

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия архитектуры  
и строительных наук  
Ассоциация строительных вузов  
Правительство Белгородской области  
Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова

**Международная научно-практическая  
конференция, посвященная 65-летию  
БГТУ им. В.Г. Шухова**

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
И ИННОВАЦИИ  
(XXIII научные чтения)**



**Сборник докладов  
Часть 11**

**29 апреля  
Белгород 2019**

УДК 001.2  
ББК 72+65.291  
М 43

**Наукоемкие** технологии и инновации: эл. сб. докладов  
М 43 Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2019.  
– Ч. 11. – 67 с.

ISBN 978-5-361-00698-4

В сборнике представлены результаты исследований, направленных на современные проблемы энергосбережения и альтернативной энергетики.

Материалы сборника предназначены для научных и инженерно-технических работников научно-исследовательских и производственных организаций и могут быть полезны для преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов вузов.

*Редакционная коллегия:* канд. техн. наук, доц. А.В. Белоусов,  
канд. техн. наук, доц. В.П. Кожевников.

УДК 001.2  
ББК 72+65.291

ISBN 978-5-361-00698-4

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Авербух М.А., Шутенко Д.А.</b> Оценка гололедных явлений в системе электроснабжения Томаровки.....	4
<b>Grishko В.М., Belovodskaya I.I., Panisheva Y.S.</b> Alternative energy. Сгуюenergy.....	9
<b>Боровская О.Ю., Горбачев Ю.Ю.</b> Энергия Солнца .....	11
<b>Губарева Е.А.</b> Понятия, ограничения и проблемы развития альтернативной энергетики в России.....	13
<b>Губарева В.В., Маслов К.А.</b> Утилизация твердых бытовых отходов – проблема энергосбережения и экологии.....	18
<b>Губарева В.В., Маслов К.А.</b> Котел-утилизатор как способ сокращения вредных выбросов.....	22
<b>Лукин С.В., Бахвалов М.А., Породовский Д.В.</b> Моделирование работы кауперов доменных печей при обогреве конвертерным газом .....	25
<b>Лукин С. В., Царёв Р.В., Петров И.А.</b> Увеличение электрической мощности турбоустановки Т-100-130 на ТЭЦ-ПВС ПАО "Северсталь" за счет подогрева питательной воды теплотой от утилизационных установок .....	30
<b>Лукин С. В., Антонова Ю.В., Левашев К. В., Збродов А.А.</b> Моделирование энергосберегающих режимов тепловой обработки заготовки квадратного сечения на линии «сортовая МНЛЗ – термос – нагревательная печь».....	34
<b>Прасол Д.А., Погорелов А.В.</b> Анализ работы пассивных фильтров высших гармоник в рудничной системе электроснабжения подъемных установок .....	39
<b>Прасол Д.А.</b> Оценка фактического вклада случайного процесса изменения нагрузки в высоковольтной рудничной сети в токи искажения и токи высших гармоник.....	44
<b>Прокопишин Д.И.</b> Применение датчиков тока на основе эффекта холла для измерения высших гармоник .....	49
<b>Сапрыка А.В., Рошубкин П.В., Вендин С.В.</b> Влияние вольт-амперных характеристик газоразрядных ламп на работу осветительных установок в городских электрических сетях .....	54
<b>Сибирцева Н.Б., Федоров Д.В.</b> Возможности автоматизированного управления смесителем периодического действия .....	59
<b>Соболь Т.Г., Ревин Д.В., Панищева Ю.С.</b> Гелиоэнергетика в России и в мире.....	64

## ОЦЕНКА ГОЛОЛЕДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТОМАРОВКИ

Авербух М.А., д-р техн. наук,  
Шутенко Д.А., бакалавр

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются климатические особенности Томаровки, приведены среднегодовые значения температуры, ее максимальные и минимальные значения, также в данной статье произведен механический расчет опоры, с целью выявления действующих на нее нагрузок.

**Ключевые слова:** среднегодовая температура, климатический район, район по гололеду, удельная нагрузка.

Томаровка — это посёлок городского типа в Яковлевском районе Белгородской области России. Расположен в верховьях реки Ворсклы, притока Днепра. В Томаровке средняя годовая температура составляет 6,7 °С, выпадает около 575 мм осадков в год даже во время самого засушливого месяца. Самый теплый месяц года - Июль со средней температурой 19,7 °С. Средняя температура в Январь - -7,7 °С. Это самая низкая средняя температура в течение года [1].

Изменения температуры в течение статистического года представлены в таблице 1 [1].

Таблица 1 - Годовые значения температуры

	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средняя температура (°С)	-7.7	-6.8	-1.4	8	15	18.2	19.7	19	13.6	6.8	0.3	-4.3
Минимум (°С)	-10.8	-10.1	-4.6	3.4	9.6	13	14.6	13.6	8.7	2.9	-2.3	-6.9
Максимум (°С)	-4.5	-3.5	1.9	12.7	20.4	23.5	24.9	24.4	18.5	10.8	2.9	-1.6

Количество осадков в самом влажном месяце и количество осадков в самом засушливом отличаются на 41 миллиметр. Изменение средней температуры и продолжительности всего года составляет 27,4 °С [1]. Томаровка, будучи в составе Белгородской области, относится ко 2-3

району по гололеду, для которых нормативная толщина стенки гололеда составляет 5-10 мм соответственно, район по давлению ветра 2, и, следовательно, максимальное ветровое давление составляет  $-40 \text{ даН/м}^2$ , максимальная скорость ветра 25 м/с с повторяемостью 1 раз в 5 лет.

На рисунке 1 представлен фрагмент поперной схемы электроснабжения Томаровки с эскизами размещения опор.

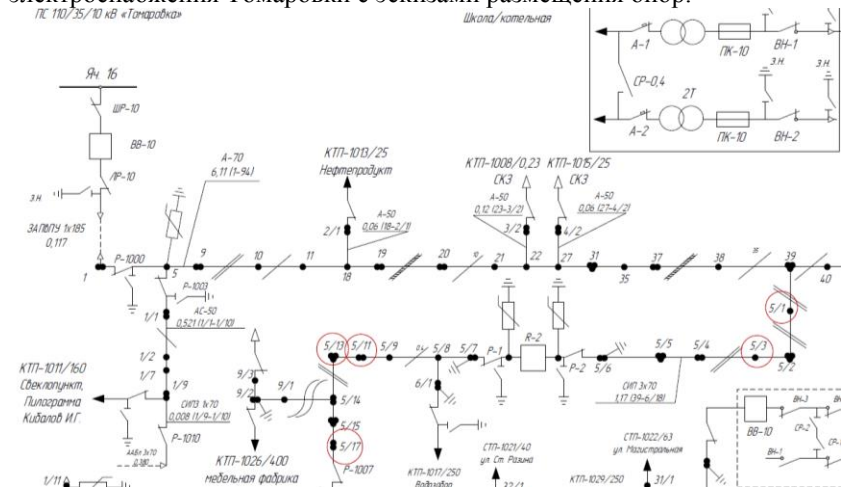


Рисунок 1 - Фрагмент поперной схемы электроснабжения Томаровки

Как следует из вышесказанного толщина гололеда может достигать критических значений в весенне-осенний период и во время оттепели. Для определения средств и технических решений по борьбе с гололедом необходимо произвести механический расчет на примере ЛЭП 10 кВ.

Рассмотрим промежуточную опору П20-3Н с самонесущим изолирующим проводом. Технические параметры СИП3 1х70 представлены в таблице 2 [3, стр. 123].

Таблица 2 - Технические параметры СИП3х70

Диаметр несущей жилы, мм	Диаметр провода, мм	Масса провода, кг/м	Разрывное усилие несущей жилы, кН	Модуль упругости несущей жилы, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент линейного расширения, град <sup>-1</sup>
$d_0$	$d$	$\rho_1$	$T$	$E$	$\alpha$
9,95	15	0,282	20,6	6250	$23 \times 10^{-6}$

Фактическое сечение несущей жилы провода:

$$F_0 = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{3,14 \times 9,95^2}{4} = 77,717 \text{ (мм)}$$

Произведём механический расчет используемого провода для оценки действующих на него нагрузок. Также при ведении расчет мы принимаем все виды обледенения, как чистый гололед цилиндрической формы плотностью  $g_0 = 900 \text{ кг/м}^3$ , и что гололедная стенка обладает одинаковой толщиной по всей своей длине [4, стр. 31]. Поскольку максимально допустимые значения толщины стенки гололеда для Белгородской области и Томаровки соответствуют третьему району по гололеду, то и весь дальнейший расчет будем вести с учетом именно этих значений [2, п.2.4.11., табл.2.5.1.].

1. Удельная нагрузка от собственного веса провода –  $\lambda_1$  [4, стр. 30]:

$$\gamma_1 = \frac{\rho_1}{F_0} = \frac{0,282}{77,717} = 3,629 \times 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

2. Удельная нагрузка от веса гололеда  $\lambda_2$ . Коэффициент надежности по ответственности равен: 1 - для ВЛ до 220 кВ; региональный коэффициент принимаем  $K_p = 1,6$  - для районов III и выше; коэффициент условий работы  $K_d = 0,5$ .

$$\gamma_2 = \frac{\rho_0 \times \pi \times b_r \times (d + b_r) \times K_n \times K_p \times K_f \times K_d}{F_0} = 0,109 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

3. Удельная нагрузка от собственного веса провода и веса гололеда –  $\lambda_3$  [5, стр. 60]:

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2 = 0,109 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

4. Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу при отсутствии гололеда –  $\lambda_4$ ; Коэффициент, учитывающий влияние длины пролета на ветровую нагрузку, равный 1,2 при длине пролета до 50м;  $K_1 = 1,2$ ; Коэффициент неравномерности давления, оказываемого ветром по пролету ВЛ, равен 0,85 при давлении ветра 40 даН/м<sup>2</sup>; коэффициент лобового сопротивления, для СИП равен 1,1; коэффициент надежности по нагрузке ветра равен 1,1 [5, стр. 61].

$$\gamma_4 = \frac{q \times K_1 \times \alpha_\omega \times C_x \times K_n \times K_p \times K_f \times d}{F_0} = 14,293 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

5. Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу, при наличии гололеда –  $\lambda_5$   $q = 0,25 \times q_{max}$  [5, стр. 61]

$$\gamma_5 = \frac{q \times K_1 \times \alpha_\omega \times C_x \times (d + b_r) \times K_n \times K_p \times K_f}{F_0} = 5,955 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

6. Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода без гололеда –  $\lambda_6$  [5, стр. 62]:

$$\gamma_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_4^2} = 14,293 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

7. Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода, покрытого гололедом –  $\lambda_7$  [5, стр. 62]:

$$\gamma_7 = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2} = 14,293 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$$

По статистике каждые раз в три года зима и осень в Белгородском районе более влажные с оттепелями. И в эти периоды толщина гололеда достигает 15 мм, что превышает норму. Поэтому обозначим режим, учитывающий толщину стенки гололеда в 15 мм, как аварийный и рассчитаем нагрузки. Расчет ведется аналогично. Полученные значения представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Значения нагрузок

	Для III района по гололеду	Для гололеда толщиной 15 мм
Удельная нагрузка от собственного веса провода – $\lambda_1$	3,629 $\times 10^{-3} \left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	3,629 $\times 10^{-3} \left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от веса гололеда $\lambda_2$	0,109 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	0,16 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от собственного веса провода и веса гололеда – $\lambda_3$	0,109 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	0,163 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу при отсутствии гололеда – $\lambda_4$	14,293 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	14,293 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от давления ветра, действующего перпендикулярно проводу, при наличии гололеда – $\lambda_5$	5,955 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	7,146 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода без гололеда – $\lambda_6$	14,293 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	14,293 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$
Удельная нагрузка от давления ветра и веса провода, покрытого гололедом – $\lambda_7$	5,956 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$	7,148 $\left( \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2} \right)$

Таким образом проведенные расчеты показали, что при допустимых значениях толщины стенки гололеда для Яковлевского района Белгородской области удельные нагрузки от веса гололеда составили  $0,109 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$ . С учетом ветровых нагрузок удельная нагрузка увеличена до  $5,956 \frac{\text{Н}}{\text{м} \times \text{мм}^2}$ . Даже в этом случае могут возникнуть аварийные явления, такие как обрыв проводов или разрушение изоляторов. При возможных максимальных значениях толщины стенки гололеда (15 мм) удельная нагрузка с учетом ветрового давления

составляет  $7,148 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ , а значит вероятность обрыва и разрушения изоляторов многократно возрастает, что подтверждается статистическими наблюдениями.

#### Список литературы:

1. <http://weatherarchive.ru/Pogoda/Belgorod#4>;
2. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7, Раздел 2. Глава 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ, Климатические условия и нагрузки. - М.: ЗАО «Энергосервис», 2009.-280 с;
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 592 с.
4. К.П. Крюков Конструкции и механический расчет ЛЭП, Л.: Энергия, 1979, — 312 с., ил.; Издание 2-е переработанное и дополненное.;
5. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование. Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., испр. и доп. - Мн.: Выш. шк., 1988. - 308 с., ил.



## ALTERNATIVE ENERGY. CRYOENERGY.

**Grishko B.M., senior lecturer,  
Belovodskaya I.I., senior English lecturer,  
Panisheva Y.S., 1<sup>st</sup> year student**  
*Schuhov Belgorod State Technological University,  
Belgorod, Russia.*

**Annotation.** This article considers the most modern type of alternative energy, which is able to replace exhaustible energy sources - cryoenergy. Reveals the principle of work and prospects of its development.

**Keywords:** alternative energy, cryoenergy, ecology.

Cryoenergy is the accumulation of excess energy by liquefying air in refrigeration units. This new product is already used in England. In power grids there are daily load drops and liquefaction of atmospheric air in the cryogenic accumulating power plant, made it possible to equalize the generation of energy from unstable sources (wind and solar power plants). For more than a hundred years, the components of the cryoaccumulator have been invented, but only today the idea has come to combine them all into one device.

As well as the idea of accumulating temporarily unclaimed energy, the installation itself and the principle of its operation are very simple. To accumulate excess energy, the air is cooled to a temperature of -196°. As a result of cooling, nitrogen and oxygen gases pass into a liquid state, which makes it possible to pump this liquid mixture into the storage with minimal losses. The storage is built in essence as a thermos, liquid air can be stored up to 7 days at atmospheric pressure. Further, in the event of a load drop in the power supply, the accumulated liquid air is used to equalize the load. The air from the storage enters the evaporator. In the evaporator, the air expands up to 700 times and thus drives the turbine. This is absolutely not necessary preheating, enough of the small temperature difference that would have been an abrupt release of stored energy of a liquid mixture.

The efficiency and effectiveness of the idea was tested on an experimental installation power, which is 5kW. At a large thermal power plant with a capacity of 100 MW, the cryogenic battery collected energy, which was saved at night with an efficiency of 50%, and if forced heating of the liquid mixture is used, the efficiency reaches 70%. And this figure is equal to the efficiency of the accumulating station.

Therefore, the whole cycle of cryoaccumulator operation can be divided into 3 stages:

— Liquefying the air mixture. Air enters the system by means of compressors, and it must be cleaned of various impurities. Dust and other solids remain in the filters, and two-layer adsorbers are used to purify the air from moisture, CO<sub>2</sub> and hydrocarbons.

— Storage in the liquid state. Dry and hot air enters the two-stage refrigeration unit, pre-air mixture under pressure is compressed to 40 ATM. In a cryogenic installation, the air, powering the turbine and cooling, loses a lot of thermal energy. Then the air mixture enters the expansion chamber at a slow rate. As a result, most of the air passes into the liquid phase with a temperature of -196°, and that part of the air that remained in the gaseous state, is fed back to the refrigeration unit. Liquid air is stored at atmospheric pressure in criteriaso that have double insulation.

— Release of energy. This process takes about 20 minutes. The release of energy occurs only when it is necessary to equalize the load in the mains. Therefore, with the help of powerful pumps, liquid air is pumped out of the storage and pumped into the evaporator. A sharp change in temperature leads to an instant expansion of the air. The rapid expansion drives the turbine, which in turn transmits torque to the gearbox and generator.

Cryoenergy has a great future, as the accumulation of excess energy does not require large areas and a special landscape as a hydroelectric power plant. The use of this new product will provide an opportunity to support and ensure the stable operation of unstable energy sources. Also, we would like to note the absolute environmental friendliness.

#### **References:**

1. "Большая советская энциклопедия", М., 1985 г.
2. Вендак О.Г., Гарин Ю.Н. "Криогенная электроника, М., 1977 г.
3. Джалли У.П. "Криоэлектроника", М., 1975 г.

## ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА

**Боровская О.Ю., ст. преподаватель,  
Горбачев Ю.Ю., студент гр. Э-11.**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** Из-за уменьшения объемов исчерпаемых ресурсов нынешнее общество ищет пути выхода из энергетического тупика. В качестве решения проблемы люди нашли нетрадиционные, или же как принято говорить, нетрадиционные источники энергии. Мы же рассмотрим энергию солнца, укажем как преобразуют его энергию и составим список достоинств и недостатков такого типа энергии.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, альтернативный источник, энергия солнца, солнечная панель, электростанция.

В современном технологическом мире развивается тенденция к поиску нетрадиционных источников энергии. В связи с тем, что ресурсы в виде нефти, газа, угля и т. д. рано или поздно иссякнут. Этот тип источника энергии является исчерпаемым. Неиссякаемые источники включают энергию атома, ветра, воды, тепла земли, солнца. Мы рассмотрим энергию солнца.

Солнечная энергия - это тип энергии, основанный на использовании солнечного света для выработки энергии в любой форме.

Методы преобразования солнечной энергии для производства различных типов энергии можно разделить на следующие типы (которые будут рассматриваться далее): электрическая и гелиотермальная. Помимо вышеперечисленных типов есть солнечные азростанции, термоэлектростанции.

Получение электрической энергии из энергии солнца основано на том факте, что солнечные лучи падают на фотоэлемент солнечной батареи, после чего возникает разность потенциалов и возникает ток. В настоящее время использование солнечных элементов широко распространено в различных видах человеческой деятельности. Так, солнечные батареи можно использовать для перезарядки батарей различной бытовой техники, для подзарядки электромобилей, для обеспечения электричеством зданий (крыши зданий сделаны из фотоэлементов) или небольших населенных пунктов, космической промышленности.

Китай - колыбель большой плавающей солнечной фермы. Его мощность составляет 40 МВт. Это решение является наиболее

выгодным для представителей поднебесной, так как меньше земли занято, испарение влаги с поверхности водоемов значительно меньше, что является отличной системой охлаждения для оборудования.

Солнечная тепловая энергия. Здесь подход другой, потому что солнечные лучи используются для нагрева сосуда жидкостью. Из-за превращения воды в пара приходит в движение паровая турбина. Самый яркий пример этой технологии - солнечная электростанция «Иванп» в пустыне Мохаве. Это самая большая солнечная тепловая станция в мире.

В конце я хотел бы подвести итог, указав преимущества и недостатки солнечной энергии.

Преимущества включают в себя следующее:

- Экологичность
- Низкая стоимость энергии
- Неиссякаемый источник энергии
- Наличие производства энергии
- индивидуальность
- Перспектива

К минусам относятся:

- Низкая эффективность
- Зависимость от погодных условий
- Зависимость от времени суток
- Высокая стоимость технологии производства оборудования

#### **Список литературы:**

1. Гибилиско Стэн Альтернативная энергетика без тайн/ Стэн Гибилиско [перевод с английского А.В. Соловьева]. – М. Эксмо, 2010 - 368 с.
2. <https://alter220.ru/solnce/solnechnaya-energiya.html>
3. <http://topor.info/hi-tech/solnechnaya-energetika>

## ПОНЯТИЯ, ОГРАНИЧЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

Губарева Е.А.

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** В данной статье представлен обзор состояния развития альтернативной энергетики в России. Рассмотрены факторы, которые сдерживают развитие нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в нашей стране. Так же предложены пути решения сложившихся противоречий. Показана необходимость преодоленного развития альтернативной энергетики для повышения энергоснабжения, энергетической и экологической безопасности.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии, природные ресурсы.

Источником энергии называется материальный объект или процесс, содержащий в себе или выделяющий энергию, которая может быть использована в социальных целях. Для того, чтобы понять, что вообще представляет собой альтернативная энергетика в России, необходимо разобраться с тем, что называется альтернативной энергетикой. Если сказать кратко, то альтернативная энергетика – это способ или устройство, позволяющее получать требуемый вид энергии из энергии возобновляемых или практически неисчерпаемых природных ресурсов и явлений и заменяющее собой традиционный источник энергии, функционирующий на нефти, газе или угле.

К возобновляемым источникам энергии относятся: солнечная, энергия вод, ветровая, приливная, геотермальная энергия и многие другие источники энергии.

На мой взгляд, для того, чтобы развивать альтернативную энергетику, не нужно проводить геологическую разведку или обладать месторождениями с запасами топлива, ведь возобновляемые источники энергии доступны в любой точке мира. Так же очень весомым аргументом является отсутствие выбросов и какого-либо вреда окружающей среде.

В связи с этим роль альтернативных источников энергии возрастает с каждым днем все больше и больше. Причиной этому можно назвать как загрязнение атмосферы, так и прогнозы специалистов об исчерпании традиционных энергетических ресурсов в виде нефти, газа,

угля. По некоторым данным при текущем уровне добычи разведанных запасов нефти в России хватит менее чем на 30 лет, поэтому интерес к альтернативным источникам стабильно растет.

Сейчас в разных частях нашей страны существует небольшое количество объектов альтернативной энергетики. Например, в Московской области, Карелии, на Кавказе, недалеко от Уфы и Оренбурга расположены объекты малой гидроэнергетики. Крупнейший в стране агропромышленный регион - это Белгородская область. Здесь впервые в стране решились на эксперимент, попробовали в деле разные источники альтернативной энергии и выбрали самый эффективный для области. Для этого в 2010 году был построен полигон. Именно в нашем регионе, с помощью проб и ошибок, выясняли, насколько выгоден данный метод Российской Федерации в средней полосе. В итоге выяснялось, что солнца достаточно, но станции занимают большие площади, а для сельскохозяйственного региона это критично. После солнечного света, решили использовать ветер. Он оказался слишком слабым, и ставку сделали на биогазовую станцию. В качестве топлива стали использовать отходы животноводства и переработки растительного сырья. По итогам исследования Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ), граждане России видят в альтернативной энергетике высокий потенциал.

Энергетика на основе возобновляемых источников энергии в России развивается в основном по трем направлениям: солнечная энергетика; ветроэнергетика и малая гидроэнергетика.

Основным ограничением в развитии возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России выступает их низкая конкурентоспособность по отношению к централизованному электроснабжению, что связано как с фактором высоких капитальных затрат, так и с ограниченной эффективностью объектов ВИЭ. К тому же, в 2015 г. коэффициент использования установленной мощности (КИУМ<sup>2</sup>) солнечных электростанций в Единой энергетической системе России (ЕЭС) составил 8,43%, ветровых электростанций – 6,75% при среднем уровне по ЕЭС 50,25%. Тем не менее, объекты ВИЭ, согласно Минэнерго РФ, имеют широкий потенциал в изолированных и удаленных энергорайонах России, а также в качестве резервных источников энергии в целях повышения надежности энергоснабжения.

Нормальному развитию альтернативной энергетики мешают, прежде всего, высокие капитальные затраты. Создание генерирующих объектов на основе ВИЭ приходится финансировать в основном за счет введения дополнительной платы за мощность для всех потребителей

оптового рынка электрической энергии и мощности. Помимо этого, негативное влияние оказывают:

- отсутствие определенной стимулирующей политики в "зеленой" энергетике, в т. ч. за счет дотаций от государства;
- стагнация экономики и избыток существующих генерирующих мощностей;

Теоретически стоимость электроэнергии, получаемой на основе ВИЭ, может быть сравнима с электроэнергией, производимой на АЭС. При этом она дешевле, чем на ТЭС. В условиях российского рынка при внутренних ценах на топливо, высокой доле импортного оборудования и отсутствии системной поддержки такие объекты альтернативной энергетики могут быть низкорентабельными. Длительные сроки окупаемости и высокие инвестиционные риски (особенно в регионах со слабо развитой инфраструктурой), как правило, не позволяют покрыть даже процентные расходы по обслуживанию привлеченного финансирования.

Перечислю пункты, которые значительно увеличивают инвестиционные затраты и риски:

1. На российском рынке отсутствует прямой спрос потребителей на электроэнергию (мощность), произведенную на основе ВИЭ, ввиду ее высокой стоимости. Существующая система реализации сформирована искусственно ("сверху"), а дополнительные затраты равномерно распределены между всеми участниками рынка мощности независимо от того, являются они потребителями ВИЭ или нет. Понятно, что такая "модель" имеет естественные и достаточно узкие границы применимости.

2. Особенности ВИЭ учитываются только на рынке мощности. Квоты на участие ВИЭ в рынке мощности и ставка по дополнительной плате за мощность являются предметом государственного регулирования, в связи с этим инвестор находится в прямой зависимости от регулятора и несет значительные дополнительные риски.

3. Значительная часть рисков связана со стохастичностью и значительной суточной, сезонной неравномерностью, региональной неоднородностью режимов выработки электроэнергии на базе ВИЭ.

В рамках государственной энергетической стратегии обозначены две основные задачи развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии до 2040 года:

1. Развитие отечественной научно-технической базы и освоение передовых технологий в области использования НВИЭ.

2. Ввод новых генерирующих мощностей, функционирующих на основе НВИЭ, при условии их экономической эффективности;

В качестве побуждающего механизма предусмотрены следующие меры:

- создание системы контроля и статистической отчетности о выполнении целевых показателей по вводу мощности и производству электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии;
- субсидирование процентных ставок по кредитам, привлеченным для развития производства организациями, производящими энергию на основе НВИЭ;

- устранение барьеров при подключении установок возобновляемой энергетики к сетям общего пользования; возмещение платы за технологическое присоединение к сетям;

- государственное финансирование научно-исследовательских работ и пилотных проектов в области НВИЭ;

- стандартизация и контроль качества оборудования НВИЭ;

Одной из главных проблем для всех занимающихся альтернативной энергетикой в России является отсутствие господдержки, а также отсутствие нормативно-правовой базы для этого рода деятельности.

Среди других проблем следует отметить отсутствие выгоды от вложений в эту сферу, а также неконкурентоспособность электростанций, использующих альтернативные источники энергии, по сравнению с использующими традиционные.

Следует отметить, что в период с 2000 до 2010 год процент использования возобновляемых источников в России увеличился. Можно утверждать, что причиной этого стало большее использование традиционно возобновляемых источников – например таких, как отходы деревообрабатывающей промышленности.

Ещё одним важным недостатком является отсутствие необходимой инфраструктуры для развития этой энергетики, а также недостаток кадров, способных работать в этом направлении, особенно высококвалифицированных. Причины этого заключаются в том, что инвестиции в эту сферу пока что невыгодны, поэтому их практически нет. Даже несмотря на то, что альтернативные источники энергии в России имеются в большом достатке. Данную проблему способна решить господдержка, хотя бы на ранних стадиях проектов, пока они не достигнут окупаемости.

Исходя из всех рассуждений можно сделать вывод, что если принять во внимание богатое разнообразие природных условий нашей страны, то для развития альтернативной энергии есть все условия.



Например, Алтайский край практически не уступает условиям инсоляции Испании, который способен не только системы электрической генерации, но также и солнечного теплоснабжения. Можно сказать, что путь к полноценному использованию энергии ветра, солнца, биомассы и воды в России может оказаться долгим.

## **УТИЛИЗАЦИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ – ПРОБЛЕМА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ**

**Губарева В.В., доцент,  
Маслов К.А., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова*

Помимо промышленных загрязнений в России на сегодняшний день остро встает вопрос об утилизации бытовых отходов. Так как места складирования мусора переполнены, а ущерб, который они приносят окружающей среде непоправим.

Ежегодный рост объемов твердых коммунальных (бытовых) отходов, образующихся ежегодно на душу населения, в разных странах различен и составляет, например, в США – 50 т; в России – 18 т; в Молдавии – 0,5 т. Именно увеличение объемов отходов является главным фактором снижения безопасности окружающей среды и разрушения природных ландшафтов.

Утилизация отходов путем их захоронения требует отчуждения огромных площадей земель, пригодных для сельскохозяйственного производства, поэтому целесообразно использование более эффективных способов утилизации отходов, одним из которых является их переработка с получением энергии.

В России исторически сложилось, что под фразой «утилизация отходов с получением энергии» традиционно понимается практика сжигания мусора, что нашло отражение в названии заводов, которые утилизируют отходы методом прямого сжигания, – «мусоросжигательные». Но, в настоящее время, появились технологии нового поколения для утилизации отходов, которые позволяют получать энергию, и поэтому смысловое содержание понятия «мусор» значительно расширилось и стало включать в себя различные отходы, которые обладают значительным потенциалом как возобновляемый источник энергии: промышленные отходы, сельскохозяйственные отходы, отходы и побочные продукты производства, муниципальные твердые отходы – твердые коммунальные бытовые отходы (ТКБО). [1]

Наряду с общепринятыми (традиционными) схемами сжигания ТКБО с использованием полученной тепловой и электрической энергии в системах энергоснабжения городов, имеется богатый опыт европейских стран схемных решений, приводящих к комбинированным источникам энергоснабжения. В составе таких источников используется

наряду с технологическими линиями обезвреживания ТКБО с выработкой энергии не только энергетическое оборудование в виде парогенераторов, но и газотурбинные установки (ГТУ), парогазовые установки (ПГУ).

Опыт эксплуатации многочисленных зарубежных предприятий по термической переработке ТКБО показывает, что современная ТЭС на ТКБО является экологически безопасным предприятием. Концентрация регламентируемых веществ в газообразных продуктах сгорания ТКБО не превышает принятых в ЕС нормативных значений, что обеспечивает экологически безопасную эксплуатацию таких предприятий. Образующиеся золошлаковые остатки могут быть переработаны в инертный продукт для последующего использования, например, в дорожном строительстве, на территории самой ТЭС.

Для увеличения рынка вторсырья в развитых зарубежных странах сегодня применяются различные механизмы влияния – требования по обязательному применению вторсырья при выпуске новых товаров (в процентах) и льготное кредитование подобных производств. Также, в европейской системе госзакупок предусматриваются преимущества для таких предприятий и организаций, которые производят или поставляют товары и продукцию, которые производятся из вторичного сырья либо же с использованием вторсырья. [2]

Перспективы использования в России твердых бытовых отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов связаны с принятием законодательных документов, направленных на существенное сокращение полигонного захоронения, по крайней мере, для крупных городов, и повышение заинтересованности энергетических компаний в развитии возобновляемых источников энергии, а также активном внедрении новых технологий в области переработки.

В последние годы значительно возросло содержание цветных металлов в составе ТКБО за счет появления в обороте алюминиевых банок и пластмассовых упаковочных материалов – бутылок из полиэтилентерефталата (ПЭТ-бутылок) с одновременным снижением содержания пищевых отходов к общей массе ТКБО. Произошедшие и прогнозируемые изменения состава отходов подтверждают необходимость их раздельного сбора и сортировки перед утилизацией. [3]

В рамках проблемы утилизации ТКБО был разработан «всеядный» твердотопливный котел «Шелон-100». Он может отлично работать на любом твердом топливе, от высокоэнергетического угля и кокса до низкокалорийных древесных отходов и котельных шлаков. Может

сжигать самые грязные отработанные масла без образования сажи. Подобные эксперименты на этих котлах подталкивают к следующему шагу – сжиганию бытовых отходов.

Твердые несортированные бытовые отходы загружаются сверху на наклонную решетку, где они сначала сушатся, а затем начинают разлагаться с выделением тепла. Кокс, оставшийся после реакции, сгорает в камере сгорания, а зола выливается в емкость. Количество неорганической золы в несколько раз меньше количества получаемой ТКБО. Выхлопные газы после камеры сгорания поступают в теплообменник для нагрева воды до температуры кипения. Воду используют для отопления и горячего водоснабжения, пар поступает в паровой двигатель (или турбину) для выработки электроэнергии. При необходимости, на дальнейших путях газов устанавливаются пылевой фильтр и скруббер с известковой водой. Дополнительного топлива для процесса не требуется. [4]

Основные проблемы сжигания мусора связаны с вредными выбросами. Для их значительного снижения необходимо выбрать температурный режим и оптимальный объем подачи воздуха, как первичного, так и вторичного. Чем выше температура сгорания топлива, тем более полно оно сгорает и тем меньше образуется окиси углерода, но при высокой температуре образуются оксиды азота, которые неблагоприятно влияют на окружающую среду. Часть этого противоречия может быть разрешена путем применения кислорода вместо воздуха, но при сжигании отходов этот метод не даст результатов, т.к. азот также может содержаться в самих отходах. [6]

Гораздо лучший эффект может дать частичная рециркуляция дымовых газов. Необходимо провести разделение газового потока на углекислый газ и азот, которые должны быть удалены в атмосферу и другие газы, идущие на повторный цикл. Обычный циклон можно использовать для отделения газов, но поток газа должен иметь очень высокую скорость.

Оптимизация соотношения подачи первичного и вторичного воздуха также очень сильно влияет на состав дымовых газов. Например, когда соотношение первичного и вторичного воздуха составляет 4 к 1, температура дымовых газов значительно ниже, а выход окиси углерода наоборот выше, чем при соотношении 1: 1. При соотношении 1 к 1.4, температура дымовых газов снова значительно уменьшается, а выбросы окиси углерода увеличиваются, но удельные выбросы уменьшаются.

Испытания опытной установки по сжиганию твердых отходов подтвердили возможность динамического разделения потока газа, а

установка позволила сжигать даже необработанный мусор. Полученные данные показали наличие выбросов оксидов азота и серы ниже европейских стандартов, но выбросы окиси углерода были получены как в газогенераторе. Поэтому дальнейшее развитие исследований будет проходить в двух направлениях:

- разделение дымовых газов в трубе на азот и диоксид углерода, а других газов для повторного дожигания;
- повышение теплотворной способности получаемого газа для его использования в качестве топлива двигателя внутреннего сгорания или турбины для выработки электроэнергии.

Использование, разработка и модернизация данного типа котлов выгодна т.к в энергетическом плане это колоссальная экономия энергии и возможность сделать технологию более дешевой, а в экологическом плане это утилизация отходов и снижение вредных выбросов в окружающую среду.

#### **Список литературы:**

1. Половняк В.К. Современные технические и технологические подходы к решению экологических проблем / В.К. Половняк // Вестник КНИТУ. – 2009. №4. – с. 17, 25.
2. Твёрдые бытовые отходы [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org> Википедия – свободная энциклопедия.
3. Сбор и удаление твердых бытовых отходов [Электронный ресурс]. – <http://allformgsu.ru/>
4. Способ экологически чистой переработки твердых бытовых отходов с производством тепловой энергии и строительных материалов и мусоросжигательный завод для его осуществления (RU 2502017) – патент.
5. Сачков А.Н., Никольский К.С., Маринин Ю.И. / О высокотемпературной переработке твердых отходов во Владимире / Экология городов. — М.: 1996. — 331 с.
6. Горбачева Л. А. Зарубежный опыт мусоросжигания. // Энергия: экономика, технология, экология. — 2009. № 7. и — 49–54 с.

## КОТЕЛ-УТИЛИЗАТОР КА СПОСОБ СОКРАЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ

Губарева В.В., доцент,  
Маслов К.А., студент

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова*

Одной из характерных особенностей работы промышленных предприятий является то, что в отработанных газах, которые выбрасываются в окружающую среду, может содержаться достаточно большое количество вредных примесей. Они могут быть в твердом, жидком или газообразном виде. Например, в металлургии, твердые частицы представляют собой фрагменты металла, шихты, шлака или окалины. Жидкие частицы в виде мельчайших капелек являются результатом плавки металлов. Газообразные отходы (окись и двуокись углерода, оксиды азота и серы, фториды и др.) представляют собой, как правило, продукты неполного сгорания топлива или продукты химических реакций. Образование этих производственных отходов связано с повышенными температурами, используемыми в металлургической промышленности.

Для того чтобы уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду, а также снизить потери тепла с отходящими газами можно использовать котлы-утилизаторы и энерготехнологические котлы.

Котел-утилизатор представляет собой устройство, работающее на тепловой энергии, получаемой из отходящих газов дизельного и газотурбинного оборудования, а также обжиговых печей. Такие котлы используют энергию, которая в противном случае была бы потрачена впустую, потому что на промышленных предприятиях значительная часть газов просто выбрасывается в атмосферу. Между тем, температура отходящих газов может достигать до тысячи градусов, поэтому было бы нерационально не использовать такую энергию. Котлы-утилизаторы позволяют использовать тепло отработавших газов, тем самым увеличивая КПД использования топлива. Помимо этого, они позволяют снизить выбросы газообразных вредных веществ, например, оксидов углерода и серы, в атмосферу за счет их дожигания. [1]

Рассмотрим использование котла-утилизатора в промышленности на примере получения стали в сталеплавильных агрегатах-конвертерах

путём продувки жидкого чугуна воздухом или кислородом. В конвертерном цехе основными источниками загрязнения окружающей природной среды являются пылегазовыделения в атмосферу.

Эти высокотемпературные выделения подразделяют на организованные, к которым относят улавливаемые при выходе из горловины конвертера отходящие газы, и неорганизованные, которые обычно не улавливаются и поступают в атмосферу цеха. Неорганизованные выделения происходят периодически – при заливке чугуна, загрузке лома, сливе металла и шлака, повалках конвертера, при выбивании газов через зазор между горловиной и входом в газоотводящий тракт; эти выделения содержат пыль, тепло и ряд вредных газов (в различных случаях это CO, оксиды азота и серы, фториды).

Еще большее загрязнение окружающей среды могут вызывать отходящие из конвертера газы из-за большого их количества и высокого содержания в них пыли. Эти газы представляют собой продукты окисления углерода и при верхней продувке содержат 83...89 % CO, 9...11 % CO<sub>2</sub>, < 5 % N<sub>2</sub>, < 3 % O<sub>2</sub>; их температура по ходу продувки возрастает с 1350 до 1700 °С.

Для данного вида промышленности был разработан котёл-утилизатор типа ОКГ-100-3А. Этот охладитель конверторных газов рассчитан на переработку 40 тыс. м<sup>3</sup>/ч конверторных газов. [2]

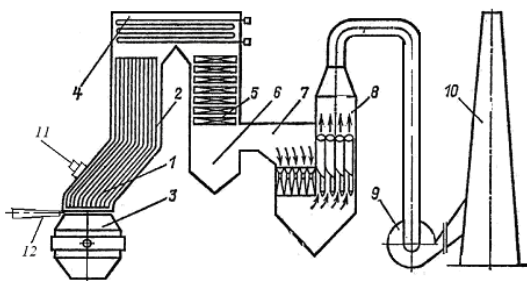


Рисунок 1. - Схема котла ОКГ-100-3А для сжиганий конвертерных газов и использования теплоты их сгорания: 1, 2 – наклонная и вертикальная части экранированного подъемного газохода; 3 – горловина конвертера; 4 – конвективный испаритель; 5 – экономайзеры; 6 – бункер; 7 – горловина; 8 – трубы Вентури; 9 – дымосос; 10 – труба; 11 – горелка для сжигания доменного газа; 12 – сопла острого дутья.

Конверторные газы поступают в охладитель через наклонный газоход в подъемный экранированный газоход, затем поворачивают в

переходный и далее в опускной конвективный, в котором размещены последовательно змеевиковые пакеты конвективной испарительной поверхности нагрева и экономайзер. После охладителей конверторных газов продукты сгорания подаются в систему газоочистки, а конверторный унос поступает в бункер под опускным газоходом. [3]

Во всех ОКГ предусмотрена двухступенчатая схема испарения: экранные поверхности нагрева радиационной части котла включены в чистый отсек барабана, а конвективные испарительные поверхности – в солевой. Питательная вода через экономайзер поступает в барабан котла, откуда по трубопроводам через шламоуловители подается циркуляционными насосами в экранные и конвективные поверхности нагрева. Полученная в этих поверхностях нагрева пароводяная смесь поступает в устройство для сепарации пара. Отсепарированный пар направляется в энергокомплекс конверторного цеха.

Оксид углерода (СО), содержащийся в значительном количестве в конверторных газах, сжигается в подъемном наклонно-вертикальном газоходе. Воздух, необходимый для горения СО, засасывается дымососом через зазор между горловиной конвертора и наклонным газоходом. [4]

Использование котла данного типа значительно снижает выбросы СО в атмосферу, а также температуру отходящих газов до 150...170°C, что делает данную отрасль более экологически чистой.

#### Список литературы:

1. А.П.Воинов Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты: учебник / А.П.Воинов, В.А.Зайцев, Л.И. Куперман М.: Энергоатомиздат, 2003 - 272 с.
2. Половняк. В.К. Современные технические и технологические подходы к решению экологических проблем / В.К. Половняк. Вестник КНИТУ. – 2009. №4. – 17-25 с.
3. Котлы-утилизаторы сталеплавильных конвертеров. Режим доступа: <https://znatock.org/s9287t1.html> (дата обращения 20.02.2019).
4. И. Н. Розенгауз Котлы-утилизаторы мартеновских печей / И. Н. Розенгауз. — Мн.: Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты, 1969 – 365 с.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КАУПЕРОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ОБОГРЕВЕ КОНВЕРТЕРНЫМ ГАЗОМ

Лукин С.В., д-р техн. наук, профессор,

Бахвалов М.А., аспирант,

Породовский Д.В., студент

*Череповецкий государственный университет*

**Аннотация.** В данной работе представлена математическая модель, описывающая тепловую работу воздухонагревателя доменной печи в периоды аккумуляции тепла и в период охлаждения, при переводе его на сжигание более калорийного конвертерного газа, периодически образующегося в сталеплавильном производстве.

**Ключевые слова:** Доменный воздухонагреватель, каупер, конвертерный газ, энергосбережение.

Конвертерный газ, образующийся при работе сталеплавильных конвертеров, из-за периодичности его выхода на российских металлургических комбинатах практически не используется и сжигается в свечах дожигания кислородно-конвертерного цеха. Основными предлагаемыми мероприятиями для утилизации теплоты сгорания конвертерного газа являются использование газгольдера или аккумуляторов теплоты. Оба направления требуют значительных капитальных затрат на строительство. Оценочный срок окупаемости, при существующих ценах на природный газ, составляет около 10 лет.

Наименее затратным способом использования конвертерного газа представляется его сжигание в существующих кауперах (воздухонагревателях) доменных печей. Данный способ также требует прокладки нового газопровода конвертерного газа до потребителя, но при этом отпадает необходимость в строительстве дорогостоящего оборудования. Однако, для реализации данного способа необходимо разработать технологию разогрева кауперов доменных печей конвертерным газом, который имеет теплоту сгорания примерно в два раза выше, чем обычно используемый доменный газ. Кроме того, в отличие от доменного газа, выходящего равномерно, конвертерный газ выходит из конвертеров периодически, и его сжигание в кауперах должно производиться во время его выхода. Поскольку каупер – это регенеративный теплообменник, его тепловая работа описывается нестационарной математической моделью.

С целью упрощения математической модели, насадку каупера можно представить из  $n$  одинаковых цилиндрических труб

температурное поле насадки зависит от радиуса  $r$ , координаты  $z$  по длине канала, и времени  $\tau$ .  $t_H = t_H(z, r, \tau)$ . Температура газа в канале зависит от координаты  $z$ , и времени  $\tau$ .  $t_G = t_G(z, \tau)$ .

На рис. 1 показана схема теплообмена газа с насадкой (для удобства изображения канал показан горизонтально, а не вертикально).

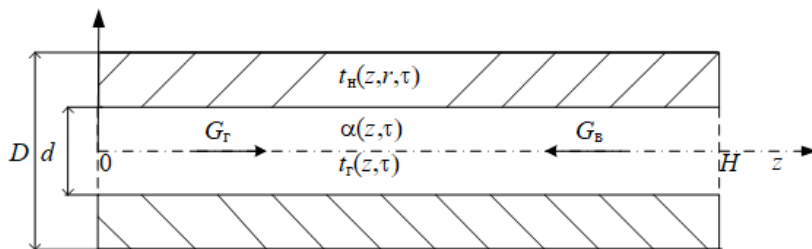


Рисунок 1 - Схема теплообмена газа с насадкой

На рис. 1 введены обозначения:  $\alpha(z, \tau)$  – коэффициент теплоотдачи от газа к насадке ( $\alpha_c$ ) в период аккумуляции, или от насадки к воздуху ( $\alpha_e$ ) в период регенерации;  $G_g$  – массовый расход греющих газов через один канал в период аккумуляции теплоты, кг/с;  $G_a$  – массовый расход воздуха через один канал в период регенерации теплоты, кг/с.

Рассмотрим период аккумуляции теплоты (период разогрева насадки), когда насадка разогревается продуктами горения конвертерного газа. Пусть в направлении оси  $z$  движется расход газа  $G_g = G_g(\tau)$ , причем через каждое сечение канала проходит один и тот же массовый расход  $G_g$  (объемный расход газа при этом значительно уменьшается вдоль канала). Например, при сжигании в регенераторе конвертерного газа качественное изменение расхода газа  $G_g$  может быть таким, как показано на рис. 2, где  $\tau_1 = 10-20$  мин – длительность периода продувки конвертера, когда выходит конвертерный газ с достаточным содержанием CO, обеспечивающим его горючесть;  $\tau_2 = 5-15$  мин – длительность межпродувочного периода, включая время, когда конвертерный газ негорючий. В действительности, зависимость  $G_g(\tau)$  может быть более сложной, или наоборот, при обычно применяемом разогреве каупера доменным газом – наиболее простой, когда  $G_g(\tau) = const$ .

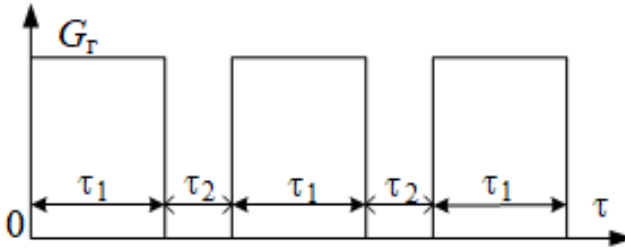


Рисунок 2 - Качественный график расхода греющего газа

Температурное поле газа в канале в моменты времени, когда  $G_g(\tau) > 0$  для точек  $0 < z < H$ , описывается уравнением:

$$G_r \cdot c_r \cdot \frac{\partial t_r(z, \tau)}{\partial z} + \Pi \cdot \alpha_r \cdot (t_r(z, \tau) - t'_n(z, \tau)) + c_r \cdot \rho_r \cdot S \cdot \frac{\partial t_r(z, \tau)}{\partial \tau} = 0, \quad (1)$$

где  $G_r$  – массовый расход воздуха в канале, кг/с;  $c_g = c_g(t_g)$  – массовая теплоёмкость газа, зависящая от его температуры, Дж/(кг·К);  $\rho_g = \rho_g(t_g)$  – плотность газа, зависящая от его температуры, кг/м<sup>3</sup>;  $\Pi = \pi d$  – периметр сечения канала, м;  $S = \pi d^2/4$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;  $\alpha_g = \alpha_g(z, \tau)$  – коэффициент теплоотдачи от газа к поверхности насадки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t'_n = t_n(z, r', \tau)$  – температура поверхности насадки.

Температуру газа в канале в моменты времени, когда  $G_g(\tau) = 0$ , можно принять практически равной температуре поверхности насадки:

$$t_r(z, \tau) = t'_n(z, \tau). \quad (2)$$

Температура поверхности насадки определяется выражением:

$$t'_n(z, \tau) = t_n(z, r, \tau) \Big|_{r=r'} = t_n(z, r', \tau). \quad (3)$$

Температурное поле насадки  $t_n(z, r, \tau)$  описывается дифференциальным уравнением:

$$c_n \cdot \rho_n \frac{\partial t_n(r, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_n \cdot \frac{\partial t_n}{\partial r} \right) + \lambda_n \cdot \frac{1}{r} \frac{\partial t_n}{\partial r} + \lambda_n \cdot \frac{\partial^2 t_n}{\partial z^2}, \quad 0 < z < H, \quad r' < r < r'', \quad (4)$$

где  $c_n = c_n(t_n)$  – теплоемкость насадки, зависящая от материала и температуры насадки, Дж/(кг·К);  $\rho_n$  – плотность материала насадки, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_n = \lambda_n(t_n)$  – коэффициент теплопроводности насадки, зависящий от материала и температуры насадки, Дж/(кг·К).

Поскольку высота канала  $H$  намного больше толщины насадки  $\delta = r'' - r'$ , то примерно выполняется соотношение:

$$\frac{\partial^2 t_n}{\partial z^2} \cong 0.$$

Следовательно, считаем, что перетоком теплоты теплопроводностью вдоль насадки можно пренебречь. Тогда уравнение (4) можно упростить:

$$c_n \cdot \rho_n \frac{\partial t_n(r, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial r} \left( \lambda_n \cdot \frac{\partial t_n}{\partial r} \right) + \lambda_n \cdot \frac{1}{r} \frac{\partial t_n}{\partial r}, \quad 0 < z < H, \quad r' < r < r'', \quad (5)$$

Хотя в уравнении (5) нет производных по  $z$ , температура насадки будет изменяться по  $z$ , т.к. по длине канала изменяется температура газа  $t_r$ .

Период разогрева насадки (аккумуляции теплоты) продолжается в течение времени  $\tau_{нагр}$ , которое можно варьировать в расчетах. Если известны зависимости  $G_z(\tau)$ ,  $t_{z0}(\tau)$ , теплофизические параметры газа  $c_z = c_z(t_z)$ ,  $\rho_z = \rho_z(t_z)$ , теплофизические параметры насадки  $c_n = c_n(t_n)$ ,  $\rho_n$ ,  $\lambda_n = \lambda_n(t_n)$ , и коэффициент теплоотдачи от газа к насадке  $\alpha_z = \alpha_z(z, \tau)$ , то можно рассчитать температурные поля насадки и газа в процессе периода разогрева.

После этого наступает период охлаждения насадки (регенерации теплоты), длительность которого  $\tau_{охл}$ . Общая длительность цикла работы регенератора составляет:  $\tau_{цикл} = \tau_{нагр} + \tau_{охл}$ . В период охлаждения в противоположном оси  $z$  направлении движется постоянный во времени расход сжатого воздуха  $G_6$ , и для любого сечения канала  $G_6 = const$ .

Температурное поле воздуха в канале при  $0 < z < H$  и  $\tau_{нагр} < \tau < \tau_{цикл}$ , описывается уравнением:

$$G_6 \cdot c_6 \cdot \frac{\partial t_6(z, \tau)}{\partial z} + P \cdot \alpha_6 \cdot (t_6(z, \tau) - t'_n(z, \tau)) + c_n \cdot \rho_n \cdot S \cdot \frac{\partial t_n(z, \tau)}{\partial \tau} = 0, \quad (6)$$

где  $G_6$  – массовый расход воздуха в канале, кг/с;  $c_6 = c_6(t_6)$  – массовая теплоёмкость воздуха, зависящая от его температуры, Дж/(кг·К);  $\rho_6 = \rho_6(t_6)$  – плотность воздуха, зависящая от его температуры, кг/м<sup>3</sup>;  $P$  – периметр сечения канала, м;  $S$  – площадь поперечного сечения канала, м<sup>2</sup>;  $\alpha_6 = \alpha_6(z, \tau)$  – коэффициент теплоотдачи

от поверхности насадки к воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $t'_n(z, \tau) = t_n(z, r', \tau)$  – температура поверхности насадки.

Температурное поле насадки в период охлаждения описывается тем же дифференциальным уравнением (5), что и в период аккумуляции тепла.

Использование конверторного газа на кауперах доменных печей позволит экономить природный газ на ТЭЦ металлургических предприятий за счет замещения его высвободившимся доменным газом.

#### **Список литературы:**

1. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат.1990.

# УВЕЛИЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ТУРБОУСТАНОВКИ Т-100-130 НА ТЭЦ-ПВС ПАО "СЕВЕРСТАЛЬ" ЗА СЧЕТ ПОДОГРЕВА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ТЕПЛОТОЙ ОТ УТИЛИЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Лукин С. В., д-р техн. наук, профессор,  
Царёв Р.В., магистр,  
Петров И.А., магистр

*Череповецкий государственный университет*

**Аннотация.** В статье предоставлен способ, позволяющий произвести прирост электрической мощности турбоустановки Т-100-130 на ТЭЦ-ПВС установленных на ПАО «Северсталь» за счет подогрева питательной воды теплотой от утилизационных установок при отключенном регенеративном подогреве.

**Ключевые слова:** турбоустановка Т-100-130; подогрев; питательная вода; регенеративный подогрев.

На Череповецком металлургическом комбинате ПАО «Северсталь» с 1971 года на ТЭЦ-ПВС используется энергетический турбоагрегат Т-100-130 с выработкой электрической мощности  $W_e$  100 Мвт, при расходе свежего пара на турбину  $D_0$  430 т/ч и отпуске тепла на отопление турбоустановкой  $Q_t$  185 МВт. Расход пара в конденсатор турбоустановки при этом  $D_k$  23.4 т/ч. В настоящее время используется регенеративный подогрев питательной воды. При таком подогреве питательной воды выработка дополнительной энергии в турбине не осуществляется, а на регенерацию идет часть свежего пара.

Турбина имеет семь отборов, из которых два последних - теплофикационные. Система регенеративного подогрева состоит из трёх ПВД, на каждой из которых расход пара будет равен ПВД-1 5.05 кг/с, ПВД-2 3.67 кг/с и ПВД-3 6.67 кг/с, давление пара на ПВД суммарно составляет 6.99 Мпа. Деаэрата (присоединенного к третьему отбору турбины по пред включенной схеме) при расходе пара равному 1.77 кг/с и давлении 1.47 МПа, и четырёх ПНД с расходом пара 5.86 кг/с, 3.90 кг/с, 43.4 кг/с, 43.18 кг/с соответственно. Кроме того, как и обычно, в системе имеются подогреватели, работающие на паре уплотнений ПУ1 и ПУ2 и паре ПЭ. Все ПВД имеют встроенные ОП и ОД. Подогреватель низкого давления ПЗ имеет вынесенный ОД. Подогрев сетевой воды проводится в ПСГ1 и НСГ2. В зимнее время для подогрева воды можно использовать также встроенный в конденсатор выделенный пучок. При такой схеме подача циркуляционной воды в конденсатор прекращается

и давление в нём несколько возрастает. Однако теплота отработавшего пара при этом полностью используется.

В энергоблок Т-100-130 входит четыре подогревателя низкого давления, давление пара в них равно: ПНД-1 0.576 МПа, ПНД-2 0.277 МПа, ПНД-3 0.0981 МПа и ПНД-4 0.0416 МПа. Также в схему входят сальниковый подогреватель и вакуумный охладитель уплотнений.

Конденсат турбины Т-100-130 из конденсатора, расход пара которого составляет 6.5 кг/с и давлении 0.0039 МПа, проходит последовательно через охладители эжекторов, ПС-50, охладитель пара отсасываемого из концевых уплотнений турбины, ПНД № 1,2,3,4 и поступает в деаэратор.

Пар со штоков уплотнений в количестве идет в деаэратор. Из крайних камер уплотнений сухой насыщенный пар отсасывается в (СХ), конденсат которого направляется в бак нижних точек (БНТ). Из СХ конденсат идет в атмосферный деаэратор и насосом вместе с добавочной водой направляется в конденсатор. Пар со средних камер уплотнений направляется подогреватель сальниковый (ПС). Конденсат из ПС и ПЭ направляется в конденсатор.

Система регенерации высокого давления предназначена для регенеративного подогрева питательной воды за счёт охлаждения и конденсации пара из отборов турбины.

Подогреватели высокого давления по принципу работы относятся к поверхностным. Питательная вода прокачивается по трубной системе, а греющий пар омывает трубки (спирали) и конденсируется на их поверхности. Температура плёнки конденсата на трубках независимо от состояния пара (перегретый или насыщенный) приблизительно равна температуре насыщения пара при соответствующем давлении в паровом пространстве подогревателя. При передаче тепла от пара к воде в поверхностных подогревателях температура подогреваемой воды всегда ниже температуры насыщения пара вследствие термического сопротивления стенки трубки и загрязнений на внутренней и наружной её поверхности.

Так же предусмотрен расширитель продувочной воды из котла. В расширитель поступает пароводяная смесь, которая разделяется в нем на относительно чистый пар, отводимый в деаэратор, и воду (сепарат или концентрат), с которой выводится примеси (соли и т.п.), удаляемые из парогенератора с продувочной водой. После расширителя первой ступени, пар поступает в деаэратор, а вода из первой ступени поступает во вторую. Выпар второй ступени поступает в деаэратор, а вода поступает в линию сетевой воды, перед ПСГ1.

В нижней части каждого конденсатора турбины размещена дополнительная поверхность охлаждения (около 18% основной поверхности), названная встроенным теплофикационным пучком, использующим тепло отработавшего пара для подогрева сетевой или подпиточной воды. Встроенные пучки имеют независимые водяные камеры, через которые можно пропускать сетевую или циркуляционную воду в зависимости от тепловой нагрузки турбины. При работе турбины в теплофикационном режиме и закрытой регулирующей диафрагме, когда пропуск пара в конденсатор минимальный, конденсация пара осуществляется только за счёт поверхности встроенных пучков и подача циркуляционной воды в конденсаторы может быть частично или полностью прекращена, что уменьшает расход энергии на собственные нужды.

Расход свежего пара на турбину при номинальной нагрузке и номинальном отопительном отборе составляет 430 т/ч. Так при регенеративном подогреве на регенерацию пара идет 24.1% от расхода свежего пара, пропуск пара в конденсатор 5.4% от расхода свежего пара. При этом тепловая мощность турбоустановки 185 МВт, а электрическая 100 МВт.

Заменяя регенеративный подогрев питательной воды, подогревом теплотой от утилизационных установок, пар на регенерацию не расходуется, т.е. расход пара на ПВД № 1,2,3 становится равен 0 так же он равен 0 и ПНД №1 и №2. Это способствует увеличению пропуска пара в конденсатор, увеличивая его до 35.5 кг/с или 29.5% от расхода свежего пара. Электрическая же мощность увеличивается со 100 МВт до 124 МВт, т.е. на 24 %, тепловая мощность турбоустановки при этом остается прежней.

В дополнение к замене регенеративного подогрева питательной воды, подогревом воды от утилизационных установок рассмотрим эффективность режима работы с максимальной выработкой мощности. Пар на регенерацию расходоваться не будет, пропуск пара в конденсатор увеличится до 75 кг/с, т.е. 55% от расхода свежего пара. Тепловая мощность турбоустановки при это снизится с 185 Мвт до 131 Мвт, а электрическая мощность возрастёт со 100 Мвт до 149 Мвт, что даёт значительный прирост электрической энергии.

Стоимость покупной электроэнергии  $C_3 = 2$  руб/(кВт·ч). Затраты на покупку электроэнергии при этом будут составлять  $Z_3 = 863$  млн. руб. в год, при числе часов в году равном 8760. Так же пар от котлов утилизаторов, используемый в данном способе подогрева питательной воды, условно бесплатный, что дает нам сокращение расходов на



производство электроэнергии. Таким образом экономия денежных затрат при производстве своей электроэнергии будет равно 863 млн. руб. в год.

**Выводы.** В статье приведен способ, позволяющий дать прирост электрической мощности турбоустановки Т-100-130 установленной на ТЭЦ-ПВС на ПАО “Северсталь”. Предлагаемый способ подогрева питательной воды позволит увеличить мощность паровой турбины, так же в следствии отключения регенеративных отборов в часть низкого давления идёт больший расход пара.

#### **Список литературы:**

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для теплоэнерг. спец. вузов. - М.-Л.: Энергия, 1967. - 400 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ НА ЛИНИИ «СОРТОВАЯ МНЛЗ – ТЕРМОС - НАГРЕВАТЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ»

Лукин С. В., д-р техн. наук, профессор,  
Антонова Ю.В., канд. техн. наук, доцент,  
Левашев К. В., аспирант,  
Збродов А.А., аспирант

*Череповецкий государственный университет*

**Аннотация.** В статье представлена математическая модель, позволяющая описывать тепловое состояние стальной заготовки квадратного сечения 100×100 и 150×150 при затвердевании в сортовой МНЛЗ, при охлаждении на воздухе, при нахождении в термосе и при нагреве в нагревательной печи.

**Ключевые слова:** сортовая машина непрерывного литья заготовок; термос; нагревательная печь; охлаждение; термостатирование; нагрев.

На Череповецком металлургическом комбинате ПАО «Северсталь» с 2006 года на шестиручьевой сортовой машине непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) производства итальянской фирмы "Ракоп-Текинт" разливаются стальные заготовки квадратного сечения 100×100 мм со скоростями разливки 5,5-6,6 м/мин, и сечения 150×150 мм со скоростями разливки 3-3,5 м/мин. Выходящие из МНЛЗ заготовки после газорезки имеют среднюю по сечению температуру 1000-1100 °С и содержат значительное количество физической теплоты. В настоящее время разлитые горячие заготовки охлаждаются некоторое на воздухе, затем их укладывают на железнодорожные открытые платформы и везут в сортопрокатный цех, где перед прокаткой их нагревают до температуры 1200°С и выше. При транспортировке и хранении заготовок теряется практически вся физическая теплота, и в нагревательные печи заготовки поступают в холодном состоянии.

Использование физической теплоты заготовок после сортовой МНЛЗ может дать большой энергетический эффект. Так, в работе [1] показано, что при разливке слябов на криволинейных МНЛЗ в принципе вообще можно убрать из технологической цепочки нагревательную печь, если слябы, выходящие из МНЛЗ, сразу помещать в термос, где в условиях, близких к адиабатным, происходит выравнивание

температуры сляба по его сечению. При этом на выходе из термоса сляб имеет тепловое состояние, необходимое для прокатки.

Для выбора рациональных режимов тепловой обработки (термостатирования и нагрева) заготовок после сортовой МНЛЗ рассмотрим математическую модель, позволяющую описывать тепловое состояние заготовки вдоль всей технологической линии «сортовая МНЛЗ – термос – нагревательная печь».

Из-за тепловой симметрии достаточно рассмотреть четвертую часть сечения, например, область  $0 \leq x \leq B$ ,  $0 \leq y \leq B$ , где  $2B$  – толщина заготовки, равная 100 или 150 мм.

При стационарном режиме разливки температурное поле заготовки в МНЛЗ описывается дифференциальным уравнением [1]:

$$C_{eff} \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_{eff}(t) \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_{eff}(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right), \quad (1)$$

где  $t = t(x, y, \tau)$  – температурное поле;  $\tau = z/v$  – время затвердевания;  $C_{eff}$ ,  $\rho$ ,  $\lambda_{eff}$  – эффективная теплоемкость, плотность и эффективный коэффициент теплопроводности стали, зависящие от температуры.

Начальное условие для температурного поля заготовки имеет вид:

$$t(x, y, \tau)|_{\tau=0} = t_0, \quad 0 < x < B; \quad 0 < y < B, \quad (2)$$

где  $t_0$  – начальная температура жидкой стали, подаваемой в кристаллизатор МНЛЗ.

В кристаллизаторе теплообмен описывается граничными условиями II-ого рода:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial n|_{n=B} = q(\tau), \quad 0 < \tau < \tau_k, \quad (3)$$

где  $n = x, y$  – координата нормали к поверхности заготовки;  $q(\tau)$  – плотность теплового потока на поверхности в зависимости от величины  $\tau = z/v$ ;  $\tau_k = H/v$  – время пребывания заготовки в кристаллизаторе;  $H$  – рабочая длина кристаллизатора, м.

В работе [2] на основе эмпирических данных, полученных на кристаллизаторе сортовой МНЛЗ ПАО «Северсталь», предложено выражение для расчета величины  $q$ , МВт/м<sup>2</sup>, в зависимости от  $\tau$ , с:

$$q(\tau) = \frac{2 \cdot \gamma}{\left( \tau^2 + (2 \cdot \gamma / q_m)^4 \right)^{1/4}} - \frac{\gamma \cdot \tau^2}{\left( \tau^2 + (2 \cdot \gamma / q_m)^4 \right)^{5/4}}, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_k, \quad (4)$$

где  $\gamma = 4,38$  МВт/(м<sup>2</sup>·с<sup>0,5</sup>);  $q_m = 5,0 - 6,0$  МВт/м<sup>2</sup>. Значение  $q_m$  определяет температурные условия сверху гильзы кристаллизатора, а на тепловой поток, отведенный от заготовки в кристаллизаторе в целом, влияет несущественно.

На поверхности заготовки в зонах вторичного охлаждения (ЗВО) сортовой МНЛЗ задаются граничные условия III-ого рода:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial n|_{n=B} = \alpha_i (t_s - t_w), \quad \tau'_i < \tau < \tau''_i, \quad (5)$$

где  $\alpha_i$  – коэффициент теплоотдачи в  $i$ -ой зоне;  $t_s$  – температура поверхности заготовки;  $t_w$  – температура охлаждающей воды;  $i = 1, 2, \dots, 5$  – номер зоны вторичного охлаждения;  $\tau'_i = z'_i / v$ ;  $\tau''_i = z''_i / v$ , где  $z'_i, z''_i$  – координаты начала и конца  $i$ -ой зоны ЗВО. По величинам  $H$  и  $l_i$  определяются координаты  $z'_i, z''_i$ .

В работе [3] экспериментально исследовался теплообмен в ЗВО сортовой МНЛЗ и получена зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>·К), от удельного расхода воды  $g$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч).

Удельные расходы воды  $g$ , м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) регулируют в зависимости от скорости разлива  $v$ , м/мин.

На поверхности заготовки в зоне воздушного охлаждения граничные условия описываются выражением:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial n|_{n=B} = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T_s^4 - T_a^4), \quad \tau'_a < \tau < \tau''_a, \quad (6)$$

где  $n = x, y$  – координата нормали к поверхности;  $\varepsilon \approx 0,8$  – степень черноты стальной поверхности;  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>);  $T_s = t_s + 273,15$  – абсолютная температура поверхности заготовки, К;  $T_a \approx 300$  – температура воздуха, К;  $\tau'_a = z'_a / v$ ;  $\tau''_a = z''_a / v$ , где  $z'_a, z''_a$  – координаты начала и конца зоны воздушного охлаждения.

Внутри заготовки выполняются условия тепловой симметрии, и при  $x = 0$  и  $y = 0$  задаются адиабатные граничные условия:

$$\partial t / \partial n|_{n=0} = 0, \quad 0 < \tau < \tau_m, \quad (7)$$

где  $n = x, y$ ;  $\tau_m$  – расчетная длительность нахождения заготовки в МНЛЗ.

Затвердевшую заготовку для сохранения физической теплоты нужно направлять в термосы туннельного или закрытого типа.

В термосах туннельного типа на поверхности заготовки можно задавать граничные условия III-ого рода [4]:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial n|_{n=B} = \alpha_{th} (t_s - t_a), \quad \tau''_a < \tau < \tau''_a + \tau_{th}, \quad (8)$$

где  $\tau_{th}$  – время нахождения заготовки в термосе;  $t_a$  – температура окружающего воздуха;  $\alpha_{th}$  – коэффициент теплоотдачи от поверхности заготовки к окружающей среде.

В термосе достаточно быстро происходит выравнивание температурного поля заготовки по ее сечению. В работе [5] предложен рациональный режим нагрева слябов в печах при горячем посаде, когда в печи выдерживается постоянная температура в рабочем пространстве, и после нагрева до нужного состояния сляб помещается в условия,

близкие к адиабатным (как в термосе), при которых температура по сечению сляба быстро выравнивается.

При плотной укладке заготовок в печи их температурное поле будет зависеть от одной координаты  $x$  и времени  $\tau$ , и описываться дифференциальным уравнением:

$$c \cdot \rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right), \quad (9)$$

где  $t = t(x, \tau)$  – температурное поле заготовок в печи.

Момент загрузки заготовки в печь удобно принять за нулевой. Тогда начальное условие запишется так:

$$t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_m, \quad -B < x < B, \quad (10)$$

где  $t_m$  – температура металла при загрузке в печь.

В нагревательной зоне печи при двухстороннем нагреве заготовок задаются граничные условия:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial x|_{x=\pm B} = C_{\text{пр}}((T_h/100)^4 - (T_s/100)^4), \quad 0 < \tau < \tau_1, \quad (11)$$

где  $C_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент излучения;  $T_h$  – абсолютная температура в нагревательной зоне печи, К;  $T_s$  – абсолютная температура поверхности заготовки, К;  $\tau_1$  – время нагрева.

После окончания процесса нагрева заготовки для выравнивания температуры по ее сечению на ее поверхности создаются адиабатные условия, описываемые выражением:

$$\lambda \cdot \partial t / \partial x|_{x=\pm B} = 0, \quad \tau_1 < \tau < \tau_1 + \tau_2, \quad (12)$$

где  $\tau_2$  – время выдержки заготовки в адиабатных условиях.

Время нагрева заготовок в печи  $\tau_1$  определяется из условия, что после выравнивания температуры по сечению заготовки ее средняя температура равняется температуре  $t_r$ , требуемой для прокатки.

На основе системы уравнений (1) – (12) можно проводить численные расчеты температурного поля заготовок квадратного сечения при охлаждении и затвердевании в сортовой МНЛЗ, при нахождении в термосе, и при нагревании в печи.

**Выводы.** В статье разработана математическая модель, позволяющая определять тепловое состояние стальных заготовок квадратного сечения 100×100 и 150×150, разливаемых на сортовой машине непрерывного литья заготовок на ПАО «Северсталь», при нахождении заготовок в МНЛЗ, на воздухе, в термосе и нагревательной печи. Рассмотрен рациональный режим тепловой обработки заготовки 100×100 после сортовой МНЛЗ, включающий сохранение физической теплоты и выравнивание температуры заготовки по ее сечению в термосе, нагрев заготовки в печи при горячем посаде, и выравнивание

температуры по сечению заготовки в адиабатных условиях по окончании нагрева. Предлагаемый режим тепловой обработки заготовок квадратного сечения позволит значительно сократить длительность нагрева заготовок в печи (другими словами, увеличить производительность печи), в несколько раз сократить удельный расход топлива в печи на нагрев металла, снизить потери металла от окисления в печи.

#### **Список литературы:**

1. Лукин С.В., Кибардин А.В. Оптимальное использование физической теплоты слябов после МНЛЗ // *Металлург*. 2016. № 7. С. 38–43.
2. Лукин С.В., Мухин В.В., Осипов Е.Б. и др. Исследование теплообмена слитка с кристаллизатором сортовой машины непрерывного литья заготовок // *Изв. вузов. Черная металлургия*, 2008. № 5. С. 31–35.
3. Лукин С.В., Плашенко В.В., Образцов М.А. и др. Исследование теплоотдачи в зоне вторичного охлаждения сортовой машины непрерывного литья заготовок // *Изв. вузов. Черная металлургия*, 2009. № 1. С. 47–51.
4. Лукин С.В., Левашев К.Ю., Збродов А.А. Математическое моделирование теплового состояния заготовки квадратного сечения в сортовой МНЛЗ и в термосе // *Вестник Череповецкого государственного университета*, 2018. № 3. С. 37–45.
5. Лукин С.В. Режим нагрева и термостатирования слябов в печи при горячем посаде // *Металлург*. 2018. № 7. С. 54–58.

## АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В РУДНИЧНОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

Прасол Д.А., ст. преподаватель,  
Погорелов А.В., аспирант

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** В статье представлено исследование влияния пассивных фильтров высших гармоник на потребление активной и реактивной мощности в высоковольтной рудничной сети скиповой подъемной установки, выполненное с помощью имитационной модели, разработанной в программном комплексе Matlab с пакетом расширений Simulink и библиотекой SimPowerSystems.

**Ключевые слова:** рудничная сеть, подъемная установка, пассивные фильтры гармоник, реактивная мощность, моделирование.

Высоковольтные рудничные сети имеют в своем составе мощные нелинейные потребители, представленные регулируемыми электроприводами скиповых и клетевых подъемных установок [1-2]. Работа данного электрооборудования сопровождается генерацией высших гармонических составляющих токов и напряжений в высоковольтную питающую рудничную сеть, что приводит к дополнительным потерям активной мощности в элементах системы электроснабжения и к другим негативным воздействиям [3].

Одними из наиболее распространенных, удобных, недорогих и доступных технических средств компенсации высших гармонических составляющих токов и напряжений являются пассивные фильтры (ПФ), которые представляют собой пассивную частотно-селективную цепь, обеспечивающую ослабление высших гармоник и коррекцию коэффициента мощности [3-4]. Однако ПФ обладают рядом недостатков:

- возможна перекомпенсация реактивной мощности при мощности потребителя ниже установленной, а при превышении мощности – недокомпенсация;
- эффективность работы фильтров снижается при изменении гармонического состава токов и напряжений, а также параметров сети;
- возможен резонанс в параллельном колебательном контуре, на частотах, близких к частотам компенсируемых высших гармоник.

Для оценки эффективности применения ПФ выполнен анализ их работы в рудничной высоковольтной системе электроснабжения подъемных установок (ПУ) на примере Яковлевского рудника Белгородской области [5]. Фрагмент схемы электроснабжения скиповой подъемной установки данного рудодобывающего предприятия представлен на рис. 1.

В качестве электропривода скиповой подъемной установки применяется регулируемый электропривод постоянного тока, выполненный по системе тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Электроснабжение электропривода осуществляется через два согласующих трансформатора от распределительного устройства 6 кВ, которое присоединено к секциям шин главной понизительной подстанции рудника (ГПП 110/6 кВ).

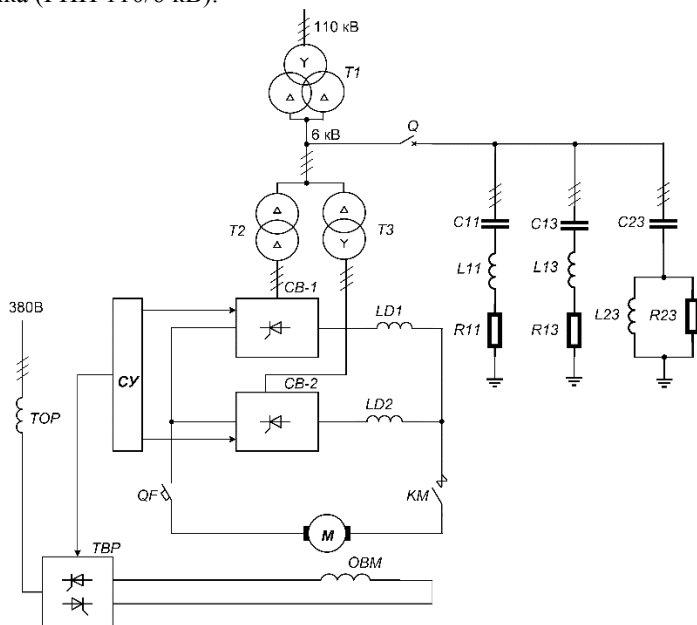


Рисунок 1. - Фрагмент схемы электроснабжения скиповой подъемной установки рудодобывающего предприятия

ПФ подключаются к шине распределительного устройства 6 кВ. В качестве ПФ в схеме электроснабжения скиповой ПУ применяются два резонансных фильтра для компенсации 11-й и 13-й гармоник, а также



широкополосный фильтр второго порядка, настроенный на компенсацию высших гармоник, начиная с 23-й [6].

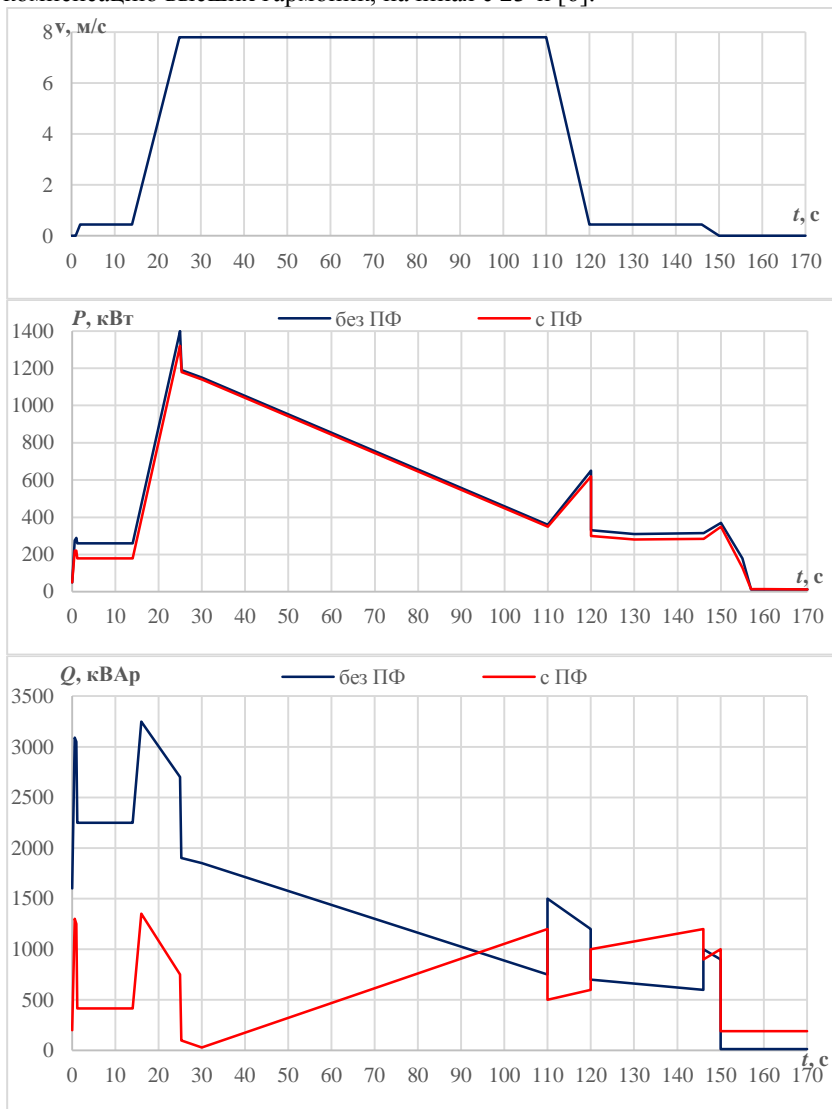


Рисунок 2. - Результаты моделирования скорости, активной и реактивной мощностей скиповой подъемной установки

На основании имитационной модели системы электроснабжения скиповой подъемной установки с установленными ПФ высших гармоник проведено имитационное моделирование одного цикла работы скиповой ПУ в программном комплексе Matlab с пакетом расширений Simulink [6]. На основании анализа результатов моделирования активной и реактивной мощностей были получены диаграммы, представленные на рис. 2.

Установка ПФ в схему электроснабжения скиповой ПУ не влияет на временные параметры цикла подъема–опускания, а также на скорость движения подъемного сосуда.

Временные диаграммы активной мощности, полученные с установленными ПФ и без них, отличаются друг от друга только на величину дополнительных потерь активной мощности вследствие компенсации высших гармоник тока и напряжения. Эффективная компенсации высших гармонических составляющих токов и напряжений позволила значительно снизить дополнительные потери активной мощности в элементах системы электроснабжения скиповой ПУ, обусловленные высшими гармониками [6]. При этом более эффективная компенсация высших гармоник и снижение дополнительных потерь мощности наблюдаются вовремя трогания, разгона и торможения.

Диаграммы реактивной мощности, полученные с установленными ПФ и без них, заметно различаются между собой вследствие компенсации реактивной мощности данными фильтрами. Расчет параметров ПФ выполнен с учетом компенсации реактивной мощности с учетом нормативного коэффициента мощности, который для сетей 1-20 кВ принимается равным  $\text{tg}\varphi_0 = 0,4$  [7]:

$$Q_k = \alpha \cdot P \cdot (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_0), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом,  $\alpha = 0,9$ ;  $\text{tg}\varphi$  и  $\text{tg}\varphi_0$  – значение коэффициентов реактивной мощности до и после компенсации;  $P$  – активная мощность нагрузки в месте установки компенсирующих устройств. При этом при расчете параметров ПФ, обеспечивающих компенсацию ВГ токов и напряжений, использовались количественные значения трендов параметров графиков нагрузок.

На основании анализа графика реактивной мощности (см. рис. 2) следует, что на некоторых участках цикла работы ПУ происходит перекомпенсация реактивной мощности, что связано со снижением активной мощности, потребляемой электроприводом, ниже

установленной вследствие уменьшения статического момента скиповой подъемной установки при неуравновешенном подъеме груза и при остановке. Таким образом, используемые ПФ могут создавать режимы перекомпенсации и недокомпенсации реактивной мощности при значительном изменении режима потребления активной мощности из сети, что является их серьезным недостатком.

#### Список литературы:

1. Использование виртуального моделирования для выбора и проверки средств компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник в системах электроснабжения горнодобывающих предприятий / Массов А.А., Плотников С.В., Кирилина О.И. и др. // Разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, и устройств. Сборник статей VI Международной научно-практической конференции. Пенза. – 2015. – С. 12–25.
2. Использование имитационного моделирования для выбора и проверки фильтрокомпенсирующих устройств скиповой подъемной установки / О.И. Кирилина, А.А. Массов, С.В. Плотников и др. // Промышленная энергетика. – 2016. – №11. – С. 51–56.
3. Довгун В.П., Боярская Н.П., Новиков В.В. Синтез пассивных фильтрокомпенсирующих устройств // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. № 9–10. С. 31–39.
4. Массов, А.А. Создание имитационной модели для выявления искажений форм кривых токов и напряжений в сетях рудников /О.И. Кирилина и др. //Промышленная энергетика. – 2011.– №5. – С.44–49.
5. Авербух, М.А. Экспериментальная оценка параметров режимов в высоковольтных рудничных сетях с мощными нелинейными электроприемниками/ М.А. Авербух, Д.А. Прасол, С.В. Хворостенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 75–84. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-2-75-84.
6. Авербух, М.А. Минимизация потерь мощности при несинусоидальных режимах в высоковольтных рудничных сетях / М.А. Авербух, А.В. Погорелов, Д.А. Прасол // Промышленная энергетика. – 2018. – № 7. – С. 38–46.
7. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 23.06.2015 № 380. «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420285270/>. Дата обращения: 21.08.2018.

# ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ РУДНИЧНОЙ СЕТИ В ТОКИ ИСКАЖЕНИЯ И ТОКИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

Прасол Д.А., ст. преподаватель

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** В статье представлена методика оценки фактического вклада нагрузки высоковольтной рудничной сети в токи искажения и токи гармоник на основе результатов экспериментальных исследований. При этом изменения параметров графиков нагрузок соответствуют стационарным случайным неэргодическим процессам. Предложенная методика позволяет выявить наиболее выраженные токи высших гармоник.

**Ключевые слова:** высоковольтная рудничная сеть, график нагрузки, случайный процесс, корреляция, фактический вклад, высшие гармоники, компенсация высших гармоник.

Нагрузка в высоковольтных системах электроснабжения рудодобывающих предприятий, как правило, носит случайный характер, что связано с загрузкой подъемных установок (ПУ), со временем суток, величиной загрузки подъемных сосудов. Изменение нагрузки в зависимости от времени относится к случайным процессам. Для исследования и прогнозирования токов нагрузки используется математический аппарат теории случайных процессов [1, 2].

Случайный процесс представляет собой совокупность случайных функций. Основными характеристиками случайного процесса изменения тока нагрузки являются математическое ожидание  $M[I_{(l)}(t_j)]$ , дисперсия  $D[I_{(l)}(t_j)]$ , среднее квадратичное отклонение  $\sigma_{I(l)}$ , корреляционная функция  $K_{I(l)}(t_j, t_f)$  и нормированная корреляционная функция (коэффициент корреляции)  $r_{I(l)}(t_j, t_f)$  [3].

Основанием для расчета числовых характеристик случайного процесса изменения нагрузки в высоковольтной рудничной сети служат данные, полученные экспериментальным путем [4]. При этом рассматриваются значения токов нагрузки в высоковольтной системе электроснабжения скиповой ПУ в течение самого загруженного периода за рабочую смену.

Как следует из результатов измерений и расчетов [4, 5], случайные процессы изменения параметров графиков нагрузок протекают однородно и имеют вид непрерывных случайных колебаний вокруг некоторого среднего значения, а различные реализации графиков нагрузок по току основной частоты имеют высокую корреляцию. Из результатов следует, что изменения параметров графиков нагрузок соответствуют стационарным случайным неэргодическим процессам. Неэргодичность данных процессов следует из того, что одна реализация не характеризует весь случайный процесс, так как дисперсия не остается постоянной. При этом процессы изменения во времени тока искажения и токов гармоник также можно считать стационарными случайными процессами, поскольку эти токи входят в состав тока нагрузки. Кроме этого, экспериментально подтверждено наличие высших гармонических составляющих токов в высоковольтной рудничной сети, а наиболее выраженными являются 11, 13, 23, 25, 35 и 37-я гармоники токов [4].

Систематичность оценивается по коэффициенту корреляции ( $\rho$ ) между контролируемыми параметрами. Коэффициент корреляции является измерителем степени тесноты линейной статической связи между рассматриваемыми параметрами и определяется по графикам нагрузки [6]:

$$\rho(I_{(i)}, I_{(n)}) = \frac{\frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m (I_{(i)}(t_j) - M[I_{(i)}(t_j)]) \cdot (I_{(n)}(t_j) - M[I_{(n)}(t_j)])}{\sigma_{I_{(i)}}(t_j) \cdot \sigma_{I_{(n)}}(t_j)}. \quad (1)$$

Для коэффициента корреляции известно, что  $-1 \leq \rho \leq 1$ .

Для рассматриваемых графиков нагрузок и их параметров наибольший интерес представляет случай, когда  $\rho \rightarrow 1$ , то есть наблюдается прямая зависимость между изменением тока нагрузки и токами гармоник. Другими словами, при увеличении нагрузки повышается уровень искажения на рассматриваемых гармониках. Значение коэффициента корреляции  $\rho \rightarrow 1$  соответствует функциональной зависимости между изменением потребляемого тока основной частоты  $I_{(1)}(t_j)$  и токами гармоник  $I_{(n)}(t_j)$  в точке присоединения нелинейной нагрузки, например линейного вида  $y = a + bx$ . Постоянные величины  $a$  и  $b$  определяются по выражениям [6]:

$$b = \frac{m \cdot \sum I_{(1)}[m] \cdot I_{(n)}[n] - \sum I_{(n)}[m] \cdot \sum I_{(1)}[m]}{m \cdot \sum I_{(1)}^2[m] - \left( \sum I_{(1)}[m] \right)^2}; \quad (2)$$

$$a = \frac{\sum I_{(n)}[m] - b \cdot \sum I_{(1)}[m]}{m} . \quad (3)$$

Значение фактического вклада тока основной частоты  $I_{(1)}$  в каждый ток гармоники  $I_{(n)}$  в данном случае на каждом шаге:

$$I_{(n)I_{(1)}}[m] = b . \quad (4)$$

Определены коэффициенты корреляции между током нагрузки основной частоты  $I_{(1)}[m]$  и токами 11, 13, 23, 25, 35 и 37-й гармонических составляющих (табл. 1). Из результатов расчета видно, что наблюдается существенная корреляция между током основной частоты и  $n$ -ми гармониками тока, все коэффициенты корреляции удовлетворяют условию  $\rho \rightarrow 1$ .

Таблица 1. - Результаты расчета коэффициентов корреляции и коэффициентов линейных зависимостей

$n$	11	13	23	25	35	37
$\rho(I_{(1)}, I_{(n)})$	0,981	0,957	0,955	0,964	0,927	0,969
$a$	-1,983	-1,771	-0,545	-1,065	-0,195	-0,81
$b$	0,0586	0,0449	0,0206	0,0224	0,0091	0,0125

Так как коэффициенты корреляции  $\rho \rightarrow 1$ , фактический вклад вычисляется методом построения зависимости тока  $n$ -ой гармонической составляющей  $I_{(n)}[m]$  от тока нагрузки основной частоты  $I_{(1)}[m]$ . Как видно из графиков (рис. 1), зависимости носят явно выраженный линейный характер. Поэтому возможно осуществить переход от корреляционной зависимости к функциональной – линейной. Уравнения, описывающие данные линейные зависимости, имеют вид:

$$I_{(11)} = 0,0586 \cdot I_{(1)} - 1,983 ; I_{(13)} = 0,0449 \cdot I_{(1)} - 1,771 ;$$

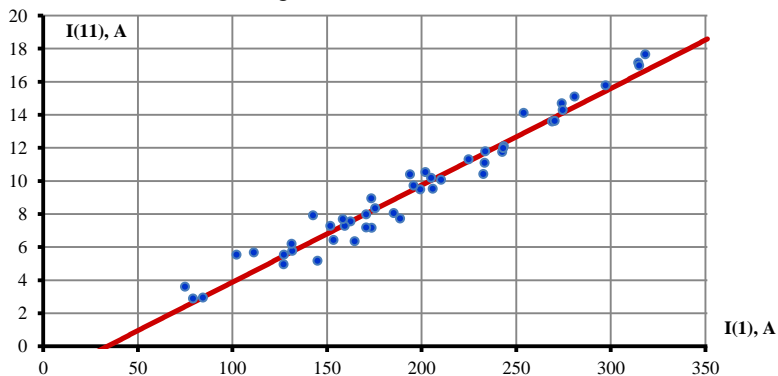
$$I_{(23)} = 0,0206 \cdot I_{(1)} - 0,545 ; I_{(25)} = 0,0224 \cdot I_{(1)} - 1,065 ;$$

$$I_{(35)} = 0,0091 \cdot I_{(1)} - 0,195 ; I_{(37)} = 0,0125 \cdot I_{(1)} - 0,81 .$$

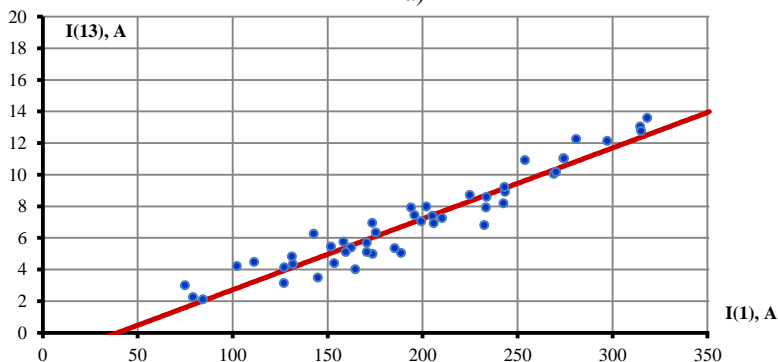
Полученные значения коэффициентов  $a$  и  $b$  линейных зависимостей приведены в табл. 1.

Исходя из полученных зависимостей, можно сделать вывод, что наибольший фактический вклад тока нагрузки основной частоты  $I_{(1)}$  имеют токи 11-й и 13-й гармоник из всех наиболее выраженных, что характеризуется наибольшими значениями коэффициентов

пропорциональности  $b$  полученных линейных уравнений. Наименьший вклад имеет ток 35-ой гармонической составляющей.



а)



б)

Рисунок 1. - Диаграммы корреляционных зависимостей:

а)  $I_{(11)} = f(I_{(1)})$ ; б)  $I_{(13)} = f(I_{(1)})$

Предложенная методика оценки фактического вклада нагрузки в токи искажения и токи гармоник позволяет выявить и определить наиболее значительные по величине и наиболее коррелируемые по характеру токи гармоник. При этом корреляционную оценку и оценку фактического вклада в токи искажения и токи гармоник можно производить от различных источников и при учёте разных факторов. Полученный результат позволит наиболее эффективно выполнить компенсацию токов высших гармоник, а тем самым улучшить показатели качества электрической энергии и снизить дополнительные

потери мощности. При этом под эффективной компенсацией подразумевается выбор наиболее подходящего типа фильтрокомпенсирующего устройства, определение его параметров и места установки. Так для устранения выраженных гармоник низших порядков, например, 5-й и 7-й часто применяют пассивные резонансные фильтры гармоник [7, 8, 9], а для компенсации гармоник более высоких порядков, например, свыше 17-й, применяются пассивные широкополосные фильтры второго и третьего порядков [7, 8, 9].

#### Список литературы:

1. Третьяков, Е.А. Управление качеством электрической энергии в распределительных сетях железных дорог: монография / Е.А. Третьяков. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 196 с.
2. Жежеленко, И.В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 234 с.
3. Веников, В.А. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики / В.А. Веников. – М.: Высшая школа, 1981. – 288 с.
4. Авербух, М.А. Экспериментальная оценка параметров режимов в высоковольтных рудничных сетях с мощными нелинейными электроприемниками/ М.А. Авербух, Д.А. Прасол, С.В. Хворостенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 2. – С. 75–84. DOI: 10.21285/1814-3520-2017-2-75-84.
5. Авербух, М.А. Анализ электромагнитной совместимости сети высокого напряжения горнорудного предприятия / М.А. Авербух, Д.А. Прасол // Энергетик. – 2018. – № 2. – С. 36–41.
6. Управление качеством электроэнергии: учебное пособие / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 347 с.
7. Арриллага Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ./ Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
8. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения: коллективная монография / Н. П. Боярская, В. П. Довгун, Д. Э. Егоров и др.; под ред. В. П. Довгуна. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 192 с.
9. Авербух, М.А. Минимизация потерь мощности при несинусоидальных режимах в высоковольтных рудничных сетях / М.А. Авербух, А.В. Погорелов, Д.А. Прасол // Промышленная энергетика. – 2018. – № 7. – С. 38–46.



## ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ТОКА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

**Прокопишин Д.И., ассистент**

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** Одним из способов компенсации высших гармоник тока является применение активных фильтров гармоник. Для систем управления этими устройствами необходима информация о протекающем токе в фазах электроприёмника и фильтра. Авторами предлагается система измерения гармоник тока, построенная на базе датчиков тока на основе эффекта Холла. Получены уровни гармоник тока, потребляемого лабораторным блоком питания, с помощью предложенной системы и анализатора качества электроэнергии. Произведено сравнение результатов, из которых следует, что предлагаемая система требует дополнительной обработки сигнала на пример с помощью алгоритмов цифровой фильтрации.

**Ключевые слова:** быстрое преобразование Фурье, датчики тока на основе эффекта Холла, микроконтроллер

Одним из способов компенсации высших гармоник тока является применение активных фильтров гармоник [1-3], с различными алгоритмами управления [4-5]. Для любой системы управления активным фильтром необходима информация о протекающем токе в фазах электроприёмника и фильтра. Для измерения тока существуют следующие технические средства [6]:

- трансформаторы тока
- датчики тока компенсационного типа
- датчики тока на основе эффекта Холла

Основным преимуществом датчиков тока на основе эффекта Холла, является возможность измерения постоянного и переменного тока, также они дешевле по сравнению с датчиками компенсационного типа. Рассмотрена система измерения тока, построенная на базе датчиков на основе эффекта Холла марки ACS712ELCTR-05B-T. Принципиальная схема системы представлена на рисунке 1.

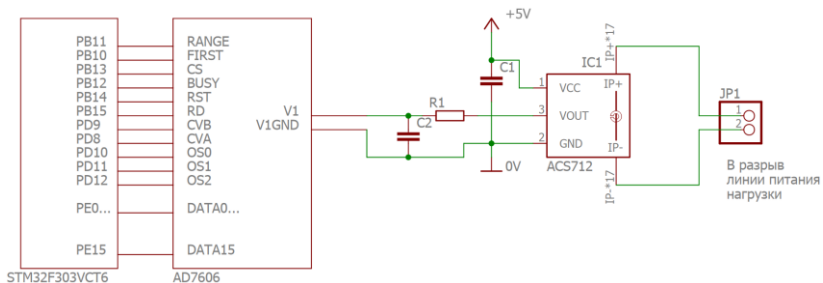


Рисунок 1 - Принципиальная схема системы измерения тока

Датчик тока IC1, подключается в разрыв линии питания нагрузки. Выходным сигналом датчика, является напряжение уровень, которого определяется в соответствии с формулой:

$$V_{out} = I \cdot k + V_{cc} / 2, \quad (1)$$

где  $I$  – значение измеряемого тока;  $k$  – переводной коэффициент, для датчика ACS712ELCTR-05B-T он равен 0,185мВ.  $V_{cc}$  - напряжение питания датчика.

Выходной сигнал датчика подаётся на вход АЦП AD7606BSTZ, основные технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Основные технические характеристики АЦП AD7606BSTZ

Параметр	Значение
Разрядность, бит	16
Частота преобразования, кГц	200
Количество каналов измерения	8

АЦП подключался к микроконтроллеру STM32F303VCT6, через параллельный интерфейс. В микроконтроллере реализована подпрограмм алгоритма быстрого преобразования Фурье [7]. Для хранения измеренного сигнала использовался массив размером 256 элементов, который заполнялся в прерывании с частотой вызова равной 12,8 кГц.

С помощью представленной системы произведено измерения тока, потребляемого лабораторным блоком питания. Измеренные мгновенные значения тока передавались на компьютер, для их дальнейшего графического отображения. На рисунке 2 представлена полученная форма кривой тока.

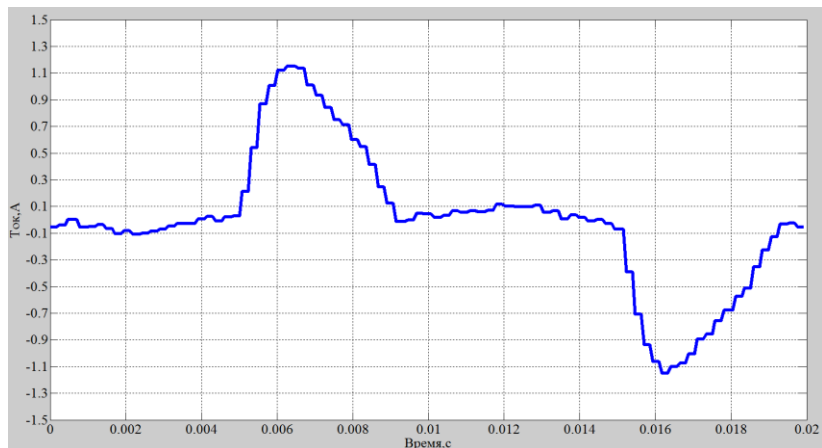


Рисунок 2 - Форма кривой измеренного тока

Дополнительные измерения произведены анализатором качества электроэнергии С.А 8335 QUALISTAR PLUS, технические характеристики которого представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Основные технические характеристики анализатора С.А 8335 QUALISTAR PLUS

Параметр	Значение
Полоса пропускания токовых клещей, Гц	40-10000Гц
Диапазон измерения тока переменного тока, А	0,005мА...120А
Измерение гармоник	До 50-й

В таблице 3 представлены результаты измерений нечётных гармоник, остальные гармоники для данной нагрузки были незначительны. Данные полученные с помощью анализатора качества электроэнергии обрабатывали в соответствии с [8].

Из результатов, представленных в таблице 3 следует, что для измерений высших гармоник предложенная система показывает плохой результат и требует доработки.

Таблица 3. - Результаты измерений и сравнения показаний, полученных с помощью анализатора качества и датчика тока на основе эффекта Холла

№ гармоник	Показания анализатора качества С.А 8335 QUALISTAR PLUS		Показания датчика тока Уровень гармоник, I <sub>c</sub>	Сравнение результатов	
	Среднее значение уровня гармоник, I <sub>8335</sub>	Доверительный интервал		$\Delta = I_{8335} - I_c$	$\frac{100\% \cdot \Delta}{I_{8335}}$
1	0.37976	0,0003	0,403378	-0,024	6,24867
3	0.263501	0,0012	0,277141	-0,013	4,99001
5	0.097427	0,0022	0,103186	-0,005	4,78325
7	0.042667	0,0011	0,051355	-0,009	20,7681
9	0.047872	0,0018	0,054717	-0,008	16,3123
11	0.01945	0,0010	0,021527	-0,003	13,6696
13	0.013686	0,0003	0,012671	0,001	7,604025
15	0.014461	0,0003	0,014918	0,000	2,92126
17	0.006806	0,0007	0,003826	0,003	46,65257
19	0.006918	0,0004	0,01014	-0,003	43,5145
21	0.003381	0,0009	0,002856	0,000	4,385683
23	0.004475	0,0004	0,004956	-0,001	13,9499
25	0.002993	0,0004	0,001572	0,001	48,38532
27	0.001809	0,0003	0,002782	-0,001	49,206
29	0.003038	0,0003	0,004164	-0,001	32,946
31	0.001035	0,0002	0,001564	0,000	41,2042
33	0.001899	0,0004	0,002851	-0,001	63,6294
35	0.001497	0,0004	0,001538	0,000	13,076
37	0.00038	0,0003	0,002849	-0,002	555,768
39	0.000752	0,0001		-0,002	226,69

Разработана принципиальная схема системы измерения высших гармоник на базе датчиков тока на основе эффекта Холла. Произведено сравнение результатов измерения высших гармоник тока полученных предложенной системой и анализатором качества электроэнергии. Установлена значительная разница между измеренными значениями, которая в некоторых случаях превышает 10%. Для улучшения результатов измерения необходима дополнительная обработка сигнала, например, с помощью алгоритмов цифровой фильтрации

### Список литературы:

1. Авербух М. А., Жуков Н. А., Хворостенко С. В. Оценка уровня высших гармоник токов и напряжений в электрических сетях заводов железобетонных изделий // Научное обозрение. – 2016. – №. 7. – С. 79-85.
2. Шалыгин К. А., Нос О. В. Активные силовые фильтры в задачах повышения качества электрической энергии // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2013. – №. 4. – С. 191-201.
3. Жилин Е.В. Активный силовой фильтр для трёхфазной четырёхпроводной сети// Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 4909 – 4913.
4. Akagi H. Active harmonic filters // Proceedings of the IEEE. Т. 93. 2005. №. 12. С. 2128–2141.
5. Прокопишин Д.И. Использование цифровых фильтров в составе системы управления однофазного активного фильтра гармоник// Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе Материалы международной научно-практической конференции. Под общей редакцией В.А. Гулевского. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 165-170.
6. Эрик Ланге. Датчики тока компенсационного типа// Силовая Электроника. Перевод В. Рентюк. – 2014. - №3. – С. 42-44.
7. Реализации алгоритмов/Быстрое преобразование Фурье [https://ru.wikibooks.org/wiki/Реализации\\_алгоритмов/Быстрое\\_преобразование\\_Фурье](https://ru.wikibooks.org/wiki/Реализации_алгоритмов/Быстрое_преобразование_Фурье)
8. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. [Электронный ресурс]. - URL:<http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения 3.02.2019).

## ВЛИЯНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП НА РАБОТУ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Сапрыка А.В.<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор,  
Вендин С.В.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, профессор,  
Рощубкин П.В.<sup>1</sup>, ст. преподаватель

<sup>1</sup>Белгородский государственный технологический  
университет им В.Г. Шухова

<sup>2</sup>Белгородский государственный аграрный  
университет им В.Я. Горина

**Аннотация.** Выполнен анализ влияния вольт-амперных характеристик газоразрядных ламп на работу осветительных установок, используемых в городских электрических сетях; проанализированы ограничения к характеристикам источника питания газоразрядных ламп.

**Ключевые слова:** газоразрядные лампы, вольт-амперные характеристики, устойчивость горения, источник света.

Современный этап развития характеризуется широким внедрением в осветительную технику большого ассортимента разрядных ламп, что дает возможность экономично решать вопросы повышения качества освещения. Вместе с тем при включении разрядных ламп в питающую сеть необходимо учитывать некоторые особенности.

Впервые аналитическую аппроксимацию вольт-амперной характеристики дугового разряда между угольными электродами в воздухе получил Г. Айртон [1-4], которая имеет следующую эмпирическую формулу:

$$U_a = a + bl + \frac{(c + dl)}{I_a}, \quad (1.1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  – константы, зависящие от состава газовой среды, давления, условий горения дуги и охлаждения электродов;  $U_a$  – напряжение на разрядном промежутке;  $I_a$  – ток лампы;  $l$  – длина дуги.

Для семейства дуг одинаковой длины была получена зависимость

$$U_a = A + \frac{B}{I_a}, \quad (1.2)$$

где  $A$  и  $B$  – константы.

Исследования Ноттингема позволили придать предшествующей формуле более общий вид, пригодный для дугового разряда не только при угольных электродах, но и различных металлических электродах:

$$U_d = A + \frac{B}{I^n}, \quad (1.3)$$

где  $n$  – постоянная, зависящая от материала и конструкции электродов.

Для общего случая, когда длины дуг различны, формула для вольт-амперной характеристики дугового разряда с металлическими электродами имеет вид:

$$U_d = a + bl + \frac{(c + dl)}{I_d^n}. \quad (1.4)$$

В разрядном источнике света, представляющем собой сосуд, наполненный парами металла (например, ртути), при дуговом разряде давление паров металла зависит от температуры наиболее холодной части сосуда, т. е. определяется током разряда и условиями охлаждения лампы. Поэтому константы  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  будут в большей степени зависеть от внешних условий.

Статические и динамические вольт-амперные характеристики ламп, имеющих в рабочем режиме постоянное давление наполняющего газа, можно считать практически одинаковыми. Они могут несколько различаться вследствие изменений условий на катоде и аноде [1].

Если известны для данного разряда постоянные  $a$  и  $b$ , то на основании вышеприведенной формулы можно определить, какое может быть минимальное напряжение сети при заданном  $R$

$$U_{\min} = \sqrt{4Rb} + a, \quad (1.5)$$

(знак у корня плюс, так как всегда  $U > a$ )

Если задано напряжение  $U$ , то значение  $R$  будет:

$$R = \frac{(U - a)^2}{4b}. \quad (1.6)$$

Мощность лампы определяется по формуле

$$P_d = U_d I = UI - I^2 R. \quad (1.7)$$

Для определения максимальной мощности лампы используется следующая формула

$$P_{d,\max} = U_d I = \frac{U^2}{4R}. \quad (1.8)$$

Отношение  $U_n/U$  в случае питания ламп постоянным током обычно стремятся сделать наибольшим. Практически оно составляет 0,6–0,7. Отношение  $a/U$  обычно бывает равно 0,8–0,9. Поэтому отношение  $(2U_n - a)/U$  близко к 0,5. Таким образом, практически

$$\frac{dI}{I} \approx \frac{2dU}{U}. \quad (1.9)$$

Напряжение  $U_3$  зависит от свойств источника света, скорости изменения напряжения на нем и ряда других факторов. Напряжение  $U_2$  в течение полупериода изменяется в небольшой степени и в первом приближении его можно считать постоянным. Чем больше будут амплитуда, частота и скорость нарастания напряжения питания, тем меньше  $U_3$ . В пределе, когда  $t_3 + t_x \rightarrow 0$ ,  $U_3 \rightarrow U_2$ . С увеличением напряжения питания бестоковая пауза уменьшается. Она зависит от отношения  $U_n/U$ : чем меньше оно, тем меньше бестоковая пауза.

Согласно [3] разложение кривой тока в ряд Фурье и последующий анализ дают интересные зависимости. Так, действующее напряжение на лампе

$$U_2 = \frac{U_m}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{1}{2}(\phi_3 + \phi_x) - \frac{1}{4}(\sin 2\phi_3 + \sin 2\phi_x) + (\pi - \phi_3 - \phi_x) \sin^2 \phi_x} \quad (1.10)$$

действующее значение тока в контуре

$$I = \frac{U_m}{R\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{1}{4}(\sin 2\phi_3 - 3\sin 2\phi_x) + \left(1 - \frac{\cos 2\phi_x}{2}\right)(\pi - \phi_3 - \phi_x) - 2\sin \phi_x \cos \phi_3} \quad (1.11)$$

Учитывая вышеперечисленное, источник питания должен обеспечить электропитание разряда в статических и динамических режимах в области характеристик, ограниченных кривой, определяющей предельные значения электрических параметров (линия  $a-b-c-d$  на рис. 1) [3-7].

При этом ограничения проявляются не только из-за условий надежности эксплуатации, а также из-за возможности реализовать технико-экономические показатели непосредственно источника питания. Установленная мощность источника питания определяется предельными параметрами по напряжению и току. От данной мощности находится в зависимости массогабаритные показатели и стоимость источника питания.



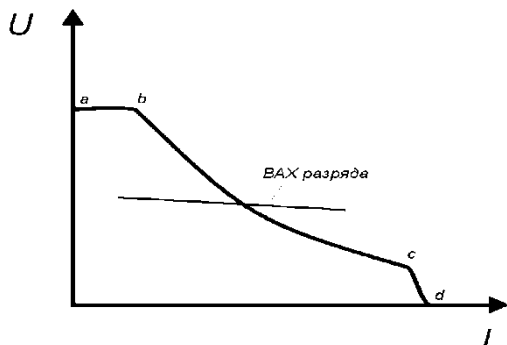


Рисунок 1. - Рабочая область характеристик источника питания.

За условие надежного зажигания (перезажигания), а также поддержание горения разряда, отвечает участок a-b.

Участок b-c определяет максимальную мощность в рабочем режиме. Данную мощность недопустимо превышать относительно режима эксплуатации разрядной установки, иначе данное превышение приведет к сокращению её срока службы.

За ограничение тока при выходе на рабочий режим отвечает участок c-d. При этом скорость выхода на рабочий режим однозначно определяет данный ток. Значение этого тока может быть ограничено лишь явлениями, которые могут привести к ускоренному выходу из строя электродов [1]. Применение средств стабилизации тока будет определять наклон кривой на участке ограничения тока.

Стабильность электрических параметров, обычно мощности или тока, определяется по их отклонению от заданных значений при изменении нагрузки, напряжения питающей сети, а также характеристик источника питания, вызванных технологическим разбросом параметров его элементов или изменением температуры. В качестве численного значения используется коэффициент нестабильности, определяемый отношением относительного отклонения стабилизируемого параметра к относительному изменению параметра, вызывающего это отклонение. Например, коэффициент нестабильности мощности  $P$  при изменении сетевого напряжения  $U_c$  определяется формулой

$$\lambda_{P,U_c} = (\partial P / P) / (\partial U_c / U_c). \quad (1.12)$$

Коэффициент неустойчивости тока разряда при изменении напряжения сети равен:

$$\lambda_{I,U_c} = (\partial I / I) / (\partial U_c / U_c). \quad (1.13)$$

Устойчивость горения стационарного разряда в области точек равновесия, определяемых пересечением ВАХ разряда и ВАХ ИП, обеспечивается при выполнении известного условия [6]:

$$R_{\text{дин.разряда}} - R_{\text{дин.ИП}} > 0, \quad (1.14)$$

где  $R_{\text{дин.разряда}} = \partial U / \partial I$  – динамическое сопротивление разряда в точке равновесия;

$R_{\text{дин.ИП}} = \partial U_{\text{ИП}} / \partial I_{\text{ИП}}$  – динамическое сопротивление ИП в точке равновесия.

Поэтому при использовании ИП с характеристиками источника тока ( $R_{\text{дин.ИП}} \rightarrow -\infty$ ) условие устойчивого горения выполняется для всех возможных ВАХ разряда.

#### Список литературы:

1. Сапрыка А.В. Современные технологии в осветительных системах мегаполиса / А. В. Сапрыка. - Харків, ХНУРЕ, 2010. -260 с.
2. Кожушко Г.М. Шляхи підвищення світлотехнічних характеристик натрієвих ламп / Г. М. Кожушко, С. Г. Кислиця // Світлолюкс. – 2004. – №1. – С. 36–38.
3. Фугенфиров М.И. Что нужно знать о газоразрядных лампах/ М.И. Фугенфиров– М.: Энергия, 1968. – 120с.
4. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света/ Г. Н. Рохлин. –2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
5. Уймаус Д. Газоразрядные лампы / Д. Уймаус – М.: Энергия, 1977. – 343с.
6. Поляков В. Д. Источники питания разрядных ламп / В. Д. Поляков – М.: МЭИ, 2002. – 55 с.
7. Сапрыка А.В. Исследование эксплуатационных характеристик современных энергосберегающих осветительных установок / А. В. Сапрыка. Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – Вып. 84. – К.: «Техніка», 2008. – С.265–270.

## ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СМЕСИТЕЛЕМ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

**Сибирцева Н.Б., ст. преподаватель,  
Федоров Д.В., магистрант**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова*

**Аннотация.** В данной работе объектом исследования является возможность управления смесителем периодического действия. В настоящее время нет точного времени перемешивания одной партии, поэтому время смешивания зависит от многих факторов – конструкции и скорости движения рабочих органов, состава и свойств ингредиентов. В сложившиеся ситуации, когда существующее технологическое оборудование, как и сама реализуемая ими модель смешивания, практически полностью исчерпали возможности дальнейшего улучшения, особую опасность представляет распространенное заблуждение, что достигнутый уровень однородности смеси является вполне достаточным и дальнейшее его повышение экономически не целесообразно.

**Ключевые слова:** лопастной смеситель, время перемешивания, эксперименты, графики потребления тока.

Основными процессами технологической цепочки производства сухих строительных смесей, оказывающих существенное влияние на их эксплуатационные характеристики, является: подготовка сырьевых компонентов, их дозирование и смешивание, распределение малых химических добавок и премиксов в основной массе продукта. Однородность материала, является основой требуемого качества современных строительных смесей. От того, насколько равномерно отдельные компоненты будут распределены в основном объеме смеси, напрямую зависят эксплуатационные характеристики получаемого продукта. Даже небольшое отклонение содержания малых добавок, вызванное плохим их распределением, может негативно сказаться как на физико-механических, так и на технико-эксплуатационных свойствах смеси[1].

Именно по этим причинам смесительный узел по праву считается наиболее ответственным участком завода по производству сухих строительных смесей. Соответственно, выбор смесительного оборудования, является важнейшим шагом на пути получения высококачественного продукта.

Исследования, посвященные повышению однородности многокомпонентных смесей, проводившиеся как в нашей стране, так и за рубежом, позволяют составить общее представление о процессах, влияющих на основные физико-технические и технологические свойства смешиваемых материалов. На основании научных работ и многолетней производственной практики, можно сделать вывод, что увеличение степени совмещения компонентов смеси, повышение однородности, снижение энергетических и эксплуатационных затрат, могут дать лишь способы, обеспечивающие высокую интенсивность энергетических воздействий на смешиваемые компоненты.

Большинство последних работ направленные на получение качественных смесей направлены на модернизацию конструкции смесей и никак не затрагивают его систему управления.

В производстве сухих строительных смесей в настоящее время применяется разнообразное смесительное оборудование: циклического и принудительного действия.

Среди смесителей периодического действия различают: барабанные, червячно-лопастные, бегунковые, циркуляционные, вибросмесители и т. д.

Среди разнообразных смесителей периодического действия обладают лопастные смесители, где вращающиеся лопасти осуществляют одновременно достаточно эффективное перемешивание компонентов[2].

Лопастные смесители наиболее часто применяют при смешении пастообразных материалов и порошков. Как правило, качество смешения в смесителях периодического действия выше, так как при одинаковой конструкции смесителей непрерывного и периодического действия у последних время пребывания материала в зоне смешения не лимитировано конструкцией и режимом перемешивания[3].

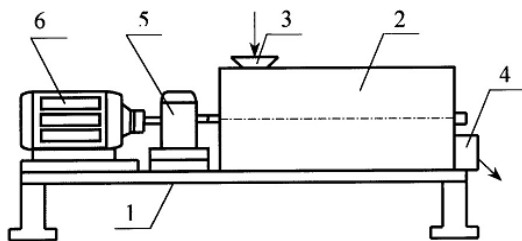


Рисунок 1 - Лопастной смеситель

Лопастной смеситель (рис. 1) представляет собой раму (1) на которой размещен корпус (2), в котором расположены два вала с лопатками, вращения вала происходит за счет электродвигателя (6), двигатель связан с приводом. Компоненты смеси загружаются в загрузочное отверстие (3), после перемешивания смесь выгружается из выгрузочного отверстия.

Лопастной смеситель обладает рядом преимуществ, который выгодно отличает его от других механических аналогов.

- Занимает небольшую площадь;
- Потребляет меньше электроэнергии;
- Смешивает продукт с однородностью от 95 до 98%;
- Обладает низким уровнем шума;
- Обслуживается одним оператором;
- Не требует специальной подготовки для управляющего процессом;
- Обладает возможностью подмешивания жидких компонентов;
- Быстро и легко очищается.

В качестве сырья использовалось для анализа возможности автоматизированного управления, экспериментальный лопастной смеситель объемом 40 литров, 22,5 килограмма песка и 17,5 килограмм щебня фракции 5-10. Поскольку исходные характеристики сырья не могут сильно различаться, время необходимое для перемешивания компонентов в каждом конкретном случае – различно. Недомешивание – ведет ухудшению из-за чрезмерного пребывания смеси в смесителе, следовательно, увеличению мощности и удорожанию сырья.

С целью определения оптимального времени смешивания компонентов проведено исследование экспериментального смесителя, в ходе которого получены результаты зависимости потребления электродвигателем тока от цикла перемешивания.

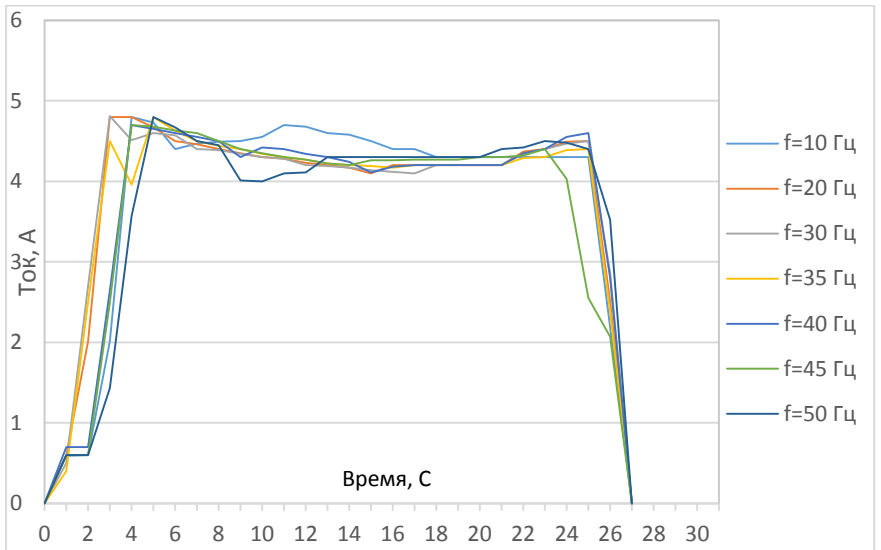


Рисунок 2 - График потребления тока при различных частотах без воды

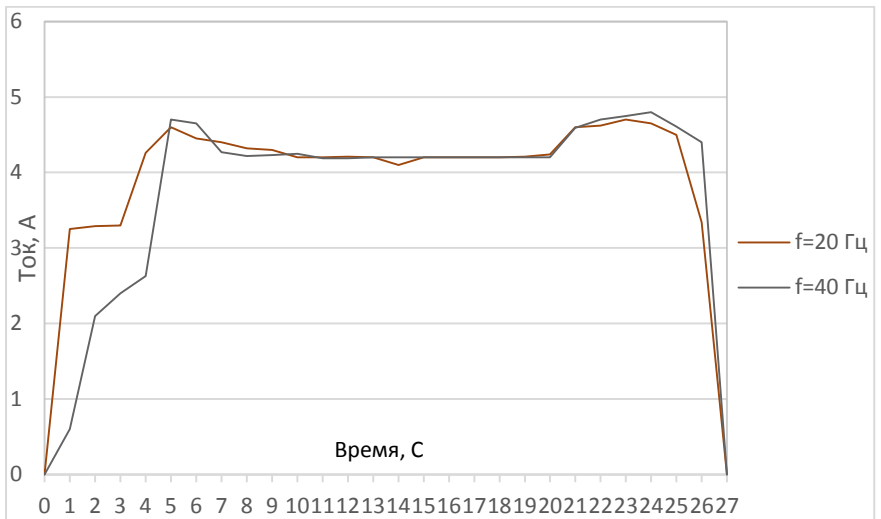


Рисунок 3 - График потребления тока при различных частотах с добавлением 5 литров воды

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что длительность процесса смешивания не зависит от частоты питающего напряжения. Но при частоте  $f = 10$  Гц рабочий ток электродвигателя максимальный.

Из данного эксперимента можно сделать вывод, что наступает установившийся режим, который характеризует окончание процесса смешивания, на основе этого сигнала можно разработать алгоритм управления, который будет отслеживать потребляемый ток электродвигателем и ориентируясь на него заканчивать процесс смешивания, с целью минимизации затрат на электрическую энергию на изменение перемешивания.

Так как во всех случаях наступает установившийся режим, который характеризуется минимальным током. В тоже время визуально компоненты смеси равномерно распространяются по всей площади, можно сделать вывод, что полученный эффект может быть положен в основу алгоритма автоматического управления, с помощью микроконтроллера, который будет получать информацию о потребляемом электродвигателем токе.

#### **Список литературы:**

1. Ильевич А.П. Машины и оборудования для заводов по производству керамики и огнеупоров.: Энциклопедия. – Москва.: Издательство «Машиностроение», 1980. -356с.
2. Загороднюк Л.Х. Смесители для приготовления сухих строительных смесей / Л.Х. Загороднюк, А.В. Шкарин, С. Перепечин, А.А. Загородний // Инновационные материалы и технологии. – 2013.– № 8.- С. 97-101.
3. Бауман В.А., Клушанцев Б.В., Мартынов В.Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов изделий и конструкций.: Учебное пособие.: Москва.: Издательство «Машиностроение», 1975. – С. 351.

## ГЕЛИОЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ И В МИРЕ

**Соболь Т.Г., доцент,**

**Ревин Д.В., студент,**

**Панищева Ю.С., студент**

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г.Шухова*

**Аннотация.** Данная статья рассматривает один из самых перспективных способов методов перехода с исчерпаемых и неэкологических источников энергии. Раскрывается её конкурентоспособность на сегодняшний день и возможность повышения процента её использования в будущем в России и в мире.

**Ключевые слова:** альтернативная энергетика, гелиоэнергетика, экология.

Гелиоэнергетика (солнечная энергетика) – вид энергетики, основанный на применении непосредственно солнечного излучения для получения какого-либо вида энергии. Солнечная энергетика использует источник энергии, который неисчерпаем, и является экологически чистой, т.е. не выделяющей вредных отходов.

Производство энергии при помощи солнечных электростанций соответствует концепции распределенного производства энергии.

Сегодня гелиоэнергетика выступает в роли основного метода снабжения спутников, космических станций и зондов электроэнергией.

Перспективно и целесообразно использовать данную энергию рассредоточенными и малоэнергоёмкими потребителями в областях, где наблюдается значительная солнечная радиация. В древней Греции солнечную радиацию использовали для освещения и строительства домов, для обогрева. Сегодня в домостроении используются специальные конструктивные приёмы по применению солнечной радиации, которые дают возможность сокращать потребность в отоплении на 75%.

Уже запущено использование прямых преобразователей солнечной радиации в тепловую и электрическую энергию в домостроении. Солнечную энергию генерируют на солнечной тепловой станции–башни (гелиостат), которая окружена группой зеркал (приёмников), собирающих падающую энергию Солнца на гелиостате, где температура достигает 1200°С. При помощи замкнутого охлаждённого контура вырабатывается электрическая энергия. На фотоэлектрических станциях энергия падающих лучей преобразуется через солнечные



элементы в электроэнергию. Как правило, солнечные тепловые станции занимают большую площадь.

Сегодня человечество активно использует новые энергетические источники, которые являются экологически чистыми. В 1890-1910 годы происходил бурный переход на новые источники энергии. Также данный период ознаменован заменой каретной тяги автомобилем, а светильники на газу освещением за счёт электричества. Во многих развитых странах свершилась промышленная революция.

В наши дни человечество переживает очередной переход на новые энергетические источники, который начался ещё в 1990 году. Учёные утверждают, что данный период продлится до 2020 года. Особенностью этого времени является его экологическая направленность – уменьшение загрязнения окружающей среды, снижение объёмов выбросов в атмосферу углекислого газа и сернистых газов. За это время человек должен внедрить возобновляемые чистые источники энергии, например гелиоэнергетику и тепловые насосы, в свою повседневную жизнь. Иначе под угрозой экологической катастрофы будет поставлена возможность дальнейшей жизнедеятельности на планете.

Возможности гелиоэнергетики.

Чтобы оценить возможности гелиоэнергетики, принято считать, что плотность потока солнечной радиации вне земной атмосферы равна 1,4 кВт на метр квадратный, в полдень на уровне океана – 1 кВт на метр квадратный.

Наша планета в среднем перехватывает  $1,7 \times 10^{14}$  кВт солнечной радиации, которая имеет огромную мощность, превышающую в 500 раз предельные малодостижимые потребности человечества. За год наша планета получает  $10^{18}$  кВт/ч солнечной энергии, это в 10 раз больше, чем количество энергии, которое могут дать все известные ископаемые топлива, в том числе расщепляемые вещества. Из общего количества солнечной радиации, поступающей на планету, 30% сразу же отражается в космическое пространство коротковолновым отражением, половина поглощается атмосферой, поверхностью планеты и преобразуется в тепло, которое рассеивается в космос в качестве инфракрасного излучения. Следующие 20% участвуют в процессах отражения, конвекции, осадков, кругооборота воды в природе. Около 0,2% энергии Солнца уходит на образование океанских и атмосферных потоков. И только 0,02% солнечной энергии захватывается хлорофиллом, содержащимся в зелёной растительности, и принимает участие в поддержании жизни на планете. Благодаря этим 0,02% миллионы лет назад образовалось ископаемое топливо на Земле.

Гелиоэнергетика является популярным видом электроэнергии в Западной Европе и Латинской Америке.

По самым оптимистичным прогнозам, к 2020 году гелиоэнергетика будет приносить 5-25% производства энергии во всем мире.

Существует два вида гелиоэнергетики: физический и биологический. Физический вариант – энергия аккумулируется солнечными элементами на полупроводниках, солнечными коллекторами или собирается системой зеркал.

Солнечные коллекторы распространены в Израиле, Японии, Греции, Турции, в Египте и на Кипре для отопления и нагревания воды. Некоторые предприятия в РФ производят солнечные сушилки, используемые в сельском хозяйстве, которые дают возможность сократить на 40% расходы энергии на единицу сухого продукта. В РФ также выпускаются усовершенствованные комплексные установки для нагрева воды и плоские солнечные коллекторы.

Солнечные элементы (ФЭП, фотоэлектрические элементы) используются широко в космических аппаратах. Но наиболее экономичной является гелиоэнергетика, использующая системы зеркал, способствующие нагреванию в трубах солнечных электростанций (СЭС) масла. Энергия, вырабатываемая на СЭС, в 5-7 раз дешевле энергии ФЭП. Недостаток СЭС – большие затраты металла на их создание (они в 10-12 раз выше, чем при получении энергии на АЭС или ТЭС). Затраты цемента ещё больше: в 50-70 раз. СЭС требуют больших площадей, поэтому их строительство возможно только в пустынях. Так, на юге от Лос-Анджелеса функционирует СЭС мощностью 80 МВт, затраты на её возведение окупались быстро, получаемая энергия на 1/3 дешевле энергии АЭС.

При биологическом варианте гелиоэнергетики применяется солнечная энергия, которая накопилась в органическом веществе растений в процессе фотосинтеза, как правило, в древесине. Количество диоксида углерода, выделяющееся при сжигании растительной массы, равняется его усвоению в процессе роста растений (нулевые выбросы). В ближайшие годы Австрия планирует получать до 1/3 необходимой энергии от сжигания древесины. Для данных целей в Великобритании собираются засадить лесом 1 млн га территории земель, не использующихся для сельского хозяйства. Высаживаются быстрорастущие породы, например, тополь, срезку которого можно осуществлять уже через три года после высаживания (деревья высотой около 4 м, диаметр стволов от 6 см). В Бразилии из отходов сахарного тростника вырабатывают этиловый спирт, использующийся в качестве

топлива; в США функционируют электростанции, работающие на сжигании отходов кукурузы.

Компания в Америке «Дженерал электрик» применяет биомассу бурых быстрорастущих водорослей (с 1 га этих плантаций ежедневно получается энергия, равная энергии 28 л бензина). Также используется планктонная микроскопическая водоросль спирулина, которая может давать ежегодно с 1 га до 24 т сухого вещества. В данном случае энергия производится в замкнутой системе: после сжигания водорослей зола передаётся в бассейн для последующего использования, что сокращает расход элементов минерального питания.

Биологическим видом гелиоэнергетики также является выработка биогаза, швельгаза, образующегося при термической обработке (пиролизе) бытовых органических отходов в специальных установках, где они нагреваются в анаэробных условиях до 400-700°C. Затрачивается лишь некоторое количество тепловой энергии, получаемой из традиционных источников.

#### **Список литературы:**

1. Виссарионова В.И. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов., М.: изд. дом МЭИ, 2008. 276 с.
2. Дьяков А. Ф. Малая энергетика России: проблемы и перспективы. М.: «Энергопрогресс: энергетика», 2003. 128 с.