДОРЕГЕНЕРАЦИОННОГО КОТЛА . . . . .	218

**Ракевич С.И., руководитель Назаров В.И.**

*(г. Минск)*

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИНЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В СЕТЯХ  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ВЫБОР ЗАЩИТНОГО УСТРОЙСТВА. . . . . 222

**Сиринова М.С., Куркина В.В.**

*(г. Санкт-Петербург)*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ДАТЧИКОВ  
ПО ЭНТРОПИЙНОМУ КРИТЕРИЮ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДИАГНОСТИРУЕМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. . . . . 227

**МАТЕРИАЛЫ**  
**IV Международной научно-практической конференции**  
**обучающихся и преподавателей**  
**«ЭНЕРГЕТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**В СОВРЕМЕННОМ ОБЩЕСТВЕ»**

2021 • Часть 1

Редактор и корректор Л. Я. Титова  
Технический редактор Л. Я. Титова

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:  
электронное устройство с программным обеспечением  
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 24.06.2021 г. Рег.№ 42/21

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.