МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЯРОСЛАВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА)

С Б О Р Н И К
Н А У Ч Н Ы Х Т Р У Д О В
ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

ЯРОСЛАВЛЬ
2016

УДК 631.172
ББК 31.15
С 23

С 23 Сборник научных трудов по материалам Международной очно-заочной научно-практической конференции «Энерогосбережение в сельскохозяйственном производстве» [Текст]. – Ярославль: Изд-во ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2016. – 92 с.
ISBN 978-5-98914-158-6

В сборник научных трудов включены результаты научных исследований и передовая практика сельскохозяйственного производства.

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ:

Воронова Л.В. – гл. редактор, к.э.н., профессор, ректор;
Суховская А.М. – зам. гл. редактора, к.э.н., доцент, проректор по учебно-научной работе и международным связям;
Морозов В.В. – редактор, к.ф.-м.н., декан инженерного факультета;
Соцкая И.М. – член совета, к.т.н., доцент, заведующая кафедрой «Технический сервис»;
Орлов П.С. – член совета, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Электрификация»;
Юревич Л.И. – член совета, к.фил.н., доцент, заведующая кафедрой «Иностранные языки»;
Шмигель В.В. – член совета, д.т.н., профессор кафедры «Электрификация»;
Ананьин Г.Е. – ответственный секретарь, к.п.н., менеджер по организации научной и профориентационной работы инженерного факультета;
Дорохова В.И. – ответственный секретарь, к.э.н., доцент, начальник управления по научной работе и международному сотрудничеству.

ISBN 978-5-98914-158-6

© ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, 2016
© Авторы статей, 2016

УДК 629.331

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА АВТОБУСАХ ГОРОДСКОГО ТИПА

Д.т.н. Б.С. Антропов, инженер С.А. Жишко
(ФГБОУ ВПО «ЯГТУ», Ярославль, Россия)

Ключевые слова: двигатель, газ, дизельное топливо, экология, выхлопные газы.

Оценивается эффективность перевода дизельного двигателя на газ и экономический эффект работы двигателя на газу.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF GAS ENGINES ON THE BUS URBAN

Doctor of Engineering Sciences B.S. Antropov, engineer S.A. Zhishko
(FSEBE HVT «YSTU», Yaroslavl, Russia)

Key words: engine, gas, diesel, ecology, exhaust gases.

Evaluated the effectiveness of the transfer of the diesel engine on the gas and the economic effect of the engine on gas.

В настоящее время основным транспортом, перевозящим пассажиров в РФ, являются автобусы ЛиАЗ и ПАЗ, оборудованные дизельными двигателями. Основным их недостатком является вредность выпускных газов, нарушающие экологическую обстановку в городах и населенных пунктах.

Одним из возможных решений повышения экологической безопасности дизельных автобусов является перевод их на газовое топливо. Если рассмотреть выхлопные газы дизельного двигателя, то в их состав входят такие вредные компоненты, как сажа, углеводороды, окислы углерода и азота. У двигателей, работающих на газе, в выхлопных газах указанные компоненты содержатся в разы меньше и к тому же отсутствует сажа, что положительно влияет на экологическую обстановку в населенных пунктах и на ресурс двигателя.

Как известно, дизельное топливо дороже газового. При работе на дизельном топливе на деталях двигателей появляются нагароотложения, к тому же возможно разжижение топливом картерного масла, что особенно имеет место при установке топливной аппаратуры на серийных двигателях ЯМЗ. Все это негативно сказывается на работоспособности деталей, снижает их ресурс и ресурс двигателя в целом.

В настоящее время дизельные двигатели как легковых, так и грузовых автомобилей можно довольно просто перевести на газ. Однако, в отличие от перевода бензинового двигателя на газ, в дизельном есть некоторые сложности, которые требуют больших материальных и трудовых затрат.

При переходе с бензина на газ особых сложностей не возникает. Однако в дизельном двигателе необходимо будет изменить систему зажигания. Газ в камере сгорания не будет самовоспламеняться просто от сжатия, так как температура самовоспламенения газа составляет 700 °С, а у дизельного топлива – 350 °С, что намного ниже, чем нужно. Поэтому очевидно, что при переходе с дизельного топлива на газ, возникают проблемы, которые могут быть решены следующим образом: приспособить дизельный двигатель к газу или использовать совместно газ и дизельное топливо.

Первый способ более простой и надежный в эксплуатации, но требует сложных, дорогостоящих и трудоемких переделок в системе питания двигателя. Демонтируется топливная аппаратура, вместо которой устанавливается система зажигания, которая специально предусмотрена для климата, условий эксплуатации и модели автомобиля. Вместо форсунок устанавливаются свечи зажигания. На автомобиль устанавливается газобаллонное оборудование, обычно в те места, которые не используются, или вместо топливных баков. Далее газ при помощи форсунки поступает во впускной коллектор или непосредственно в цилиндры.

Для долгосрочной работы двигателя этого всего недостаточно. Степень сжатия, которая используется для самовоспламенения смеси дизельного топлива, слишком критична для метана с октановым числом 90-110.

При эксплуатации и работе двигателя, без дальнейших улучшений, будет возникать вредное явление, именуемое как детонация, которая приведёт к выходу мотора из строя.

Степень сжатия двигателя надо уменьшить до 12-14. Производится это за счёт увеличения внутреннего объёма камеры сгорания.

В результате изменений от дизельного двигателя мало что остаётся, поэтому усовершенствованный двигатель называют газовым. По техническим характеристикам переделанный дизельный двигатель будет сравним с переведённым на газ бензиновым двигателем (если будет соблюдена степень сжатия 12-14). Для работы газового двигателя потребуется заправляться только газом, на другом любом виде топлива автомобиль выйдет из строя.

При втором способе двигатель представляет собой симбиоз дизельного и газового двигателя, без сложных и затратных переделок конструкции. Однако возникает проблема, связанная с самовоспламенение газа. В газодизеле используют следующую схему: в цилиндры двигателя, в конце такта сжатия, впрыскивается порция дизтоплива, которая поджигает газо-

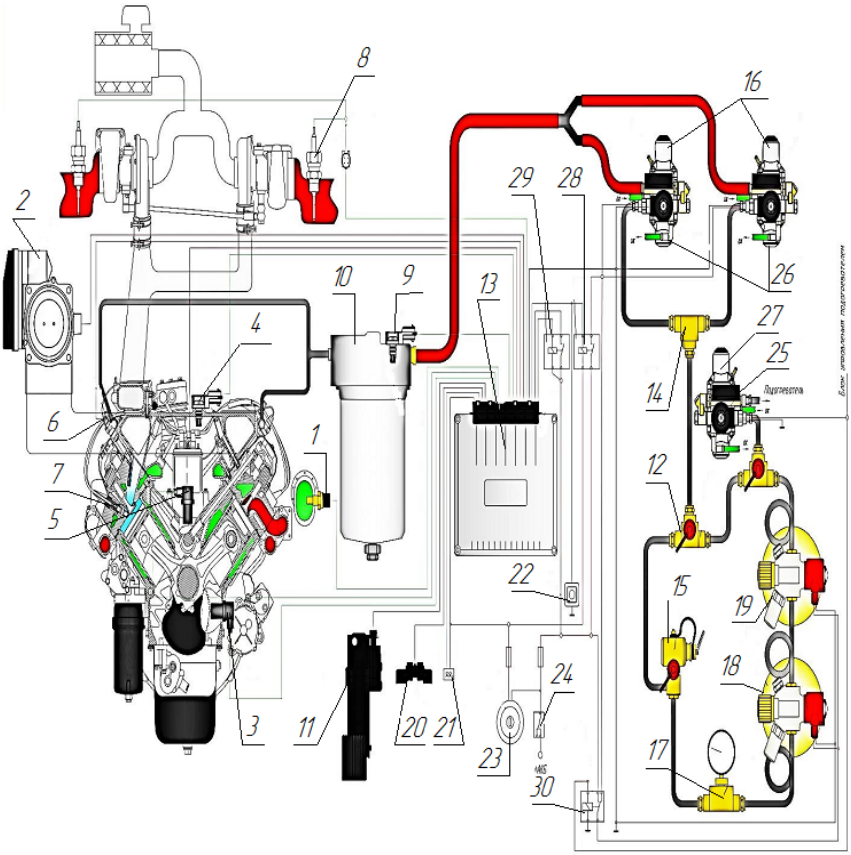
воздушную смесь, поданную на такте впуска. Кроме установки газовой системы необходимо на двигателе отрегулировать насос высокого давления на подачу запальной порции топлива. На газодизель можно переоборудовать любой дизельный двигатель.

Важным преимуществом газодизельных двигателей является их универсальность. При наличии газа можно существенно экономить на перевозках пассажиров. Но если по близости нет газовых заправок, то не будет проблем перейти на дизельное топливо.

Широкие работы по газовому двигателю ведутся на Камском автомобильном заводе [1]. На рисунке 1 приведен внешний вид двигателя КАМАЗ 820.60-260, работающего на метане [2].

Рисунок 1 – Внешний вид двигателя КАМАЗ 820.60-260, работающего на метане

На рисунке 2 представлена схема газобаллонного оборудования (ГБО) двигателя КАМАЗ 820.60-260, работающего на метане [2].



1 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 2 – узел дроссельной заслонки; 3 – датчик синхронизации; 4 – датчик давления и температуры воздуха во впускном коллекторе; 5 – датчик фазы; 6 – форсунка газовая; 7 – свеча зажигания; 8 – датчик температуры выхлопных газов; 9 – датчик давления температуры газа; 10 – газовый фильтр; 11 – электронная педаль; 12 – вентиль магистральный; 13 – электронный блок управления; 14 – тройник; 15 – заправочное устройство; 16 – газовый редуктор; 17 – манометр; 18 – баллон газовый; 19 – вентиль баллона с электромагнитным клапаном; 20 – колодка диагностическая; 21 – лампа диагностическая; 22 – выключатель электромагнитного клапана (ЭМК); 23 – замок зажигания; 24 – выключатель питания аккумулятора; 25 – ЭМК подогреватель; 26 – ЭМК высокого давления; 27 – редуктор подогревателя с ЭМК; 28 – главное реле; 29 – реле топливное; 30 – реле включения электромагнитных клапанов баллонных для питания подогревателя.

Рисунок 2 – Принципиальная схема ГБО

Предоставляется возможность оценить экономическую эффективность использования автобуса ЛиАЗ, работающего на газе.

Для сравнения в таблице 1 приведены значения для городского автобуса типа ЛиАЗ 529, работающего на газовом топливе, и ЛиАЗ 529, работающего на дизельном топливе. Значения, полученные при расчетах с использованием данных, приведены в источнике [3].

Таблица 1 – Оценка экономической эффективности автобусов ЛиАЗ 529

Основные технико-экономические показатели	Автобус работающий на газовом топливе	Автобус, работающий на дизельном топливе
	ЛиАЗ-529271	ЛиАЗ-529222
Стоимость автобуса, руб.	10 785 000	9 085 000
Расход топлива на 100 км	69 $м^3$	48 л
Цена топлива, руб.	15,20	34
Переменные эксплуатационные затраты за 800 тыс. км пробега:	12 230 400	16 192 000
Затраты на топливо, руб.	8 390 400	13 056 000
Затраты на ТО и ТР, руб.	3 840 000	3 136 000
Экологический класс	Евро-5(EEV)	Евро-5
Мощность двигателя, кВт	206	180
Внешний шум, дБ	76	80
Экономический эффект на единицу транспортного средства при использовании КПГ за время эксплуатации, руб.	2 261 600	

Используя автобусы с газовым двигателем, можно получить следующие результаты:

1. Уменьшение токсичности выпускных газов.
2. Уменьшение затрат на топливо.
3. Увеличение ресурса картерного масла и двигателя в целом.
4. Затраты на приобретение автобуса окупятся за 5 лет или 400 тыс. км пробега.
5. Прибыль за весь срок эксплуатации автобуса составит 2267 тыс. руб.

Литература

1. Семейство газовых двигателей КАМАЗ820.60 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.kamaz.ru/production/related/semeystvo-gazovykh-dvigateley-kamaz-820-60/.
2. Двигатель на метане [Электронный ресурс]. – URL: http://raritek-gba.ru/met/.

3. Расширение использования природного газа в качестве моторного топлива [Электронный ресурс]. – URL: http://www.mosgortrans.ru/fileadmin/press_center/news/2013 /Gazprom.pdf.
4. Сервисный центр КАМАЗ на метан [Электронный ресурс]. – URL: http://kamazcentrug.ru/service_gas.php#text.
5. Что такое газодизель? [Электронный ресурс]. – URL: http://bez-benzina.ru/bez-benzina_gazodizel/.
6. Двигатели на метане [Электронный ресурс]. – URL: http://cngas.ru/produkty/nabory-dlya-konversii-benzinovyx-i-dizelnyx-dvigatelej/.
7. Перевод дизельного двигателя на газ [Электронный ресурс]. – URL: http://www.autoshcool.ru/3788-perevod-dizelnogo-dvigatelya-na-gaz.html.

УДК 621.31

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Студент И.В. Бирюков
(ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоград, Россия)

Ключевые слова: энергия, потребление, использование, эффективность.

В результате проведенного анализа климатических данных Волгоградской области и данных электропотребления ряда объектов была выявлена эффективность использования альтернативных источников энергии в сельскохозяйственном производстве с целью экономии энергоресурсов и надежного энергоснабжения.

ALTRNATIVE SOURCES OF ENERGY IN AGRICULTURAIL PRODUCTION

Student I.V. Biryukov
(FSBEI HE Volgograd SAU, Volgograd, Russia)

Key words: energy, consumption, use, efficiency.

As a result of the analysis of climate data and data of the Volgograd region and power consumption data of a series of objects the effectiveness of the use of alternative energy sources in agricultural production was revealed in order to save energy and reliable energy supply.

Энергия – это движущая сила любого производства. Сегодня около половины мирового энергобаланса приходится на долю нефти, около трети – на долю газа и атома (примерно по одной шестой) и около одной пятой – на долю угля. На все остальные источники энергии остается всего несколько процентов.

Получаемое за счет энергии Солнца тепло может быть эффективно использовано для целей теплоснабжения – отопления помещений в зимний период, горячего водоснабжения. Особенно перспективно использование солнечной энергии в сельском хозяйстве, где создание условий труда и быта, соответствующих современному условию научно-технического процесса, за счет традиционных источников энергии крайне дорого.

Источник солнечного излучения – Солнце, которое в каждый момент времени излучает в космическое пространство около 4·1023 кВт солнечной радиации. Количество лучистой энергии, попадающей на Землю, в энергетическом эквиваленте составляет 1018 кВт·ч в год.

Эта энергия в 50 раз превышает всю ту энергию, которую можно получить из доказанных на сегодня запасов ископаемого органического топлива, и в 35000 раз превышает нынешнее ежегодное потребление энергии в мире. Вопросам эффективного использования солнечной энергии для горячего водоснабжения посвящены научные труды Р.А. Амерханова, П.П. Безруких, В.А. Бутузова, В.И. Виссарионова, Ю.Г. Коломиец, О.С. Поппель, Л.А. Саплина, С.К. Шерьязова и других.

Как показали исследования ученых, среднегодовая плотность потока солнечного излучения составляет 130–210 Вт/м^2 в центральной части России и 80–130 Вт/м^2 на севере России.

В центральной части России за летнее полугодие, когда теплопотребление минимально, на землю поступает около 2/3 всего годового количества солнечной энергии, а в июле приход солнечной энергии в 5-10 раз больше, чем в декабре.

Как известно, имеются три основные направления использования солнечной энергии: прямое преобразование солнечной энергии в электроэнергию, преобразование солнечной энергии в тепловую и преобразование солнечной энергии в электрическую по термодинамическому циклу. Наибольшее распространение получили первые два направления.

В России и мире получило широкое распространение преобразование солнечной энергии в низкопотенциальную тепловую энергию, достаточную для горячего водоснабжения и отопления. Это объясняется тем, что КПД преобразования солнечной энергии в тепловую энергию выше, чем КПД преобразование солнечной энергии в электрическую. Кроме того, преобразование солнечной энергии в тепловую реализуется с помощью достаточно простых, а, следовательно, и относительно дешевых технических средств.

В Волгоградской области 293 (297 максимум) солнечных дней в году, 2200 ч солнечного сияния в год. Интенсивность солнечного излучения доходит до 1000 Вт/м^2·ч. (таблица 1).

Таблица 1 – Число дней без солнца в некоторых населенных пунктах Волгоградской области

Станция	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*За год*
Урюпинск	16	12	6	4	0	0	0	1	2	8	12	22	83
Камышин	16	9	9	2	2	1	0	2	2	6	13	19	81
Волгоград	18	10	6	1	1	0	0	0	1	6	11	19	74
Эльтон	17	10	8	2	0	0	0	1	2	5	9	18	72

На протяжении миллиардов лет Солнце ежесекундно излучает огромную энергию. Около трети энергии солнечного излучения, попадающего на Землю, отражается ею и рассеивается в межпланетном пространстве. Много солнечной энергии идёт на нагревание земной атмосферы, океанов и суши. В настоящее время в народном хозяйстве достаточно часто используется солнечная энергия – гелиоэнергетические установки (различные типы солнечных теплиц, парников, опреснителей, водонагревателей, сушилок). Солнечные лучи, собранные в фокусе вогнутого зеркала, плавят самые тугоплавкие металлы. Ведутся работы по внедрению солнечных электростанций с использованием солнечной энергии для отопления домов и т.д. Практическое применение находят солнечные полупроводниковые батареи, позволяющие непосредственно превращать солнечную энергию в электрическую.

Потенциал энергии ветра подсчитан более-менее точно: по оценке Всемирной метеорологической организации ее запасы в мире составляют 170 трлн кВт·ч в год. Среднегодовая скорость ветра в Волгоградской области составляет 4,7 м/с.

У энергии ветра есть несколько существенных недостатков, которые затрудняют ее использование, но отнюдь не умаляют ее главного преимущества – экологической чистоты. Она сильно рассеяна в пространстве, поэтому необходимы ветроэнергоустановки, способные постоянно работать с высоким КПД.

В настоящее время разработаны ветроэнергоустановки, способные эффективно работать при самом слабом ветре. Шаг лопасти винта автоматически регулируется таким образом, чтобы постоянно обеспечивалось максимально возможное использование энергии ветра, а при слишком большой скорости ветра лопасть автоматически переводится во флюгерное положение, так что авария исключается.

Чтобы компенсировать изменчивость ветра, сооружают огромные «ветряные фермы». Ветряки при этом стоят рядами на обширном про-

странстве, потому что их нельзя ставить слишком тесно – иначе они будут загораживать друг друга. Такие «фермы» есть в США, во Франции, в Англии, и в Волгоградской области спроектировано два ветропарка. Положительный пример по использованию энергии ветра показали Нидерланды и Швеция, которая приняла решение на протяжении 90-х годов построить и разместить в наиболее удобных местах 54 тысячи высокоэффективных энергоустановок. В мире сейчас работает более 30 тысяч ветроустановок разной мощности. Германия получает от ветра 10% своей электроэнергии, а всей Западной Европе ветер дает 2500 МВт электроэнергии.

Для расчёта мощности ветроустановки применяется формула (1):

$$P = r\ V\ 3\ S / 2\ [Вт], \qquad (1)$$

где r – плотность воздуха (при нормальных условиях = 1,225кг/м^3);

V – скорость воздушного потока, м/с;

S = П R 2 = П D 2/4 – площадь ветрового потока, м^2.

Так как никакая турбина не может использовать 100% энергии ветра, то для расчета мощности ветрового генератора необходимо в формулу ввести коэффициент эффективности турбины, который может иметь значение 0,2-0,5 (2):

$$P * = к\ r\ V\ 3\ S / 2\ [Вт]. \qquad (2)$$

Гидроэнергостанции – еще один из источников энергии, претендующих на экологическую чистоту. В начале XX века крупные и горные реки мира привлекли к себе внимание, а к концу столетия большинство из них было перегорожено каскадами плотин, дающими баснословно дешевую энергию. Однако это привело к огромному ущербу для сельского хозяйства и природы вообще: земли выше плотин подтоплялись, ниже – падал уровень грунтовых вод, терялись огромные пространства земли, уходившие на дно гигантских водохранилищ, прерывалось естественное течение рек, загнивала вода в водохранилищах, падали рыбные запасы и т.п. На горных реках все эти минусы сводились к минимуму, зато добавлялся еще один: в случае землетрясения, способного разрушить плотину, катастрофа могла привести к тысячам человеческих жертв. Поэтому современные крупные ГЭС не являются действительно экологически чистыми. Минусы ГЭС породили идею «мини-ГЭС», которые могут располагаться на небольших реках или даже ручьях, их электрогенераторы будут работать при небольших перепадах воды или движимые лишь силой течения. Эти же мини-ГЭС могут быть установлены и на крупных реках с относительно быстрым течением. Технический потенциал гидроэнергоресурсов в Волгоградской области от 10 млрд и выше кВт·ч в год.

Детально разработаны центробежные и пропеллерные энергоблоки рукавных переносных гидроэлектростанций мощностью от 0,18 до 30 ки-

ловатт. При поточном производстве унифицированного гидротурбинного оборудования «мини-ГЭС» способны конкурировать с «макси» по себестоимости киловатт-часа. Несомненным плюсом является также возможность их установки даже в самых труднодоступных уголках страны: все оборудование можно перевезти на одной вьючной лошади, а установка или демонтаж занимает всего несколько часов.

Начиная с 50-х годов, ведется интенсивное изучение возможностей производства топлива из биомассы. Уже сейчас некоторые виды промышленности используют биомассу в небольших масштабах в качестве источника энергии.

Отходы сельского хозяйства и леса, городские отходы, навоз животных могут оказаться дополнительными источниками энергии и использоваться в качестве сырья для производства жидкого и газообразного топлива.

Уровень загрязнения окружающей среды при сжигании соответствующего топлива зависит от содержания в нем азота и серы. Согласно немногочисленным данным, в древесине содержится менее 1,5% азота и менее 0,1% серы. В различных видах сельскохозяйственных культур содержание азота колеблется от 0,4% в пшенице, до 4,5% в рисе. Что касается содержания серы, то в рисе оно меньше 0,2%, а в пшенице меньше 0,16%, т.е. меньше, чем азота и серы в угле. Растения, как правило, содержат примерно одинаковые количества серы и фосфора. Технический потенциал биоэнергетики в Волгоградской области более 6 млн. т у.т. в год.

Выводы

Возобновляемые источники энергии в энергосбережении сельскохозяйственного производства играют значительную роль и обладают следующими преимуществами: безотходные технологии, отсутствие выбросов, полная замена процессов сжигания, экологическая чистота, высокая экономическая эффективность, разовое вложение финансовых средств, автономность, энергонезависимость.

Литература

1. Солнечная энергетика и солнечные батареи. – URL: http://solar-battery.narod.ru.
2. Безруких, П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России [Текст] / П.П. Безруких; под общей редакцией П.П. Безруких. – Санкт-Петербург: «Наука», 2002.
3. Амерханов, Р.А. Проектирование систем теплоснабжения сельского хозяйства [Текст] / Р.А. Амерханов, Б. Х. Дроганов. – Краснодар, 2001.
4. Амерханов, Р.А. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства [Текст] / Р.А. Амерханов и др. – Москва: «Колос пресс», 2002.
5. Бекиров, Э.А. Автономные источники электропитания на базе солнечных батарей [Текст] / Э.А. Бекиров. – Симферополь: ИТ «Ариал», 2011.

УДК 621.327

НАТРИЕВЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ СО ЩЕЛОЧНЫМИ ДОБАВКАМИ ДЛЯ СВЕТЛОКУЛЬТУРЫ РАСТЕНИЙ

К.т.н. И.А. Велит
(Полтавская государственная аграрная академия, Полтава, Украина)

Ключевые слова: источник света, цезий, растения.

Приведены результаты исследований действия излучения натриевых ламп высокого давления с добавками цезия по сравнению с другими источниками света. Даны рекомендации по их использованию для выращивания растений в условиях закрытого грунта.

HIGH-PRESSURE SODIUM LAMPS WITH THE COMPONENTS OF ALCALI METALS FOR PHOTOCULTURE PLANTS

Candidate of Engineering Sciences I.A. Velit
(The Poltava state agrarian academy, Poltava, Ukraine)

Key words: light, cesium, plants.

The paper presents the results of experimental investigation of a radiation effect of sodium lamps high-pressure with the additives of cesium under comparison with other light sources. The perspectives of their applying for cultivation of plants in conditions of a closed soil are discussed.

В связи с широким ассортиментом различных источников облучения длительное время обсуждаются вопросы об эффективности их использования для условий тепличного хозяйства. Энергетическую эффективность облучательных систем для растениеводства можно достичь с использованием высокоэффективных источников света со спектральным составом излучения, который благоприятно влияет на биологические процессы в растениях. В настоящее время наиболее распространенными источниками света, используемыми в растениеводстве закрытых грунтов, являются натриевые лампы высокого давления (НЛВД), поскольку их световая отдача, срок работы и стабильность параметров – одни из лучших среди всех источников света (ИС). Однако многочисленные теоретические и экспериментальные исследования процессов в разряде, на электродах и в приэлектродных участках НЛВД показали, что есть целый ряд вопросов, которые требуют дальнейшего изучения и совершенствования [1, 2]. Для НЛВД,

которые используются в растениеводстве закрытых грунтов, необходимо прежде всего оптимизировать спектральный состав излучения под конкретную светокультуру растений и максимально повысить лучевой поток в этой области фотосинтезно активной радиации (ФАР) [3, 4].

Известен целый ряд интересных работ по исследованию процессов в НЛВД и выяснения путей их совершенствования. При выборе путей дальнейшего совершенствования НЛВД для растениеводства вызывают интерес работы [5, 6]. В них рассматривается регулирование спектрального состава НЛВД, увеличение давления паров натрия, введение в горелку дополнительно других излучающих добавок, импульсное питание.

Целью данной работы является оптимизация спектрального состава излучения натриевых ламп высокого давления за счет введения в амальгаму (Na–Hg) добавок щелочных металлов. Для успешного применения таких ламп также необходимо установить зависимость светотехнических характеристик от конструктивных параметров, а именно: зависимость энергетического светового потока и световой эффективности от удельной мощности ламп. Поскольку теоретическое установление таких зависимостей представляет значительные трудности, наиболее реальным путем решения этой проблемы остается экспериментальное исследование указанных характеристик.

Методика

Исследовались лампы с разрядными трубками диаметром 8,9 мм, межэлектродное расстояние – 85 мм и составом амальгамы натрия с добавками цезия (Hg – 20%, Na – 75%, Cs – 5%), калия (Hg – 20%, Na – 79%, K – 1%), рубидия (Hg – 20%, Na – 79%, Rb – 1%).

Амальгамы Na–Hg–Me были изготовлены с точностью дозирования основных компонентов ± 0,5%. Для получения амальгамы использовались натрий высокой чистоты и ртуть марки Р-ООО. Содержание добавок в амальгаме был от 1 до 10 ат.%. Всего изготовлялось по 5 образцов ламп с амальгамой каждого состава. Для стабилизации электрических световых параметров лампы перед измерениями обжигались в течение 100 часов. Измерение электрических и световых параметров выполнялось в соответствии с ГОСТ 17616-82 [7]. Погрешность измерения не превышала 5%.

Измерения спектральных характеристик проводили с помощью спектрометра ИСП-51 с приемником ФЭУ-62 (в диапазоне 400-1200 нм), регистрацию фототоков – с помощью потенциометра КСП-4 и цифрового вольтметра В7-27. Градуирование установки по спектральной чувствительности проводилась с помощью лампы СИРШ-8.5 – 200 с вольфрамовой лентой. Измерения проводились при мощности лампы $P_Л$ от 250 до 600 Вт, перекрывая диапазон традиционных для стандартных НЛВТ удельных мощностей (Р1 = 25...60 Вт/см).

Результаты

В результате проведенных экспериментов получены следующие результаты: спектры излучения ламп с добавками цезия смещены в красную область спектра, спектральный состав излучения ламп с составом амальгамы натрия и добавками цезия (Hg – 20%, Na – 75%, Cs – 5%), калия (Hg – 20%, Na – 79%, K – 1%), имеет меньшую, чем стандартные натриевые лампы высокого давления, интенсивность излучения в области 500-600 нм и значительно большую в красной (600...700 нм) и ближних инфракрасных участках. Комбинация натрий-калий-цезиевого наполнения (Na–K–Cs–Hg), кроме натрий-желтокрасного излучения, дает максимум красного в области 700...770 нм. Повышенная эффективность в видимой области спектра у этого варианта не только может повысить световую эффективность, но и сделает этот источник более привлекательным для специального использования. Недостатком этой лампы является то, что максимум излучения находится в ближней инфракрасной области, видимый диапазон спектра существенно уменьшен. На рисунке 1 приведены спектры стандартных натриевых ламп и натриевых ламп с добавками цезия Cs (5%).

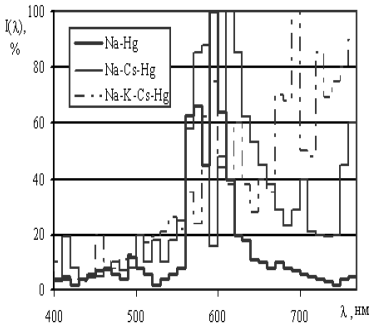


Рисунок 1 – Распределение относительной спектральной энергии излучения ламп с разным наполнителями: Na–Hg, Na–Cs–Hg, Na–K–Cs–Hg

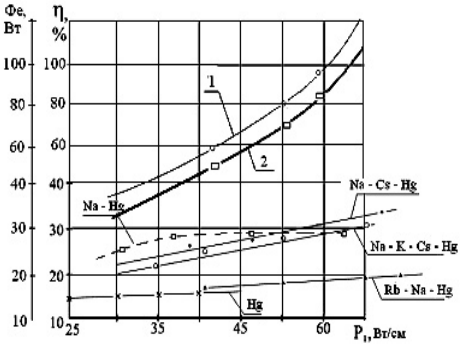
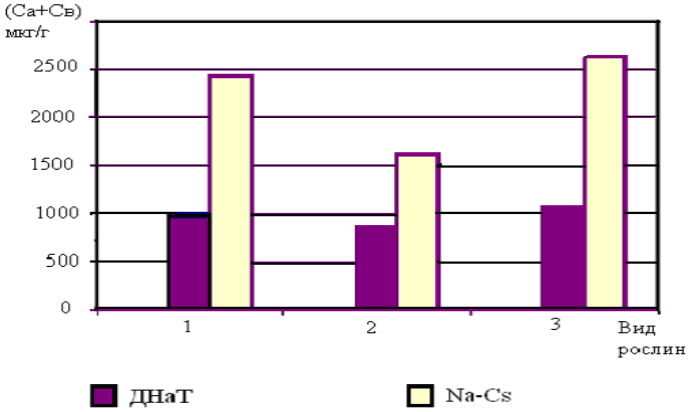


Рисунок 2 – Зависимость энергетического потока излучения (Фе) ламп с различными добавками (1 – Cs (5%), 2 – K (1%), Cs (5%)) и световой эффективности (η) ламп с различными наполнителями (□ – Na–Hg, o – Na–K–Cs–Hg, • – Na–Cs–Hg, × – Hg, ▲– Rb–Na–Hg) от удельной мощности ламп (P_1)

Следующим этапом исследования является установление зависимости характеристик потока излучения горелки исследуемых ламп от удельной мощности (P_1). Анализ показывает, что энергетический поток излуче-

ния (Фе) в лампах с добавкой Cs (5%) (рисунок 2, кривая 1) выше, чем в лампах с добавками Cs (5%) – K (1%) (рисунок 2, кривая 2). Световая эффективность (η) при увеличении P_1 ламп возрастает, причем для натрий-ртутных ламп при P_1 (28-60 Вт/см) η выше, чем для ламп с добавками Cs, K, Rb, а при P_1, превышающей 58…65Вт/см, η выше для ламп с добавками Na-Cs-Hg и Na-Cs-K-Hg и составляет 29%.

Для оценки качественных показателей растения были выращены при облучении лампами с добавками цезия с определенными светотехническими параметрами, выполнен анализ содержания пигментов в листьях растений томата, огурца и гороха. Результаты сравнения со стандартными натриевыми лампами представлены графически на рисунке 3 по.



1 – томат сорта «Де Барао»; 2 – огурец «Феникс»; 3 – горох «Мадонна».

Рисунок 3 – Содержание пигментов в листьях растений томата, огурца и гороха при освещении разрядными лампами высокого давления

Таким образом, облучение растений лампами с добавками цезия приводит к существенному повышению суммарного содержания (Са + Св) хлорофилла *а* и *в* по сравнению с облучением стандартными натриевыми лампами.

Выводы

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что для выращивания огурца и томатов в условиях тепличного хозяйства наиболее пригодны высокоинтенсивные натриевые лампы с добавками цезия. При удельных мощностях P_1 > 58...60 Вт/см световая эффективность этих ламп составляет 29%, и поэтому их следует рекомендовать для широкого применения в условиях закрытого грунта.

Литература
1. Литвинов, В.С. Об особенностях расчета и оптимизации параметров массовых источников света [Текст] / В.С. Литвинов // Светотехника. – 1993. – № 5-6. – С. 28-31.
2. Вассерман, А.Л. Об оценке эффективности действия источников излучения на растения [Текст] / А.Л. Вассерман, Г.Н. Квашин, В.В. Малышев // Светотехника. – 1986. – № 7. – С. 14-16.
3. Прикупец, Л.Б. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры [Текст] / Л.Б. Прикупец, А.А. Тихомиров // Светотехника. – 1992. – № 3. – С. 5-7.
4. Сарычев, Г.С. Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ [Текст] / Г.С. Сарычев // Светотехника. – 2001. – № 2. – С. 27-30.
5. Pichler, G. Spectrum of the Cs High Pressure Lamp [Text] / G. Pichler, V. Zivcec, R. Beuc, Z. Mrzljak, T. Ban, H. Skenderovic, K. Giinther //Physica Scripta. – 2003. – Vol.TXX. – P. 1-3.
6. Дергачева, М.Б. Термодинамические свойства жидких сплавов системы натрий-цезий-ртуть [Текст] / М.Б. Дергачева, Г.Р. Хобдабергенова // Физическая химия. – 1988. – Т. 62, № 3. – С. 594-599.
7. ГОСТ 17616-82. Лампы разрядные. Методы измерения электрических и световых параметров.
8. Кожушко, Г.М. Розвиток рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами високого тиску з добавками цезію [Текст] / Г.М. Кожушко, І.А. Велит, Т.В. Сахно // Праці Таврійської держ. Акад. – 2004. – Вип. 19. – С. 55-60.

УДК 631

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ЗЕРНОВОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Д.т.н. Ю.М. Исаев, к.т.н. Н.М. Семашкин, аспирант А.О. Кошкина
(ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина,
Ульяновск, Россия)

Ключевые слова: зерновой движитель, спиральный винт, ворошение зерна.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию технологических характеристик спирально-винтового устройства для ворошения зернового материала в зерноскладах.

THEORETICAL DESCRIPTION OF WORK GRAIN MOVER

Doctor of Engineering Sciences Yu.M. Isaev,
Candidate of Engineering Sciences N.M. Semashkin,
post-graduate student A.O. Koshkina
(FSBEI HE Ulyanovsk SAA, Ulyanovsk, Russia)

Key words: grain mover, the helical screw, morose of grain.

Conducted theoretical and experimental research on justification of technological characteristics of the spiral-helical device for the tedding quality of grain in the granaries.

Зерно является «живым» организмом, ему требуется постоянный уход, специальные помещения, средства механизации, большие материальные затраты. Во время хранения в зерне идут биологические процессы, для их правильного протекания важно учитывать такой показатель, как влажность. Процесс хранения нарушается самосозреванием зерна внутри насыпи. Для его предотвращения нужно использовать сушку, активное вентилирование или периодическое перемешивание бурта. Одним из лучших способов предотвращения самосозревания зерна и последующей его порчи является перемешивание всего бурта зерна устройством для ворошения зерна с рабочим органом в виде спирального винта.

Для изучения процесса перемешивания определим тягу движителя, для этого рассмотрим схему (рисунок 1) [1], полагая, что давление в струе движителя на выходе из сопла равно атмосферному давлению p_0.

Применяя закон количества движения, можно записать выражение для тяги движителя:

$$P = m(\upsilon_i - \upsilon_o), \tag{1}$$

где υ_i – скорость перемещения зерна в спирально-винтовом устройстве, м/с;

υ_o – скорость перемещения движителя, м/с.

Масса зерна m на основании уравнения неразрывности в уравнении (1) может быть вычислена как произведение:

$$m = \rho \upsilon_i F_i, \tag{2}$$

где ρ – плотность материала, кг/м^3;

υ_i – скорость на выходе из сопла, м/с;

F_i – площадь сечения сопла, м^2.

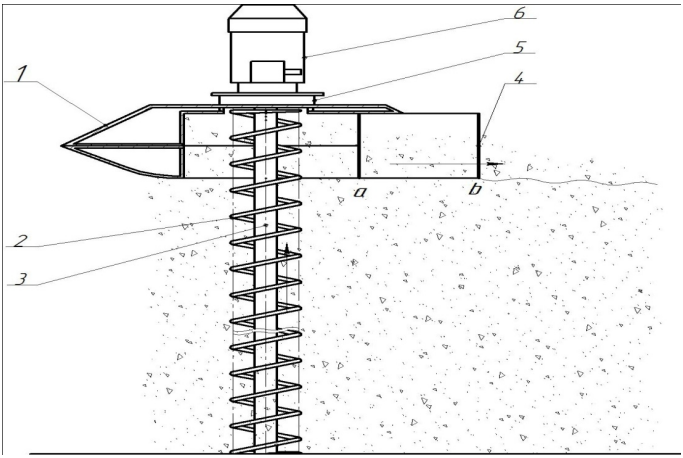
Согласно сделанному выше допущению скорость на выходе из сопла должна быть равна скорости на бесконечности υ_∞ [2]. Справедливость этого допущения для сопла подтверждена экспериментально. Тогда примем, что $\upsilon_j = \upsilon_\infty$, и приведем уравнение (1) к виду:

$$P = m(\upsilon_i - \upsilon_o) \text{ или } P = \rho Q(\upsilon_i - \upsilon_o). \tag{3}$$

Учитывая, что на основании уравнения неразрывности потока для любого j-того сечения в перемещаемом потоке можно записать:

$$m = \rho \upsilon_i F_i = \rho Q\,, \tag{4}$$

где Q – объемный расход зерна через зерновой движитель, м^3/ч.



1 – корпус; 2 – спиральный винт; 3 – вал; 4 – выходное сопло; 5 – редуктор; 6 – электродвигатель.

Рисунок 1 – Схема зерновой ворошилки

Рассмотрим движение зерна в движителе и найдем, используя уравнения Бернулли, выражение для перепада давлений в устройстве. Для участка линии тока от точки на бесконечности перед движителем до сечения непосредственно перед диском рабочего колеса будем иметь:

$$p_1 + \rho \upsilon_1^2 / 2 = p_0 + \rho \upsilon_0^2 / 2 - \Delta p_1\,, \tag{5}$$

где p_1 – давление непосредственно перед соплом, Па;

Δp_1 – гидравлические потери на рассматриваемом участке, Па.

Для участка от сопла до точки на бесконечности за движителем соответственно получим:

$$p_2 + \rho \upsilon_2^2 / 2 = p_0 + \rho \upsilon_i^2 / 2 - \Delta p_2\,, \tag{6}$$

где p_2 – давление в точке, находящейся в бесконечности за соплом, Па;

Δp_2 – гидравлические потери на участке за соплом, Па.

Принимая во внимание, что $\upsilon_1 = \upsilon_2$, перепад давлений определится величиной:

$$p_2 - p_1 = \rho \upsilon_i^2 / 2 - \rho \upsilon_0^2 / 2 - \Delta p_\Sigma\,. \tag{7}$$

Перепад давлений равен напору устройства и обозначается величиной H, измеренной в метрах:

$$H = (\mathrm{p}_2 - p_i) / \gamma\,, \tag{8}$$

где γ – удельный вес зерновой насыпи.

В этом случае выражение для определения скорости на выходе сопла примет вид:

$$\upsilon_i = (2gH + \upsilon_0^2 + 2\Delta p_\Sigma / \rho)^{1/2}. \quad (9)$$

После подстановки этого выражения в (1) можно определить величину тяги через параметры зернового движителя устройства H и Q.

Методика

Рассмотрим выражение для определения скорости на срезе сопла при разделении гидравлических потерь на потери на входе в заборный канал, в части перед соплом и потери в сопле. При этом будем полагать, что для потерь в части перед соплом и потерь на подъем зерна характерной является скорость υ_0, а для потерь в сопле – скорость выбрасываемого из сопла зерна. Тогда выражение для напора может быть преобразовано к виду:

$$H = \upsilon_i^2(1+q_c)/2g - \upsilon_0^2(1-q_o)/2g + h, \quad (10)$$

где q_c – коэффициент потерь в сопле; q_o – коэффициент потерь на входе.

На основании этого выражения скорость на срезе сопла, необходимая для определения величины тяги в уравнении (1), может быть представлена в виде

$$\upsilon = \{[2g(H-h) + \upsilon_0^2(1-q_0)]/(1+q_c)\}^{1/2}. \quad (11)$$

Определим оптимальные параметры работы устройства. Проектирование зерновых движителей связано с обеспечением ряда технических требований: получением максимально возможных требуемых качеств, минимальных масс и габаритов, высоких качеств перемещаемых масс зерна.

На определение режимных и конструкционных параметров работы зерновых движителей существенное влияние оказывают размеры насыпи зерна и требования по надежности и ремонтопригодности движителя.

Результаты

Для исследования процесса передвижения зерна использовалось устройство со следующими параметрами: длина спирального винта равна L = 2 м, шаг s = 0,06 м, частота вращения n = 900 мин$^{-1}$ или n = n/ 60 = 15 с$^{-1}$, плотность зернового материала ρ = 740 кг/ м^3, диаметр спирального винта равна D = 0,06 м, диаметр осевой трубки спирального винта равен d = 0,02 м, высота окна равна h = 0,25 м, длина окна в сечении a: c_1= 0,26 м, длина окна в выходном сечении b: c_2 = 0,49 м. Площади во всех проходных сечениях: сечение в плоскости крепления спирального винта $F_1 = \pi\left(D^2 - d^2\right)/4 =$ 5,5·10^{-3} м^2; площадь в сечении a : $F_2 = h \cdot c_1$ = 0,065 м^2; площадь в сечении b: $F_3 = h \cdot c_2$ = 0,23 м^2 (рисунок 1).

На основании уравнения неразрывности потока для любого i-того сечения в канале можно записать [3]:

$$m = \rho\upsilon_i F_i = \rho Q, \ \rho\upsilon_1 F_1 = \rho\upsilon_2 F_2 = \rho\upsilon_3 F_3 = \rho Q,$$

Откуда объемный расход Q будет равен: $Q = \rho snF_1$ = 3,66 кг/с = 13,2 т/ч.

С учетом результатов экспериментальных исследований значение объемного расхода $Q_э$ = 7,2 т/ч, тогда коэффициент отставания равен:

$$k = \upsilon_э / \upsilon = Q_э / Q = 0{,}55.$$

Скорости в каждом сечении будут находиться по формулам:

$$\upsilon_1 = ksn = 0{,}5 \text{ м/с}$$

$$\upsilon_2 = \upsilon_1 F_1 / F_2 = 0{,}042 \text{ м/с}$$

$$\upsilon_3 = k\upsilon_1 F_1 / F_3 = 0{,}022 \text{ м/с}.$$

Перепада давлений в каждом сечении спирально-винтового устройства при движение зерна в устройстве находится на основании уравнения Бернулли:

$$P_2 + \rho\upsilon_2^2 / 2 = P_3 + \rho\upsilon_3^2 / 2 \qquad (12)$$

$$\Delta p = P_3 - P_2 = \rho\left(\upsilon_2^2 - \upsilon_3^2\right) / 2 = 0{,}47 \text{ Н/м}^2$$

$$P_1 + \rho\upsilon_1^2 / 2 = P_3 + \rho\upsilon_3^2 / 2 \qquad (13)$$

$$\Delta p_1 = P_3 - P_1 = \rho\left(\upsilon_1^2 - \upsilon_3^2\right) / 2 = 100 \text{ Н/м}^2.$$

При этом сила тяги G определится по формуле: $G = \Delta p_1 F_3 =$ 12,3 Н.

С учетом коэффициента $f = c\rho F / 2 = 8 \cdot 10^4$ кг/м найдем скорость перемещения устройства движителя:

$$\upsilon_0 = \left(G / f\right)^{0,5} = 0{,}0124 \text{ м/с} = 0{,}744 \text{ м/мин}.$$

Реальные значения скорости перемещения устройства по поверхности насыпи зерна составляют порядка 10 %, что связано с изменением плотности зернового материала по глубине насыпи при продолжительном хранении его в складах. В результате экспериментального моделирования были получена зависимость скорости перемещения υ_0 (м/с) движителя от частоты вращения n спирально-винтового рабочего органа для устройства с приведенными выше параметрами (рисунок 2), которая аппроксимируется линейной зависимостью.

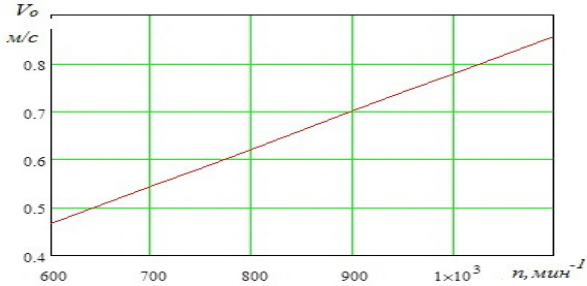


Рисунок 2 – Зависимость скорости перемещения движителя от частоты вращения рабочего органа

Выводы

Предложенные теоретические исследования предназначены для получения необходимых конструктивно-режимных параметров движителя зерна при его конструировании. При проведении экспериментальных исследований устройство показало, что ворошение зерновой насыпи, способствует исключению самосозревания зерна и его порчи.

Литература

1. Патент РФ № 148573. Устройство для ворошения зерновой насыпи [Текст] / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Т.А. Джабраилов, А.И. Мельников, В.Г Константинов. – № 2014117417/13; заявл. 29.04.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34.
2. Исаев, Ю.М. Обоснование процесса перемещения семян спирально-винтовым рабочим органом [Текст] / Ю.М. Исаев, Н.М. Семашкин, Н.Н. Назарова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011.– № 1. – С. 97-99.
3. Семашкин, Н.М. Разработка устройства для механизации зерноскладов и обоснование его параметров [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Н.М. Семашкин; Башкирский государственный аграрный университет. – Уфа, 2010.

УДК 621.436.018

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

К.т.н. И.В. Кряклина
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: двигатель, отработавшие газы, теплообменник, агент сушки, зерновой ворох, зерноуборочный комбайн.

Представлены результаты расчета оптимального теплообменника для получения агента сушки зернового вороха в зерноуборочном комбайне.

CALCULATION OF THE OPTIMAL HEAT EXCHANGER

Candidate of Engineering Sciences I.V. Kryaklina
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Key words: engine, exhaust gases, heat exchanger, drying agent, grain mass and grain harvester.

It is offered the results of the calculation of the optimal heat exchanger for receiving the drying agent of grain mass in the grain harvester.

Методика

На основании изучения и анализа спирального движения газа произведены расчеты теплообменника со спиральной трубой теплоносителя и спиральной трубой нагреваемого воздуха.

Результаты

Эффективный коэффициент полезного действия лучших дизельных двигателей не превышает 42%. Более половины энергии топлива теряется в окружающую среду. В зерноуборочном комбайне есть возможность использовать эту энергию для частичной сушки зерна за счет тепла отработавших газов, системы охлаждения, нагретых элементов поверхности двигателя, надуваемого воздуха.

На основании расчетов получена зависимость выхода отработавших газов от расхода топлива двигателей внутреннего сгорания, представленная на рисунке 1.

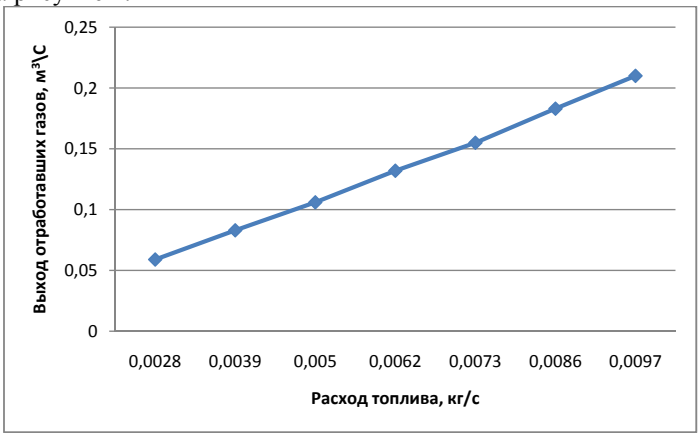


Рисунок 1 – Зависимость выхода отработавших газов от расхода топлива двигателей

Отработавшие газы опасно использовать для непосредственной сушки зернового вороха в связи с опасностью его возгорания. Для передачи тепла отработавших газов агенту сушки изобретен эффективный теплообменник, в котором воздух нагревается за счет тепла отработавших газов (см. статью В.А. Николаева «Конструктивная компоновка оптимального теплообменника» в этом сборнике).

Уравнение теплового баланса теплообменника с учетом потерь теплоты в окружающую среду [1]:

$$Q_{т1} = Q_{нв} + Q_{пот}, \quad (1)$$

где $Q_{т1}$ – количество теплоты, отданной теплоносителем, кДж/с;

$Q_{нв}$ – количество теплоты, сообщенной нагреваемому воздуху, кДж/с;

$Q_{пот}$ – потери теплоты в окружающую среду, кДж/с.

С другой стороны $Q_{т1} = G_т c_1(t_{1н} - t_{1к})$, (2)

где $G_т$ – поступление теплоносителя в теплообменник, $G_т$ = 0,206 кг/с;

$t_{1н}$ – температура теплоносителя на входе в теплообменник, °С;

$t_{1к}$ – температура теплоносителя на выходе из теплообменника, °С;

c_1 – теплоемкость теплоносителя на входе в теплообменник, Дж/кг·К.

Температура отработавших газов после турбины турбокомпрессора $t_{1н}$ = 850° С [2]. Необходимо получить агент сушки с максимально возможной температурой $t_{2к}$ = 800° С. Чтобы обеспечить достаточный средний температурный напор при противоточном движении теплоносителя и нагреваемого воздуха в теплообменнике, температура теплоносителя на выходе из теплообменника должна быть не меньше $t_{1к}$ = 200° С. Теплоемкость теплоносителя на входе в теплообменник c_1 = 1172,4 Дж/кг·К [3]. Отсюда количество теплоты, отданной теплоносителем, $Q_{т1} = 0{,}206 \cdot 1172{,}4(850 - 200) = 157$ кДж/с.

Количество теплоты, сообщенной нагреваемому воздуху,

$$Q_{нв} = G_{нв} c_2(t_{2к} - t_{2н}), \quad (3)$$

где $G_{нв}$ – поступление в теплообменник нагреваемого воздуха, для предварительного расчета примем $G_{нв} = G_т$ = 0,206 кг/с;

$t_{2н}$ – температура нагреваемого воздуха на входе в теплообменник, °С;

$t_{2к}$ – температура нагреваемого воздуха на выходе из теплообменника, °С;

c_2 – теплоемкость нагреваемого воздуха на входе в теплообменник, Дж/кг·К.

Обычно в теплообменниках от 1 до 10 % $Q_{т1}$ теряется в окружающую среду [4]. Примем потери в окружающую среду – 5 % от $Q_{т1}$. Тогда коэффициент полезного действия предлагаемого теплообменника η = 0,95.

$$Q_{нв} = \eta\, Q_{т1}, \quad (4)$$

$$Q_{нв} = 0{,}95 \cdot 157 = 149{,}15 \text{ кДж/с},$$

$$Q_{пот} = 0{,}05\, Q_{т1} = 0{,}05 \cdot 157 = 7{,}85 \text{ кДж/с}.$$

Нагреваемый воздух движется сначала через подкапотное пространство, затем внутри спирали из трубы нагреваемого воздуха и в спиральной трубе нагреваемого воздуха (рисунок 2).

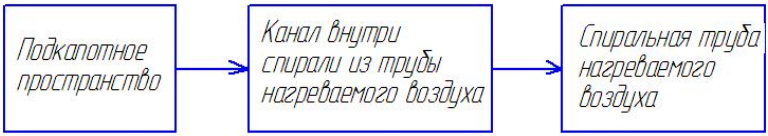
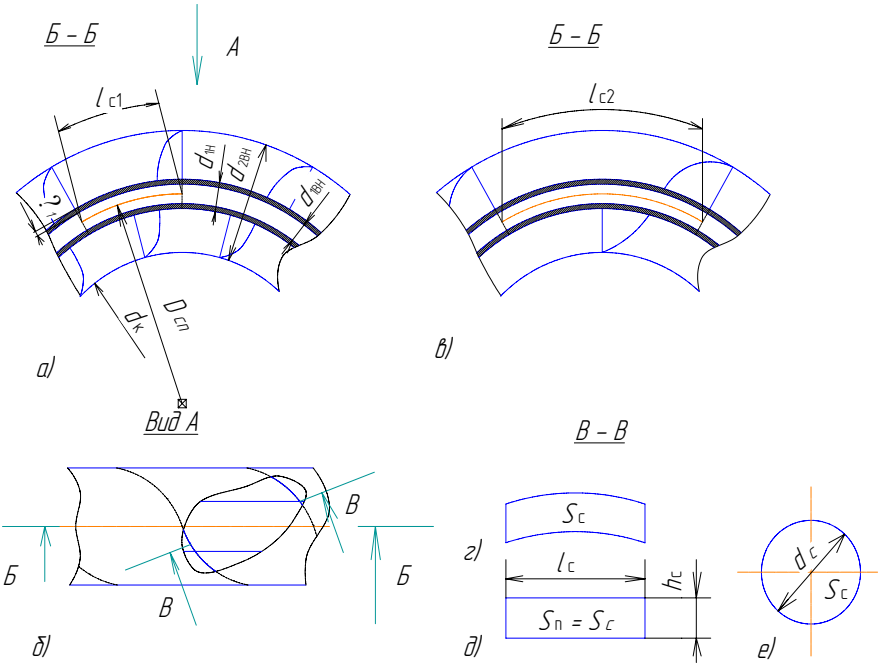


Рисунок 2 – Схема движения нагреваемого воздуха

На рисунке 3 представлена схема к расчету теплообменника.

В трубе теплоносителя (см. рисунок 3а) теплоноситель получает спиральное вращение с помощью завихрителей. Закрученный поток в трубе

движется по винтовой линии, поэтому в пристеночной области имеет место течение, характерное обтеканию вогнутой поверхности. Известно, что около вогнутой поверхности теплообменные процессы усиливаются [5]. Движение потока по винтовой линии наблюдается и при течении внутри витой трубы. В работе [6] получены данные по теплоотдаче в витой трубе. Они показывают увеличение коэффициента теплопередачи примерно в 1,3 раза по сравнению с круглой трубой. В предлагаемом теплообменнике теплоноситель движется в трубе, выполненной в виде спирали, поэтому коэффициент теплоотдачи дополнительно увеличивается вследствие завихрения потока газа.



а) вид Б спирали на входе в трубу нагреваемого воздуха; б) вид А трубы нагреваемого воздуха; в) вид Б спирали на выходе из трубы нагреваемого воздуха; г) сечение канала, по которому движется нагреваемый воздух; д) приведенное к прямоугольнику сечение канала, по которому движется нагреваемый воздух; е) приведенное к кругу сечение канала с эквивалентным диаметром d_c, по которому движется нагреваемый воздух.

Рисунок 3 – Схема к расчету теплообменника

Для обеспечения постоянной скорости $\upsilon_{нв}$ = 10 м/с в спиральной трубе нагреваемого воздуха при изменяющейся плотности нагреваемого воздуха необходимо, чтобы у спирали, приваренной к трубе теплоносителя,

увеличивалось расстояние между витками (см. рисунок 3 а, в). Поэтому нагреваемый воздух движется по каналу, постепенно увеличивающему свою площадь сечения.

Так как в предлагаемом теплообменнике нагреваемый воздух движется в трубе нагреваемого воздуха, выполненной в виде спирали, коэффициент теплоотдачи увеличивается вследствие завихрения потока нагреваемого воздуха.

Результаты расчетов теплообменников приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов теплообменников

Параметры	Марка и мощность двигателя			
	СМД-22 110 кВт	СМД- 23 130 кВт	СМД-24 150 кВт	СМД-31 165,6 кВт
Расход топлива, кг/с	0,0062	0,0073	0.0086	0,0097
Выход отработавших газов, $м^3/с$	0,132	0,155	0,183	0,210
Объемный расход нагреваемого воздуха на входе в трубу нагреваемого воздуха, $м^3/с$	0,139	0,164	0,194	0,225
Объемный расход нагреваемого воздуха на выходе из трубы нагреваемого воздуха, $м^3/с$	0,40	0,477	0,563	0,646
Внутренний диаметр трубы теплоносителя, м	0,07	0,07	0,07	0,07
Внутренний диаметр трубы нагреваемого воздуха, м	0,29	0,31	0,33	0,35
Общее количество теплоты, полученной от сгораемого топлива, кДж/с	263,5	310,3	365,6	412,3
Количество теплоты, полученное нагреваемым воздухом, кДж/с	95,6	112,2	132,5	149,2
Коэффициент теплопередачи, $Вт/м^2К$	180	198	212	221
Площадь теплообмена, $м^2$	7,4	7,9	8,7	9,4
Длина трубы теплоносителя, м	8,33	8,45	9,12	9,27
Число витков трубы нагреваемого воздуха	2,9	3,0	3,2	3,3
Длина теплообменника, м	0,87	0,94	1,32	1,4

Выводы

Спиральное движение потоков отработавших газов и нагреваемого воздуха приводит к интенсификации теплообмена и позволяет создать оптимальный теплообменник для получения агента сушки зернового вороха в зерноуборочном комбайне.

Литература
1. Иоффе, И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии [Текст] / И.Л. Иоффе. – Л.: Химия, 1991. – С. 359.
2. Макушев, Ю.П. Агрегаты наддува двигателей [Текст]: учебное пособие / Ю.П. Макушев, С.В. Корнеев, В.В. Рындин. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. − С. 58.
3. Джон, Г. Перри. Справочник инженера-химика [Текст]. Т. 1: перевод с англ. / Джон Г. Перри; под ред. акад. Н.М. Жаворонкова, чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – М.: «Химия», 1969. – С. 640.
4. Баскаков, А.П. Теплотехника [Текст] / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт; под ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. − С. 224.
5. Данилов, Ю.И. Теплообмен и гидродинамика в каналах сложной формы [Текст] / Ю.И. Данилов, Б.В. Дзюбенко, Г.А. Дрейцер [и др.]. – М.: «Машиностроение», 1986. – С. 200.
6. Парамонов, Н.В. Исследование интенсификации теплообмена в профильных трубах [Текст] / Н.В. Парамонов // Тепло- и массообмен между потоками и поверхностями. Тематический сборник научных трудов МАИ. – М., 1980. − С. 62-65.

УДК 629.083

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ СМАЗКИ ХОДОВОЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЯ

Д.В. Лебедев, д.т.н. Б.С. Антропов
(ФГБОУ ВПО «ЯГТУ», Ярославль, Россия)

Ключевые слова: автоматические централизованные системы смазки, точки смазывания, прогрессивные плунжерные распределители.

Рассматриваются способы применения автоматических централизованных систем смазки (АЦСС) на автомобильном транспорте, которые позволяют сократить расходы, связанные с техническим обслуживанием и простоем автомобиля

ANALYSIS OF THE MODERN LUBRICATION SYSTEMS FEATURES ON THE CHASSIS

D.V. Lebedev, Doctor of Engineering Sciences B.S. Antropov
(FSEBE HVT «YSTU», Yaroslavl, Russia)

Key words: automatic centralized lubrication system, lubrication points, progressive plunger valves.

This article describes ways of using automatic centralized lubrication systems in motor vehicles, which reduced costs associated with maintenance and downtime of the vehicle.

Своевременное и качественное удовлетворение потребностей в грузо- и пассажироперевозках в полном объёме и, по возможности, при минимальных затратах как трудовых, так и материальных ресурсов, остаётся главным приоритетом автомобильного транспорта и промышленности. Однако без современного подхода к решению вопросов, касающихся повышения полезной работы транспорта, невозможно повысить эффективность автомобильной отрасли промышленности Российской Федерации.

Говоря об инновационных процессах в развитии автомобильного транспорта, особое внимание стоит обратить на новейшие тенденции в области технического обслуживания и ремонта. Согласно опыту передовых компаний, выигрышным подходом является сокращение трудовых и материальных ресурсов за счёт внедрения автоматизированного оборудования, берущего на себя выполнение ряда операций по обслуживанию автомобиля, исключающего человеческий фактор и связанные с ним погрешности. Примером такого оборудования является автоматическая централизованная система смазки (АЦСС). Системы централизованной смазки (рисунок 1) предназначены для подачи смазочного материала к узлам трения, расположенным на автомобиле. Обширный опыт применения АЦСС крупными автомобильными компаниями Европы и Америки показал, что, благодаря высокой адаптивности, автоматические системы пригодны для применения практически на всех типах техники и в любых климатических зонах после проведения соответствующих работ по адаптации оборудования. В процессе испытаний при температурных условиях от минус 45 до плюс 80 градусов по Цельсию подтвердилась возможность стабильной и беспрерывной подачи смазочного материала к точкам трения [1].

В качестве особенностей данной системы можно выделить полную автоматизацию процесса смазки узлов и агрегатов ходовой части автомобиля. Процесс смазывания осуществляется во время движения автомобиля в течение нескольких минут с заданной периодичностью по заранее установленной программе. Для определения объёма, подаваемого за один цикл включения насоса, берется объем смазки для каждого узла, подлежащего замене во время технического обслуживания и делится на количество циклов за то время, которое приблизительно понадобится для наработки необходимого пробега.

Система абсолютно герметична и позволяет избежать попадания абразива (пыль, песок, грязь) в узлы трения, что, в свою очередь, приводит к существенному увеличению ресурса контактирующих элементов, а также к сокращению расходов, связанных с техническим обслуживанием и ремон-

том. Имеющаяся же чёткая программа по обеспечению смазкой тех или иных точек смазывания исключает перерасход или недостаток смазки.

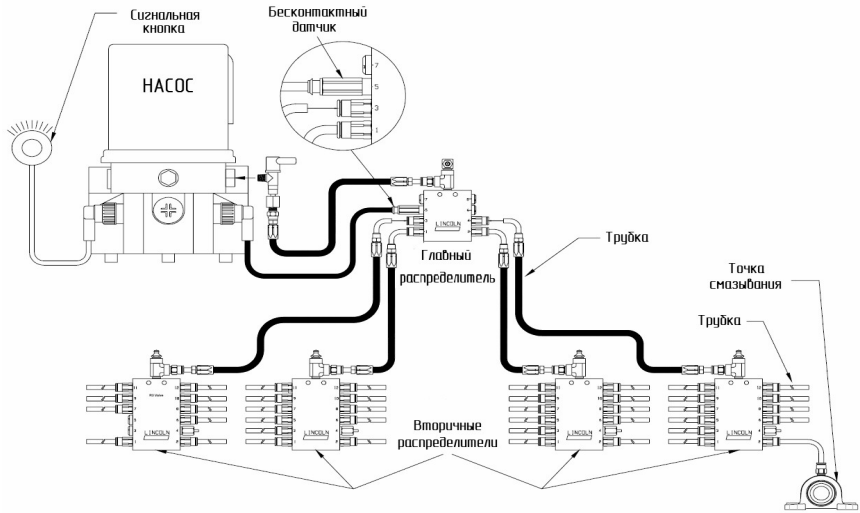


Рисунок 1 – Принципиальная схема АЦСС

Одним из главных условий, обеспечивающих стабильную работу АЦСС, является применение прогрессивных плунжеров, играющих роль распределителей и дозаторов. Распределители, связанные с насосом трубопроводами малого диаметра, подают смазывающую субстанцию ко всем точкам, позволяя исключить потребность применения многочисленных смазочных аппаратов. Смазка подается к точкам регулярно и заранее определенными порциями, в соответствии с заданным циклом, контроль над которым осуществляется с помощью электронной платы, встроенной в центральный насос.

Насос может создать давление в отдельной линии до 350 бар. Сбой в схеме работы плунжеров исключён, так как они приводятся в действие за счёт давления поступающего смазочного материала. Пока один плунжер не закончит свой ход, следующий не может быть приведён в действие вследствие отсутствия давления. Перебои в работе могут быть вызваны лишь неисправностями непосредственно в агрегатах или узлах, к которым осуществляется подача. В этих случаях происходит информирование посредством срабатывания предохранительного клапана и сигнальной лампы. Опционально доступен вариант вывода информации о состоянии системы на дисплей.

Главным преимуществом АЦСС является короткий промежуток времени между интервалами смазки, благодаря чему в любое время обеспечивается оптимальное снабжение поверхностей трения смазочным материалом. При ручном смазывании более 50% рабочего времени точка смазывания находится в зоне избыточного или ограниченного содержания смазочного материала [1].

Применение АЦСС позволяет подавать небольшое и точно дозированное количество смазочного материала, при этом в точку смазывания не попадают грязь и влага. Кроме того, смазочный материал подаётся во время работы, что обеспечивает его оптимальное распределение.

Для наглядности приведём пример установки АЦСС Lincoln QuickLub P203 на автомобиле КамАЗ с колёсной формулой 4х2, имеющего 19 точек смазки (рисунок 2, таблица 1).

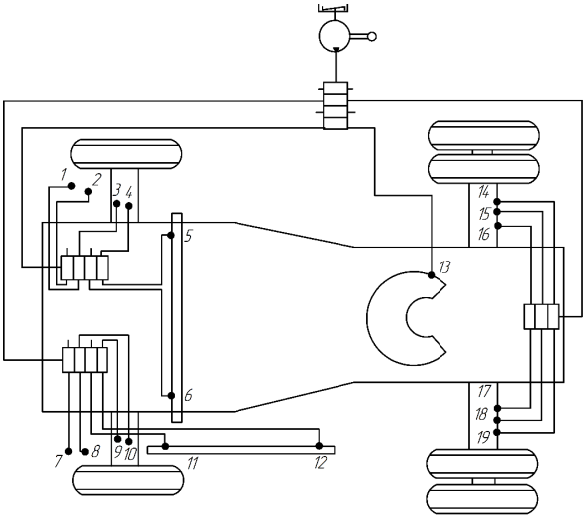


Рисунок 2 – Возможная схема смазывания автомобиля КамАЗ с колёсной формулой 4х2

Следует отметить, что при установке на другие типы машин, в том числе на агропромышленную технику, специальная адаптация как самой системы смазки, так и техники, на которую производится установка не требуется, однако необходимо располагать конкретной информацией о схеме и объёмах смазывания. Так, имели место случаи установки АЦСС на трактор КамАЗ ХТХ 185.

Сокращение затрат труда и времени, а также количества потребляемой смазки за счет ее более эффективного дозирования, снижение убытков от простоя оборудования свидетельствует об экономической целесообраз-

ности применения подобных систем. Вследствие существенного увеличения ресурса агрегатов, допустимо, согласно исследованиям, исключить ряд стандартных процедур при техническом обслуживании или же отложить их на более поздний срок. Конечно же, нельзя рассматривать данную систему в отрыве от автотранспортных предприятий, которые также получают положительный экономический эффект за счёт сокращения затрат по материально-технической базе.

Таблица 1 – Точки смазки на автомобиле КамАЗ с колёсной формулой 4х2

Номер	Наименование точки смазки
1	Правый передний регулировочный рычаг
2	Разжимной кулак (передний, правый)
3	Правый верхний шкворень
4	Правый нижний шкворень
5-6	Шарнир тяги рулевой трапеции
7	Левый передний регулировочный рычаг
8	Разжимной кулак (передний, левый)
9	Левый нижний шкворень
10	Левый верхний шкворень
11-12	Шарнир тяги сошки
13	Седельно-сцепное устройство (ССУ)
14	Правый задний регулировочный рычаг
15-18	Разжимной кулак
19	Левый задний регулировочный рычаг

Таким образом, следуя рекомендациям производителей АЦСС, можно полностью исключить проведение ТО-1, перенеся необходимые крепёжные и регулировочные работы на ТО-2. В связи с этим автоматически отпадает необходимость в наличии зоны ТО-1. Можно и вовсе отказаться от существующей системы ТО-1 и ТО-2, приурочив техническое обслуживание к замене масла на двигателе. На современной автомобильной технике зарубежного производства данный вид ТО проводится через 15-40 тысяч километров пробега и носит название периодическое ТО ($ТО_1$, $ТО_2$ … $ТО_n$).

Также, благодаря исследованиям, получено заключение об экономической целесообразности и сроке окупаемости. При установке АЦСС на шасси автомобиля срок окупаемости (в зависимости от рабочей загрузки транспортного средства) составляет от 3 до 10,5 месяцев, о чём говорят исследования, проведённые компаниями «Линкольн РУС» и «Линкор». Данные результаты получены благодаря увеличению срока службы узлов и агрегатов (пар трения) минимум в 3 раза [1].

Литература
1. Елисеев, Е.В. Системы смазки Lincoln на автомобилях КамАЗ [Текст] / Е. В. Алексеев, В. А. Обухов // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 11.
2. Оптнер, С.А. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем [Текст] / С.А. Оптнер. – М.: Советское радио, 1969. – 216 с.
3. Техпартнер [Электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: http://techpartner.ru.
4. Lincoln [Электронный ресурс]: [сайт]. – Режим доступа: http://www.lincolnindustrial.com/home.aspx.

УДК 631:577.4:582.263

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СБОРА И УТИЛИЗАЦИИ СИНЕ-ЗЕЛЕНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ С ОТКРЫТЫХ ВОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МОБИЛЬНЫМ АВТОНОМНЫМ КОМПЛЕКСОМ

Д.т.н. В.А. Милюткин
(ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, Самара, Россия),
ген. директор И.В. Бородулин
(ООО «ЭКОВОЛГА», Самара, Россия)

Ключевые слова: водоросли, технология, сбор, утилизация, мобильная, автономная, комплекс, батарея.

Предложена энергосберегающая технология сбора и эффективной утилизации (органические удобрения, биотопливо 3-го поколения и т.д.) сине-зеленых водорослей с открытых поверхностей рек, озер в местах водозаборов, пляжей, причалов и т. п.

ENERGY SAVING TECHNOLOGY OF COLLECTION AND UTILIZATION OF BLUE-GREEN ALGAE FROM OPEN WATER SURFACES MOBILE SELF-CONTAINED COMPLEX

Doctor of Engineering Sciences V.A. Milutkin
(FSBEI HE Samara SAA, Samara, Russia),
general director I.V. Borodulin
(LLC «ECOVOLGA», Samara, Russia)

Key words: algae, technology, collection, recycling, mobile, Autonomous, complex, battery.

Proposed energy saving technology of collection and effective management (organic fertilizer, biofuels of the 3rd generation, etc.) blue-green algae from exposed surfaces of rivers, lakes in areas of water intakes, beaches, piers etc.

Сине-зеленые водоросли являются древнейшей группой автотрофных организмов, они встречаются повсюду и им свойственно неуправляемое размножение и массовое нежелательное развитие, особенно в период «цветения». В системе борьбы с сине-зелеными водорослями в водоемах с возможностью их утилизации или дальнейшего эффективного использования предлагаются различные, как правило, энергозатратные способы [1-5].

Методика

Анализ существующих мировых достижений по утилизации и использованию сине-зеленых водорослей показал, что, как правило, предлагаются технологии и технические средства с использованием плавучих средств, требующих высокие энергозатраты.

В то же время в водоемах имеются относительно небольшие (локальные) участки, где малыми затратами возможно поддерживать оптимальную чистоту воды, проводя местный сбор сине-зеленых водорослей в ограниченном пространстве: пляжи, водозаборы, причалы и т.п.

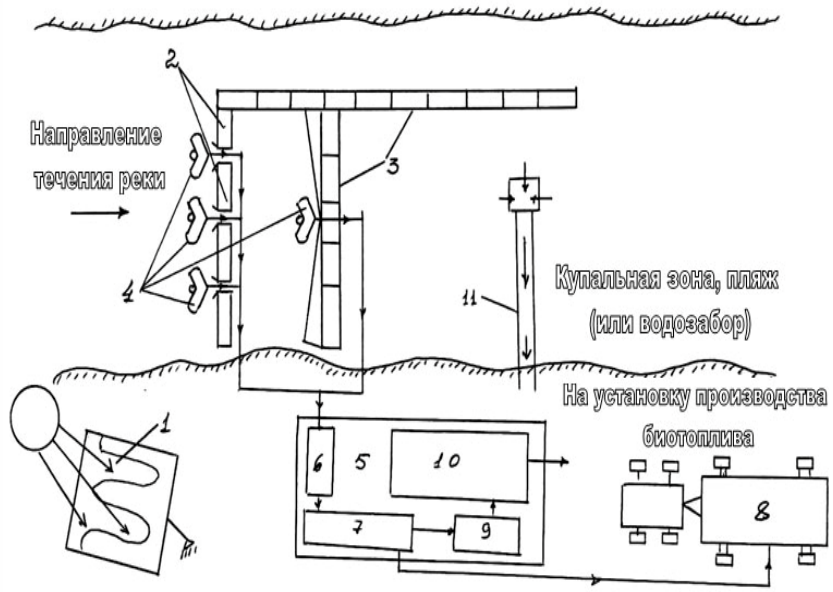
Нами предложен мобильный автономный комплекс для энергосберегающей технологии сбора и эффективной утилизации сине-зеленых водорослей с открытых поверхностей водоемов рек, озер.

Комплекс (рисунок 1) состоит из энергетической части, представленной установкой в виде солнечной батареи 1; установки для сбора водорослей, состоящих из разряженных понтонов 2, в промежутках которых на специальных плавающих средствах закрепляются водо-водорослезаборные устройства 4 (патентуются) и сплошные (без разрывов) ограничивающие понтоны 3; установки 5 для сбора, переработки и транспортировки водорослей в специальные средства 10 и 8, состоящей из водяного насоса 6, фильтра-сборника сине-зеленых водорослей 7, работающего по принципу обратного осмоса, сушилки сине-зеленых водорослей 9.

В зависимости от поставленной задачи, водоросли после фильтра-сборника 7 поступают или в цистерну 8 для сбора сине-зеленых водорослей с дальнейшим их внесением в почву в качестве органических удобрений или для других целей, после высушивания на сушилке 9 – в накопительную емкость 10 для переработки, например, в биотопливо 3-го поколения, которая осуществляется на другой разработанной нами установке [6].

Главным преимуществом комплекса является его мобильность – возможность использования в различных местах и условиях, а также использование малоэнергозатратного оборудования – солнечных электро-

станций мощностью 300...500 ватт, которые являются мобильной составляющей комплекса.



1 – мобильная автономная энергоустановка – солнечная батарея; 2 – разряженные понтоны с зонами сбора водорослей; 3 – сплошные (без разрывов) понтоны; 4 – плавучие заборные устройства; 5 – комплекс сбора сине-зеленых водорослей; 6 – водяной насос; 7 – фильтр-сборник по принципу обратного осмоса; 8 – цистерна для сбора сине-зеленых водорослей для внесения в почву в виде органических удобрений; 9 – сушилка сине-зеленых водорослей; 10 – накопительная емкость сине-зеленых водорослей; 11 – водозабор.

Рисунок 1 – Мобильный автономный комплекс очистки открытых поверхностей водоемов от сине-зеленых водорослей

В 2015 году ООО «ЭКОВОЛГА» разработала данный комплекс и разместило его на реке Волга в районе центра города Самары, рядом с Самарской ГРЭС с перспективой очистки от сине-зеленых водорослей зоны водозабора технической воды для ГРЭС, а в настоящее время – очистки причальной зоны дебаркадера, предназначенного для создаваемой лабораторной базы научно-исследовательского института управления качеством воды (в локальных зонах) на реке Волга.

Комплекс, установленный на- и в зоне дебаркадера, в основе своей состоит из перечисленных систем, но дополнительно имеет специальные фильтры для перевода получаемой после очистки от сине-зеленых водо-

рослей технической воды в питьевую воду для решения бытовых нужд персонала дебаркадера.

Исследования комплекса проводились в августе – в период массового цветения сине-зеленых водорослей, когда вся зона причала дебаркадера, ограниченная понтонами, была концентрированно насыщена водорослями, частично в это время они отмирали и создавали неприятный запах, также серьезно нарушали экологию прибрежной к дебаркадеру зоны.

1)

2)

1) поверхность воды без очистки от сине-зеленых водорослей и водной растительности;
2) поверхность воды после сбора и утилизации сине-зеленых водорослей мобильным автономным комплексом дебаркадера.

Рисунок 2 – Причальная зона дебаркадера с ограждающими понтонами

В процессе исследований нами преследовалась также главная цель сбора и сушки сине-зеленых водорослей для получения биотоплива 3-го поколения на патентуемой нами установке по специальной технологии [6-7].

В качестве энергетического средства использовались солнечные батареи, установленные на крыше дебаркадера.

Испытание установки показало, что в течение 2-х суток (дневное время) из зоны, ограниченной понтонами, были удалены практически все сине-зеленые водоросли и водная растительность, вода могла быть использована для технических целей (рисунок 2), а концентрат сине-зеленых водорослей был собран в специальном контейнере для получения биотоплива 3-го поколения.

Привод всех электроустановок (насос, фильтр, сушилка) осуществлялся от систем использования природной энергии – солнечных батарей, тем самым обеспечивалось полное энергосбережение.

Выводы

Многочисленные исследования технологий утилизации сине-зеленых водорослей с открытых поверхностей водоемов показывают их сложность и высокую энергоемкость технических средств.

Предложенный нами комплекс позволяет (конечно же не повсеместно) обеспечивать удаление водорослей с их утилизацией и дальнейшим эффективным использованием из локальных активно используемых человеком мест (пляжи, водозаборы, причалы и т.п.) с минимальными и даже нулевыми энергетическими затратами за счет современных технологий и разработанных технических средств с энергопотреблением от солнечных батарей.

Литература

1. Милюткин, В.А. Технические средства для обеспечения безопасной экологической среды в водоемах [Текст] / В.А. Милюткин, И.В. Бородулин, З.П. Антонова, Н.Ф. Стребков // Прикладные науки и технологии в США и Европе, общие проблемы и научные открытия. – США, Нью-Йорк. – 25.06.2014. – С. 216-220.
2. Патент 2548075 Российская Федерация, МПК C02F 3/00. Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей с помощью биопрепарата [Текст] / Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Котов Д.Н. – № 2013128808/05; заявл. 24.06.2013; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10. – 5 с.
3. Патент № 2551172 Российская Федерация, МПК C02F 3/00 Устройство для очистки водоемов от сине-зеленых водорослей [Текст] / Милюткин В.А., Стребков Н.Ф., Бородулин И.В., Котов Д.Н. – № 2014102809/13; заявл. 28.01.2014; опубл. 20.05.2015, Бюл. № 14. – 5 с.
4. Милюткин, В.А. Технологии и технические средства механического сбора сине-зеленых водорослей в водоеме [Текст] / В.А. Милюткин, Г.В. Кнурова, С.П. Симченкова, В.Н. Сысоев, И.В. Бородулин, З.П. Антонова // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции (28-29 марта 2014). – Санкт-Петербург, 2014. – С. 79-82.
5. Милюткин, В.А. Техническое устройство и технология для биологической, бактериологической борьбы с сине-зелеными водорослями [Текст] / В.А. Милюткин, С.П. Симченкова, Г.В. Кнурова, С.А. Толпекин, И.В. Бородулин, З.П. Антонова // Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции (28-29 марта 2014). – Санкт-Петербург, 2014. – С. 83-85.
6. Заявка на изобретение № 2015132501 Российская Федерация, МПК C12 M 1/04, E 02B 15/04, A 01 Д 44/00, B 04 B 5/00. Способ утилизации продук-

тов сгорания энергоустановок, использующих природный газ / Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Панкеев С.А. – Заявл. 04.08.2015. – 5 с.
7. Заявка на изобретение № 2015132504 Российская Федерация, МПК С 12 М1/04, Е 02 В 15/04, А 01 Д 44/00, В 04 В 5/00. Устройство утилизации продуктов сгорания энергоустановок, использующих природный газ / Бородулин И.В., Милюткин В.А., Антонова З.П., Панкеев С.А. – Заявл. 04.08.2015. – 5 с.

УДК 621.789

ФОРМИРОВАНИЕ УЧАСТКОВ РЕГУЛЯРНОЙ МИКРОТВЕРДОСТИ СЕГМЕНТНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКОЙ

К.т.н. А.В. Морозов, Н.Н. Горев, Д.Р. Мушарапов, Е.А. Токмаков
(ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия)

Ключевые слова: сегментная электромеханическая закалка, микротвердость, соединения с натягом, сдвигоустойчивость.

В работе отражены результаты исследования влияния режимов сегментной электромеханической закалки на формирование участков регулярной микротвердости.

THE FORMATION OF REGULAR PLOTS OF MICROHARDNESS OF SEGMENTED ELECTROMECHANICAL HARDENING

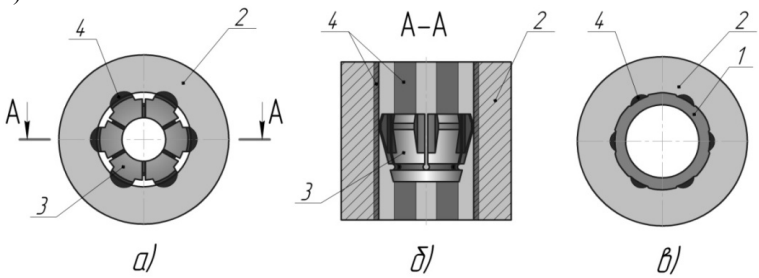
Candidate of Engineering Sciences A.V. Morozov, N.N. Gorev, D.R. Mysharapov, E.A. Takmakov
(FSBEI HE Ulyanovsk SAA, Ulyanovsk, Russia)

Key words: segmental electromechanical hardening, microhardness, connections with tension, shear resistance.

In article the results of research of influence of modes of segmented electromechanical hardening on the formation of regular plots of microhardness.

В машиностроении широко применяются соединения с натягом, сдвигоустойчивость которых непосредственно влияет на надежность машин в целом. В свою очередь на сдвигоустойчивость соединений с натягом влияют различные факторы, такие как: величина натяга, способ сборки, микрогеометрия поверхности контакта и другие.

Одним из способов повышения нагрузочной способности соединений с натягом является применение сегментной электромеханической закалки (ЭМЗ) [1, 2, 3] поверхности отверстия охватывающей детали (рисунок 1).



а) расположение закаленных участков поверхности отверстия охватывающей детали; б) разрез охватывающей детали по сечению А-А; в) схема деформаций сопрягаемых поверхностей втулки и охватывающей детали в результате поперечной сборки; 1 – втулка, 2 – охватывающая деталь, 3 – фасонный упрочняющий инструмент, 4 – закаленный сегмент.

Рисунок 1 – Соединение вал-втулка со сквозными закаленными участками на внутренней поверхности охватывающей детали

Сущность данного способа заключается в создании на поверхности отверстия охватывающей детали, с помощью ЭМЗ, закаленных участков в виде сегментов. При поперечном методе сборки соединения с натягом в зоне контакта деталей происходит неравномерная деформация поверхностей ввиду неоднородной микротвердости, что сказывается на увеличении линии контакта и как следствие – повышение сдвигоустойчивости соединения [4, 5].

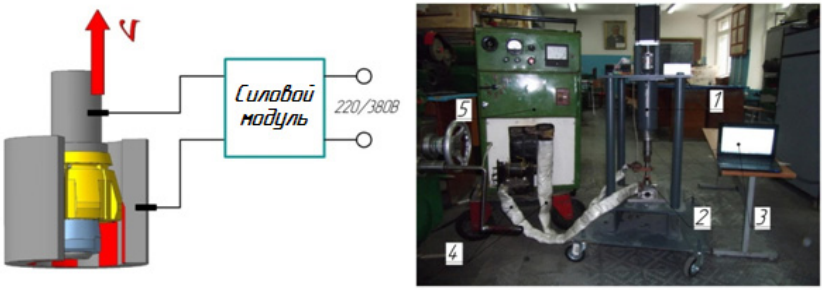
Рациональное чередование закаленных и незакаленных участков обеспечивает наилучшую сдвигоустойчивость соединения.

Как было установлено ранее [1], твердость, глубина и ширина закаленных участков существенно влияют на сдвигоустойчивость соединения, полученного предложенным способом.

В свою очередь, на указанные характеристики закаленных участков в большей степени оказывают влияние такие параметры, как геометрия обрабатывающего инструмента [6, 7] и режимы обработки (сила тока, скорость перемещения инструмента).

С целью выявления оптимальных параметров геометрии поверхности упрочняющего инструмента и режимов обработки выполнены экспериментальные исследования, для которых были подготовлены образцы деталей из стали 45 с диаметром отверстия d = 30 мм.

Схема обработки сегментной ЭМЗ и компоновка экспериментальной установки представлены на рисунке 2.



а *б*

1 – установка с инструментом для сегментной ЭМЗ; 2 – обрабатываемая деталь; 3 – персональный компьютер; 4 – токоподводящие кабели; 5 – силовой модуль.

Рисунок 2 – Схема обработки сегментной ЭМЗ (*а*) и компоновка экспериментальной установки (*б*)

Для сегментной ЭМЗ отверстий образцов применялись инструменты, включающие 6 сегментов, отличающиеся друг от друга длинной линии контакта. Углы, образующие сегменты, были выбраны следующие: α_1= 20º, α_2=25º, α_3=30º, что соответствовало линиям контакта, равным l_1=5,2 мм, l_2=6,5 мм, l_3=7,8 мм.

На основании ранее проведенных исследований [1] были выбраны следующие режимы обработки: сила тока – 3500 А, 4000 А, 4500 А; скорость перемещения инструмента – 100 мм/мин., 150 мм/мин., 200 мм/мин.

Из полученных образцов были изготовлены микрошлифы для металлографических исследований, которые проводились на микроскопе МИМ-7, а замеры микротвердости – на ПМТ-3.

Измерения микротвердости по глубине зоны термического влияния показало, что в зоне упрочнения при всех режимах обработки происходит существенное увеличение микротвердости по сравнению с исходной структурой. При сегментной ЭМЗ на поверхности детали из стали 45 образуются две зоны, отличающиеся друг от друга степенью полноты фазовых превращений.

Первая зона представляет собой мартенситную структуру с фрагментами троостита (рисунок 3). Микротвердость зоны составляет 7800...6200 МПа; вторая зона характерна для участков нагретых ниже критических температур, где наблюдается повышенная неоднородность структуры, в ней наряду с мартенситом, содержащим менее 1% углерода, образуется троостоферритная сетка, которая на границе с исходной структурой переходит в ферритную, при этом микротвердость снижается до 2250 МПа.

Таким образом, в результате проведенных опытов были получены графики, отражающие зависимость глубины упрочненных участков, полу-

ченных в результате сегментной электромеханической обработки, от геометрии инструмента и режимов обработки (рисунок 4).

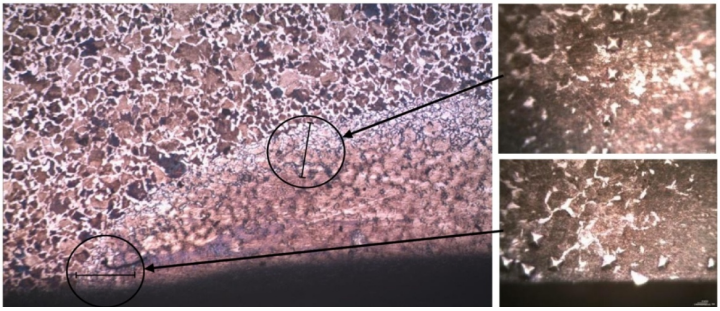


Рисунок 3 – Микроструктура упрочненного слоя с замерами микротвердости в переходных зонах

Анализируя полученные графические зависимости, следует отметить, что с увеличением силы тока и снижением скорости перемещения инструмента относительно обрабатываемой поверхности глубина упрочненных сегментов увеличивается. Сегменты с наибольшей глубиной закаленного слоя образуются при $I = 4500$ А и $\upsilon = 100$ мм/мин.

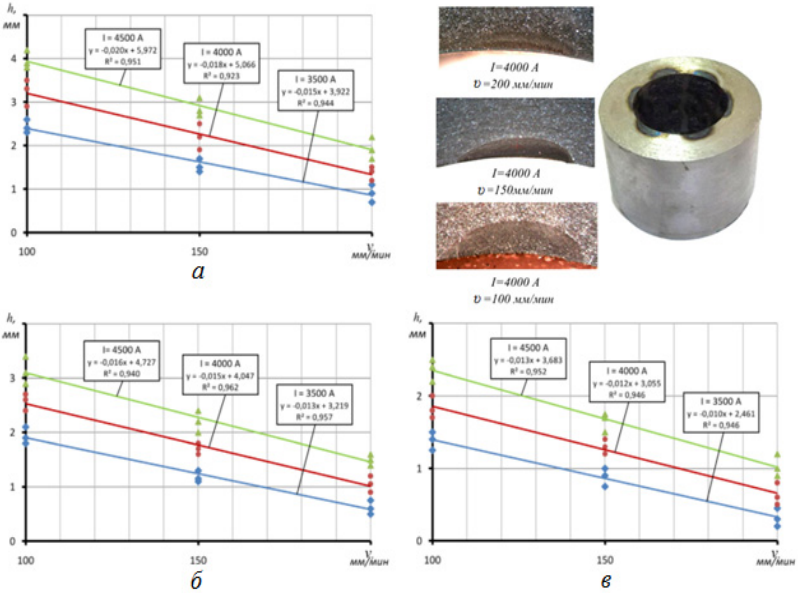


Рисунок 4 – Форма закаленных участков и графики зависимости глубины упрочненного сегмента стали 45 от режимов обработки для сегментов с линиями контакта: а) $l_1 = 5{,}2$ мм, б) $l_2 = 6{,}5$ мм, в) $l_3 = 7{,}8$

Таким образом, на основании выполненных исследований можно определить рациональные параметры геометрии рабочего инструмента и режимы сегментной ЭМЗ поверхностей отверстий охватывающих деталей.

Литература

1. Морозов, А.В. Повышение качества неподвижных соединений типа «корпус-втулка» применением сегментной электромеханической закалки [Текст] / А.В. Морозов, Н.И. Шамуков, Н.Н. Горев, А.Н. Рахимов // Международный научный журнал. – 2013. – № 4. – С. 83-87.
2. Морозов, А.В. Повышение нагрузочной способности соединений с натягом типа «втулка-корпус» объемным электромеханическим дорнованием [Текст] / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов, А.Е. Абрамов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 3. – С. 125-133.
3. Морозов, А.В. Разработка классификации процессов электромеханической обработки отверстий движущимся высокотемпературным полосовым источником [Текст] / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44-50.
4. Патент RU № 2501636. Способ сборки деталей с натягом [Текст] / Морозов А.В., Горев Н.Н. – № 2012141199/02; заявл. 26.09.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. № 35.
5. Патент RU № 2508974. Способ сборки деталей с натягом [Текст] / Морозов А.В., Горев Н.Н. – № 2012141198/02; заявл. 26.09.2012; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35.
6. Патент RU № 123368. Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей [Текст] / Морозов А.В., Горев Н.Н. – № 2012129375/05; заявл. 11.07.2012; опубл. 27.12.2012, Бюл. № 36.
7. Патент RU № 123719 Дорн для выборочной электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей [Текст] / Морозов А.В., Горев Н.Н., Рахимов А.Н. – № 2012130822/05; заявл. 18.07.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

УДК 621.789

РАСЧЕТ ПЛОЩАДИ КОНТАКТА ТВЕРДОСПЛАВНОГО СФЕРИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ГЛАДКОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ОТВЕРСТИЯ

К.т.н. А.В. Морозов, Н.И. Шамуков, Д.Р. Мушарапов, Е.А. Токмаков
(ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия)

Ключевые слова: электромеханическое дорнование, сферический инструмент, площадь контакта.

Рассмотрены особенности электромеханического дорнования сферическим твердосплавным инструментом. Получены зависимости для расчета площади контакта сферического инструмента с поверхностью обрабатываемого отверстия.

CALCULATION OF THE AREA CONTACT SPHERICAL CARBIDE TOOL WITH A SURFACE SMOOTH CYLINDRICAL HOLE

Candidate of Engineering Sciences A.V. Morozov,
N.I. Shamukov, D.R. Musharapov, E.A. Tokmakov
(FSBEI HE Ulyanovsk SAA, Ulyanovsk, Russia)

Key words: electromechanical broaching, spherical tool, contact area.

The features of the electromechanical dornovanija spherical carbide tool. The dependences for the calculation of the area of contact with the surface of a spherical tool of the hole.

Инструмент, применяемый при электромеханической обработке (ЭМО) полосовым высокотемпературным источником, может отличаться друг от друга размерами, маркой материала, конфигурацией, а также формой рабочего профиля [1, 2, 3, 4], что оказывает существенное влияние на окончательные свойства и вид обработанной поверхности [5, 6, 7].

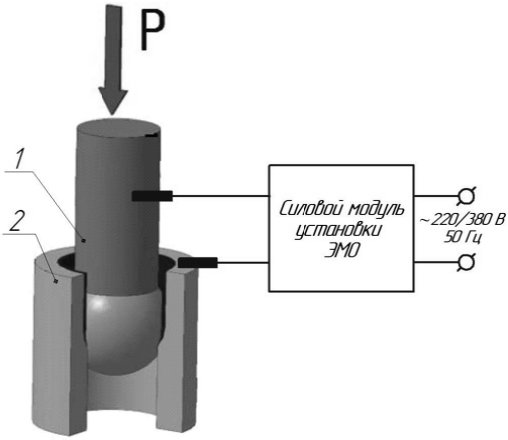
По форме рабочего профиля для осуществления процессов ЭМО отверстий полосовым высокотемпературным источником может применяться конический, сферический и фасонный инструмент [1].

Применение шара в качестве инструмента – дорна при осуществлении процессов электромеханического дорнования (ЭМД) имеет некоторые преимущества в сравнении с коническим инструментом. Во-первых, ЭМД шаром осуществляется продавливанием его относительно отверстия толкателем, на который подается электрический ток, что исключает необходимость его крепления и снятия после осуществления обработки, во-вторых, шар можно использовать без дополнительной полировки. Однако шар в качестве инструмента можно использовать только при поверхностном ЭМД, так как пятно контакта сферического инструмента гораздо больше, чем у конического, что требует больших энергозатрат, а существующие силовые модули установок ЭМО не всегда могут обеспечить требуемую мощность.

На рисунке 1 представлена схема поверхностного ЭМД отверстия детали сферическим инструментом и инструмент для осуществления данного процесса (см. рисунок 2) [2].

Одним из важнейших режимов при ЭМД является сила тока, величина которой зависит от площади пятна контакта инструмента с обрабаты-

ваемой поверхностью [5]. В связи с этим расчет площади пятна контакта является важной технологической задачей при назначении рациональных режимов разрабатываемых процессов ЭМО, в том числе и для поверхностного ЭМД гладких цилиндрических отверстий сферическим инструментом.



1 – толкатель с инструментом; 2 – деталь.

Рисунок 1 – Схема поверхностного электромеханического дорнования сферическим твердосплавным инструментом

1 – инструмент; 2 – толкатель; 3 – токоизоляционная втулка.

Рисунок 2 – Державка со сферическим инструментом

В общем случае площадь контакта недеформируемого инструмента с пластичной поверхностью представляет собой пространственную фигуру, образованную на инструменте (шаре) пересечением пластичной внутренней цилиндрической поверхности детали. Поэтому для нахождения площади пятна контакта необходимо решать задачу о пересечении двух пространственных фигур.

Часть сферы, вырезаемая двумя параллельными плоскостями, находящимися на некотором расстоянии друг от друга H, называется шаровым поясом.

Поверхность шарового пояса, внедренную в цилиндрическую поверхность отверстия можно рассматривать как поверхность тела, получен-

ного при вращении дуги окружности, $y=\sqrt{R^2-x^2}$ где $a \le x \le b$, $b - a = H$, вокруг оси Ox. Так как

$$y' = \frac{-x}{\sqrt{R^2-x^2}},$$

то

$$1+\left[f'(x)\right]^2 = \frac{R^2}{R^2-x^2},$$

поэтому

$$S = 2\pi\int_a^b \sqrt{R^2-x^2}\cdot\frac{R}{\sqrt{R^2-x^2}}dx = 2\pi R\int_a^b dx = 2\pi R(b-a) = 2\pi RH.$$

Итак, площадь поверхности S шарового пояса вычисляется по формуле $S = 2\pi RH$. Если $H=2R$, то в пределе получим площадь поверхности всей сферы: $S = 4\pi R^2$.

Площадь боковой поверхности S_1 (см. рисунок 3).

$$S_1 = 2\pi R h_1,$$

$$h_1 = \sqrt{R^2-(R-\delta_1)^2} = \sqrt{R^2-R^2+2R\delta_1-\delta_1^2} = \sqrt{2R\delta_1-\delta_1^2} = \sqrt{\delta_1(2R-\delta_1)},$$

$$S_1 = 2\pi R\sqrt{\delta_1(2R-\delta_1)}.$$

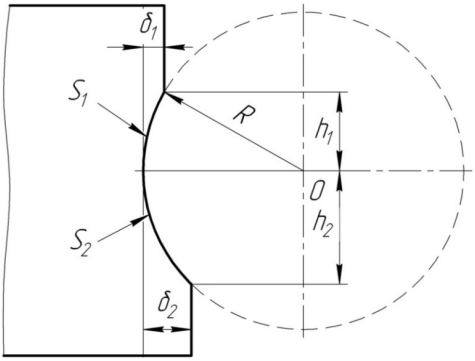


Рисунок 3 – Расчетная схема

Площадь боковой поверхности S_2

$$S_2 = 2\pi R\sqrt{\delta_2(2R-\delta_2)}.$$

Полная площадь пятна контакта сферического инструмента с внутренней поверхностью гладкого цилиндрического отверстия при осуществлении процессов ЭМД будет равна:

$$S_{п.к.} = S_1 + S_2 = 2\pi R\left(\sqrt{\delta_1\left(2R-\delta_1\right)} + \sqrt{\delta_2}\left(2R-\delta_2\right)\right).$$

Зная площадь контакта, на основании рекомендуемых величин плотности тока, для конкретного способа обработки можно рассчитать необходимую величину силы тока для обеспечения необходимой глубины и твердости обработанной поверхности детали, с учетом требуемого соблюдения скорости обработки.

Литература

1. Морозов, А.В. Разработка классификации процессов электромеханической обработки отверстий движущимся высокотемпературным полосовым источником [Текст] / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2015. – № 3. – С. 44-50.
2. Патент 145652 РФ. Дорн для электромеханической закалки цилиндрических отверстий деталей [Текст]: патент на полезную модель / Морозов А.В., Горев Н.Н., Мушарапов Д.Р. – № 2014117468/02; заявл. 29.04.2014; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.
3. Патент 97071 РФ. Дорн [Текст]: патент на полезную модель / Морозов А.В., Байгулов А.В. – № 2010115032/02; заявл. 14.04.2010; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24.
4. А.с. 2471608 РФ. Дорн для электромеханической обработки [Текст] / Морозов А.В., Байгулов А.В. – Опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.
5. Морозов, А.В. Объемное электромеханическое дорнование тонкостенных стальных втулок [Текст]: монография. – Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. – 193 с.
6. Федорова, Л.В. Повышение эффективности электромеханической закалки отверстий гладких цилиндрических подвижных сопряжений, испытывающих одностороннюю радиальную нагрузку [Текст] / Л.В. Федорова, А.В. Морозов, В.А. Фрилинг // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2012. – № 8. – С 49-53.
7. Морозов, А.В. Повышение послеремонтного ресурса сопряжения привода выталкивателя штампа станка ПШ-2 применением процессов электромеханической обработки [Текст] / А.В. Морозов, Г.Д. Федотов // Научное обозрение. – 2012. – № 4. – С 230-236.

УДК 621.436.018: G31, 354, 2

КОНСТРУКТИВНАЯ КОМПОНОВКА ОПТИМАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Д.т.н. В.А. Николаев, И.Л. Грек
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: сушка зернового вороха, зерноуборочный комбайн, теплообменник, отработавшие газы, агент сушки.

Существует возможность значительно увеличить к.п.д. двигателей, установленных на зерноуборочных комбайнах, путём передачи тепла отработавших газов агенту сушки зернового вороха. Представлена конструктивная компоновка оптимального теплообменника для осуществления сушки зернового вороха в комбайне.

OPTIMAL DESIGN OF HEAT EXCHANGER

Doctor of Engineering Sciences V.A. Nikolaev, I.L. Grek
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Key words: drying of grain, combine harvester, heat exchanger, exhaust gases, drying agent.

There is a possibility to significantly increase the efficiency of engines that are installed on combine harvesters, by transferring heat of exhaust gas of the drying agent grain heap. Presented to design the optimal heat exchanger for the implementation of the drying of grain in the combine.

Методика

Конструктивная компоновка теплообменника для использования энергии топлива, сжигаемого в дизельном двигателе.

Результаты

Затраты энергии, финансовых средств на сушку зерна составляют существенную долю общих затрат, необходимых для производства зерна. В России и за рубежом учёные и конструкторы уделяют большое внимание совершенствованию технических средств сушки зерна. Однако, несмотря на многочисленные попытки учёных и конструкторов усовершенствовать сушку зерна, существенного уменьшения удельных затрат энергии на сушку не удаётся добиться. Зависимость скорости изменения влагосодержания зерна от длительности сушки показана на рисунке 1 [1].

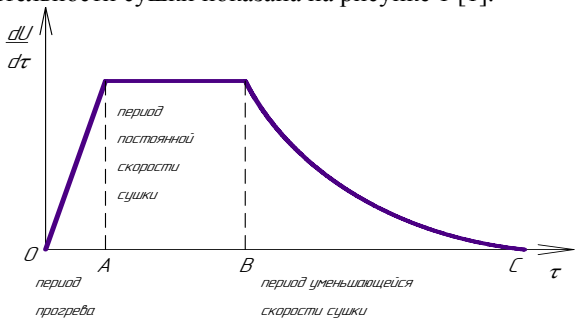


Рисунок 1 – Зависимость скорости изменения влагосодержания зерна от длительности сушки

При прогреве зерна удаляется преимущественно поверхностная влага. Дальнейший процесс сушки, в основном, ограничен скоростью миграции влаги от центра зерновок к их периферии. Эта скорость обусловлена соотношением градиента влажности, способствующего миграции влаги, и градиента температуры, препятствующего этой миграции. Причём при сушке зерна имеются ограничения:

- температуры агента сушки;
- температуры нагрева зерна;
- толщины слоя высушиваемого зерна.

Эти ограничения делают трудноосуществимым существенный прогресс энергосбережения при осуществлении сушки в сушилках, накладывают ограничения на время сушки, следовательно, пропускную способность сушилок. Поэтому при заданных исходных параметрах зерна и сушилки уменьшить время сушки сложно, так как невозможно увеличить скорость миграции влаги от центра зерновок к их периферии. Однако время сушки зерна в сушилке можно уменьшить, начав её непосредственно после обмолота зерна, то есть в комбайне.

Сушка зернового вороха в комбайне позволит [2]:

а) уменьшить влажность зерна;

б) уменьшить затраты на перевозку зернового вороха от поля до сушилки, так как оно легче;

в) уменьшить затраты энергии на сушку зерна в сушилке;

г) улучшить сохранность зернового вороха до сушки в сушилке;

д) увеличить коэффициент полезного действия двигателя как тепловой машины.

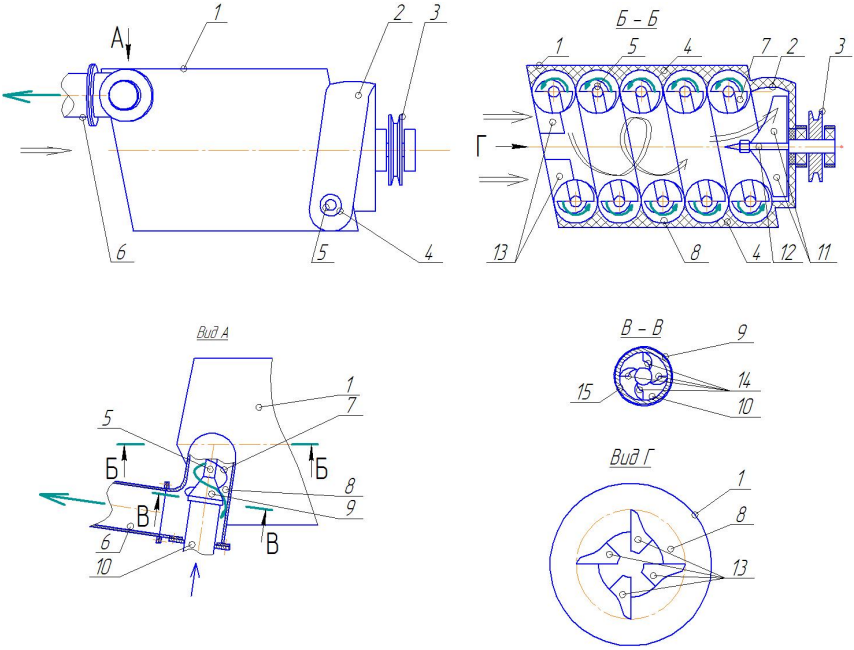
Эффективный коэффициент полезного действия лучших дизельных двигателей не превышает 42%. Более половины энергии топлива теряется в окружающую среду. В зерноуборочном комбайне есть возможность использовать эту энергию для частичной сушки зернового вороха за счет тепла отработавших газов, системы охлаждения, нагретых элементов поверхности двигателя, надуваемого воздуха.

Отработавшие газы опасно использовать для непосредственной сушки зернового вороха в связи с опасностью его возгорания. Для снятия поверхностной влаги с зерновок целесообразно применять в качестве агента сушки смесь воздуха, нагреваемого в теплообменнике, и холодного воздуха. Этот агент сушки, движущийся с высокой скоростью, также очищает зерно от примесей.

Для передачи тепла отработавших газов агенту сушки необходим эффективный теплообменник, в котором воздух нагревается за счет тепла отработавших газов. Одним из перспективных путей создания высокоэффективных теплообменников является интенсификация теплообмена в каналах за счет спирального движения потока газа. В основу конструктор-

ской разработки теплообменника для нагрева агента сушки положен принцип завихрения потока газа.

На рисунке 2 представлена схема теплообменника. Теплообменник содержит кожух 1, на торцевой стороне которого установлен вентилятор 2, приводимый от двигателя посредством ременной передачи на шкив 3.



1 – кожух; 2 – вентилятор; 3 – шкив; 4 – теплоизоляция; 5 – труба теплоносителя; 6 – труба выходная; 7 – спираль; 8 – труба нагреваемого воздуха; 9 – конфузор; 10 – труба отработавших газов; 11 – лопасть; 12 – вал; 13 – лопатка; 14 – завихритель; 15 – уплотнение.

Рисунок 2 – Схема оптимального теплообменника

На вале 12 электродвигателя установлены лопасти 11. Внутри кожуха расположена теплоизоляция 4, а в ней – сваренная из секций труба нагреваемого воздуха 8 в виде спирали с приваренными к ней изнутри лопатками 13. К трубе нагреваемого воздуха присоединена труба выходная 6. Внутри трубы нагреваемого воздуха установлена труба теплоносителя 5, также выполненная в виде спирали и на выходе покрытая теплоизоляцией. К трубе теплоносителя снаружи приварена спираль 7. К торцевой части трубы теплоносителя приварен конфузор 9. Внутри конфузора установлены завихрители 14. К конфузору присоединена труба отработавших газов 10, на которую надето уплотнение 15. Теплоноситель из трубы отработав-

ших газов движется через конфузор, где завихрители придают ему вращение, в трубу теплоносителя и перемещается по ней, отдавая через стенку тепло нагреваемому воздуху. Лопасти вентилятора засасывают наружный воздух из подкапотного пространства двигателя. На входе внутрь спирали из труб нагреваемого воздуха лопатки подогретому от двигателя воздуху придают вращательное движение. Он, перемещаясь внутри спирали из труб нагреваемого воздуха, дополнительно нагревается, а затем вентилятор подаёт его внутрь трубы нагреваемого воздуха. Спираль, приваренная к трубе теплоносителя, придаёт нагреваемому воздуху спиральное вращение вокруг нее. Нагреваемый воздух движется в противоположном направлении по отношению к направлению движения отработавших газов. На конечном участке движения нагретый воздух от воздействия центробежной силы выходит через трубу выходную.

В круглой трубе можно осуществить как местное, так и непрерывное по всей длине канала спиральное движение потока газа. В общем случае движущиеся по спирали потоки относятся к пространственным течениям в поле центробежных сил. В таких потоках соизмеримы две, а иногда и три составляющие вектора скорости по координатным осям. Спиральные течения характеризуются интенсификацией теплообмена.

Вывод

Для осуществления сушки зернового вороха в комбайне целесообразно использовать агент сушки, получаемый в теплообменнике. Конструктивная компоновка оптимального теплообменника предусматривает спиральное движение потоков отработавших газов и нагреваемого воздуха.

Литература

1. Баум, А.Е. Сушка зерна [Текст] / А.Е. Баум, В.А. Резников. – М.: «Колос», 1983. – 213 с.
2. Патент 2445107 РФ. Зерноуборочный комбайн [Текст] / В.А. Николаев, Р.С. Подгорнов. – Опубл. в БИ № 28, 2012. – 20 с.

УДК 658.382

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Д.т.н. П.С. Орлов
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: исключение неравномерного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети, симметричных составляющих нулевой и обратной последовательностей.

Предложены технические мероприятия по снижению потерь в распределительных сетях, повышающие надежность электроснабжения.

MEASURES ON THE INCREASE OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY

Doctor of Engineering Sciences P.S. Orlov
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Key words: exception of uneven partition of load on the phases of three-phase network, symmetric constituents zero and reverse sequences

The proposed technical measures for loss reduction in distribution networks, increasing the reliability of power supply.

Подавляющее большинство потребителей электрической энергии получает ее от трансформаторных подстанций энергетических систем. Надежность электроснабжения достигается за счет установки на подстанциях двух трансформаторов, работающих, как правило, раздельно при соблюдении условия, что любой из оставшихся в работе трансформаторов (в случае выхода из строя другого) полностью или с ограничениями обеспечивает питание потребителей. Электроснабжение (в целях уменьшения установленной мощности) осуществляется не только за счет использования номинальной мощности трансформаторов, но и за счет их перегрузочной способности. За номинальную мощность трансформатора принимают мощность, которой он может быть нагружен непрерывно в течение всего срока службы (до 20 лет) при нормальных (нормированных ГОСТами) температурных условиях окружающей среды и допускающих (при необходимости в течение 4-5 часов) перегрузку трансформатора на 30-40% (но не более чем на 50%). Это предусмотрено шкалой номинальных мощностей изготавливаемых силовых трансформаторов в России, выбранная с шагом $К_Ш$ =1,6, при котором номинальная мощность установленных трансформаторов примерно на 20% превышает возможный минимальный уровень общей мощности используемых трансформаторов.

На трансформаторных подстанциях современных предприятий значительно расширены функциональные свойства систем регулирования напряжения в целях повышения качества электроэнергии компенсацией отклонений напряжения от номинального значения непосредственно на входе приемников электроэнергии, так как длительные отклонения напряжения, даже в тех случаях, когда они не выходят за пределы допустимых значений, по ГОСТ 13109–67 (от +10 до –5 %), вызывают значительный недовыпуск продукции, а при снижении напряжения на 15-20% производительность промышленных предприятий падает катастрофически.

В России силовые трехфазные двухобмоточные трансформаторы общего назначения выпускаются со схемами соединения обмоток: $Y/Y_{Н}$, Y/Δ, $Y_{Н}/\Delta$, $Y/Z_{Н}$, $\Delta/Y_{Н}$ и Δ/Δ.

В трансформаторах мощностью до 2500 *кВА* широко применяется соединение $Y/Y_{Н}$, основное достоинством которого по сравнению с соединением $\Delta/Y_{Н}$ в дешевизне и технологичности изготовления обмотки ВН, хотя, с точки зрения влияния высших гармоник и работы трансформатора при несимметричных нагрузках, предпочтительнее соединение $\Delta/Y_{Н}$, а там, где не требуется вывод нулевой точки со стороны НН, – соединение Δ/Y. С аналогичной целью в трансформаторах мощностью до 250 *кВА* используется соединение $Y/Z_{Н}$ вместо $Y/Y_{Н}$, хотя в этом случае расход меди увеличивается, но при соединении обмоток трансформатора по схеме зигзаг при несимметричной нагрузке практически отсутствует искажение фазных напряжений [1].

Искажение формы кривой трехфазного тока I_0 определяется наличием в ней третьей, пятой и других «высших» гармоник. Сильнее всего сказывается влияние третьей гармоники, амплитуда которой в отдельных конструкциях насыщенных магнитных системах трансформаторов может достигать 50–60 % от амплитуды первой гармоники. Поэтому при рассмотрении намагничивания магнитопроводов трехфазных трансформаторов гармониками выше третьей обычно пренебрегают, поскольку они имеют относительно небольшие амплитуды и с практической точки зрения интереса в силовых цепях не представляют [1].

В трехфазной группе однофазных трансформаторов трехфазной сети и в трехфазном броневом трансформаторе поток Φ_3, как и поток Φ_1, замыкается по магнитопроводу, магнитное сопротивление которого незначительно. В этом случае поток $\boldsymbol{\Phi_3}$ может достигать 10-20% от Φ_1, а наводимые им в обмотках ЭДС третьей гармоники составят 30-60% от ЭДС первой гармоники, что искажает кривые фазных ЭДС первичной и вторичной обмоток и увеличивает их амплитудное значение на 30-60%, вызывая соответствующее возрастание напряженности электрического поля в изоляции, снижая ее электрическую прочность и увеличивая на 5-17% действующее значение фазных ЭДС. В то же время, несмотря на существенное искажение фазных ЭДС, линейные ЭДС остаются синусоидальными, поскольку в них третьи гармоники отсутствуют [1].

Если в трехфазном бронестержневом трансформаторе поток Φ_3 замыкается по боковым ярмам магнитопровода, в каждом из которых значение потока третьей гармоники составляет $\boldsymbol{\Phi_{3я}} = 3\boldsymbol{\Phi_3}/2$, то в трехфазном трехстержневом трансформаторе поток $\boldsymbol{\Phi_3}$ не может замыкаться по магнитопроводу, поскольку во всех трех стержнях он имеет одинаковое направление. В результате поток $\boldsymbol{\Phi_3}$ замыкается через воздух или масло, конструктивные детали и стенки бака трансформатора, через большое магнитное сопротивление, поэтому поток $\boldsymbol{\Phi_3}$ мал и обычно не превышает 5…7%

от Φ_1, вследствие чего кривые фазных ЭДС искажаются незначительно, а магнитный поток Φ_3 замыкается через стенки бака и другие стальные детали с частотой $3f_1$, наводя в них вихревые токи, увеличивая потери холостого хода трансформатора и вызывая его нагрев. При включении обмоток по схеме Y_H/Y или Z_H/Y третьи гармоники намагничивающего тока замыкаются по нулевому проводу, ток в котором $I_H = 3I_{03}$. Следовательно, намагничивающий ток в каждой фазе содержит третью гармонику, являясь несинусоидальным, а магнитный поток и ЭДС – синусоидальными [1].

При соединении обмоток по схеме Δ/Y и Δ/Z в намагничивающем токе каждой фазы появляется третья гармоника и магнитный поток, и ЭДС становятся практически синусоидальными. Это связано с тем, что первичная обмотка, соединенная в треугольник, представляет собой замкнутый контур, по которому беспрепятственно протекает намагничивающий ток третьей гармоники, поскольку он во всех трех фазах направлен одинаково [1].

При соединении обмоток по схеме Y/Δ или Z/Δ в намагничивающем токе отсутствует третья гармоника, но магнитный поток и фазные ЭДС, как и при соединении обмоток по схеме Δ/Y и Δ/Z, практически синусоидальны, так как во вторичной обмотке, соединенной треугольником, третьи гармоники фазных ЭДС направлены по контуру в одну сторону и создают ток третьей гармоники, который практически компенсирует третью гармонику магнитного потока трансформатора [1].

При эксплуатации трехфазных электрических сетей часто встречаются случаи неравномерного распределения токов по фазам вследствие неравномерного распределения однофазных приемников нагрузки, а также в аварийных режимах, возникающих при однофазных и двухфазных коротких замыканиях или при обрыве одной из фаз линии электропередачи. Отсутствие симметрии вторичных напряжений трансформатора неблагоприятно отражается на потребителях. У трехфазных асинхронных электродвигателей при питании их несимметричным напряжением снижается мощность из-за перекоса фаз, создающего обратный вращающий момент, из-за появления эллиптического вращающегося магнитного поля вместо кругового. У ламп накаливания при питании повышенным напряжением резко сокращается срок службы, а при питании пониженным напряжением существенно падает сила света. Несимметричная нагрузка у трансформатора вызывает перегрузку отдельных его обмоток, повышение фазных напряжений, насыщение магнитопровода и искажение синусоидальности тока.

Симметричный трехфазный электрический ток, вырабатываемый трехфазными генераторами, в распределительных сетях, особенно напряжением 0,4 кВ, до 50 % потребляемой мощности, асимметричен и не синусоидален из-за широкого применения энергосберегающих ламп и частотного электропривода. В коммунальной сфере подавляющее число потребителей однофазные и нелинейные с произвольными графиками загрузки по фазам, поэтому низковольтные сети и силовые трансформаторы эксплуа-

тируются в асимметричных по нагрузкам режимах, приводящих к дополнительным потерям электроэнергии в сетях и в силовых трансформаторах. При искажении синусоидальной формы тока возникают дополнительные потери на нагрев проводников. При 100% искажении пропускная способность трансформатора снижается более чем на 50%. Из-за искажений синусоидальности формы тока и напряжения возрастают потери в измерительных трансформаторах тока и напряжения и в приборах учета электроэнергии, приводящие к искажениям показаний счетчиков, учитывающих потребленную электроэнергию. В нулевых рабочих проводниках появляются токи нулевой последовательности, достигающие и даже превышающие фазные токи, что может быть причиной возгорания изоляции электропроводки. Подобные случаи возникают в школах, гостиницах, в жилых домах. Появление в сети реактивной мощности, создаваемой энергосберегающими лампами и частотным электроприводом, приводит к дополнительным потерям в сетях, вызывающим дополнительные потери мощности генераторов на поддержание номинального напряжения. В СССР существовали нормативные ограничения по генерированию потребителем реактивной мощности, регулируемые ценовой политикой стоимости электроэнергии.

В США с конца 60-х годов введены жесткие ограничения на искажение потребителями синусоидальности электрического тока, на что реагирует счетчик электрической энергии, резко увеличивающий ее стоимость при искажениях синусоидальности от 5 до 10%, а искажения более 10% ведут к отключению потребителя от сети [2].

Одной из причин, ухудшающих режим работы электрических сетей, является несимметричная нагрузка по фазам. Явление перекоса нагрузки по фазам проявляется в трехфазных 4-х- и 5-проводных сетях с глухо заземленной нейтралью напряжением до 1000 В. В идеальном состоянии (линия без нагрузки) фазное напряжение (напряжение между фазным проводником и глухо заземленным нулевым рабочим проводником – нейтралью) составляет 220 В. Линейные напряжения образуют равносторонний треугольник с вершинами АВС, фазные напряжения которого равны между собой по абсолютной величине $|U_A| = |U_B| = |U_C|$ и сдвинуты друг относительно друга на угол 120°. Перекос фаз в этой идеальной модели отсутствует. При подключении к фазам не симметричной по мощности и по характеру (активной, индуктивной, емкостной, активно-индуктивной, активно-емкостной) нагрузки, в питающей сети возникает перекос (сдвиг по фазе) фазных напряжений, отрабатывая которые трехфазный трансформатор генерирует уравнительные токи, вызывающие дополнительный расход электроэнергии и ее потери (чем больше уравнительный ток, тем больше потери электроэнергии). Рост напряжения смещения нейтрали повышает риск повреждений и отключений, отказов, неустойчивой работы электроприемников, вызывая рост электропотребления и повышенный износ изо-

ляции. Эти негативные последствия воздействуют как на электроприемники, так и на автономные источники электроэнергии, а также и на электропотребителей, повышая стоимость электроэнергии, вероятность возгорания электропроводки и электроприемников и увеличивая вероятность электротравматизма.

Надежность электроснабжения однофазных потребителей зависит от пропускной способности распределительных электрических сетей и трансформаторных подстанций. Сильно осложняется решение этой задачи из-за неравномерной загрузки фаз трехфазной сети однофазными потребителями.

Не предусмотренные проектом импульсные нагрузки, генерирующие высшие гармоники, неблагоприятно влияют на современное электрооборудование, в котором широко применяются микропроцессорные устройства, критичные к высоковольтным импульсным помехам, приводящим не просто к сбою их работы, но и к выводу из строя микропроцессорных устройств, из-за чего возможны ложные срабатывания защитной аппаратуры (в частности, автоматических выключателей с электронными блоками), перегрузка сети, перегрев и «отгорание» нулевого провода, что наиболее опасно. Перегрузка отдельных фаз ведет к изменению потенциалов заземленных конструкций соседних зданий и сооружений, вызывающих из-за разности потенциалов появление блуждающих токов, разрушающих подземные коммуникации со всеми вызывающими отсюда последствиями [3]. Появляются импульсные нагрузки и при работе частотного регулируемого электропривода современных насосных установок и бытовых стиральных машин.

Улучшение качества электроснабжения тесно связано с проблемой компенсации реактивной мощности и, как следствие, с уменьшением потерь электрической энергии в сетях. Не менее важно повышение качества электроэнергии в импульсных и преобразовательных устройствах, приводящих к искажению формы кривых тока и напряжения и появлению импульсных нагрузок и электромагнитных помех [4]. Улучшение показателей качества электрической энергии – составная часть энерго- и ресурсосбережения [5].

Надежность Российских сетей (с точки зрения отказов) на порядок ниже, чем в среднем по Европе, потери электроэнергии в Российских сетях, по сравнению с ведущими европейскими странами, в 1,5-2 раза выше, значительно больше аварий, с отключением генерирующих мощностей [6].

Несимметричные и импульсные нагрузки приводят к искажениям синусоидальности, что требует учета этого фактора и, наряду с энергетическими показателями полной S, активной P и реактивной Q мощностями (Q – мощность Фризе), появляется необходимость введения реактивноподобных показателей «асимметричности» D_{AC} и «импульсности» $D_И$ нагрузки, учитываемых суммарным показателем нелинейных нагрузок (реактив-

ноподбной мощностью Буденау $D^2_В = | D^2_{АС} + D^2_И |$ – мощность искажений) $D^2_В = U^2 \cdot I^2_Б$: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2_В$ [4].

В четырехпроводных электрических сетях 0,4 кВ России и других стран СНГ в основном используются трансформаторы со схемой соединения $Y/Y_Н$. Эти самые дешевые в изготовлении трансформаторы экономичны лишь при симметричной нагрузке фаз. Реально же в сетях с большим удельным весом однофазных нагрузок (до 60 % всей потребляемой электроэнергии) равномерность распределения нагрузок по фазам нарушается во времени, что ведет к резкому возрастанию потерь в трансформаторах и в сетях. Несколько лучше ситуация при применении трансформаторов со схемой соединения обмоток $Y/Z_Н$, но такие трансформаторы значительно дороже и не устраняют асимметрию нагрузки. Потери короткого замыкания $P_К$ трансформатора $Y/Y_Н$ зависят от величины тока в нулевом проводе и с его увеличением резко растут, что обусловлено появлением магнитных потоков нулевой последовательности $Ф_0$ в магнитопроводах трехфазных трансформаторов $Y/Y_{\mathbf{Н}}$, создаваемых токами небаланса $I_{\mathbf{НБ}}$ фаз по мощности, протекающими в нулевом проводе сети. Магнитные потоки нулевой последовательности $Ф_{\mathbf{0}}$ в магнитопроводах трехфазных трансформаторов $Y/Y_{\mathbf{Н}}$ носят характер потоков рассеяния, аналогичных потокам короткого замыкания $F_{\mathbf{0}}$, но по величине они гораздо больше, о чем свидетельствуют соотношения полных сопротивлений $Z_{\mathbf{X}}$ холостого хода и короткого замыкания $Z_{\mathbf{КЗ}}$ трансформатора: $Z_{\mathbf{X}} = (5 \div 8)\ Z_{\mathbf{КЗ}}$.

Как результат – увеличение потерь и в линиях 0,4 кВ. Для снижения несимметрии завышают установленную мощность трансформаторов $Y/Y_Н$, но это резко повышает уровень потерь электрической энергии в сети. Токи нулевой последовательности, при несимметрии нагрузки в магнитной системе трансформатора $Y/Y_Н$, создают потоки нулевой последовательности, замыкаясь через бак, дно и крышку разогревают, их вихревыми токами, ухудшая охлаждение активной части (магнитной системы трансформатора), что повышает температуру изоляции обмоток и трансформатор (при суммарной нагрузке ниже номинальной) оказывается перегруженным по одной или двум фазам, снижая пропускную способность сети [7].

Особо следует отметить, что применение защитного PE проводника, к большому сожалению, не обеспечивает должного уровня безопасности, так как появление еще одного зажима в сети никак не увеличивает ее надежность. Скорее наоборот – увеличивает количество регламентных работ по обслуживанию сети в целях ее безопасной и безаварийной работы. Вместе с тем, следует отметить, что главную свою задачу введение пятого провода решило, увеличив затраты потребителей электрической энергии на монтаж электрических сетей, одновременно повысив загрузку предприятий кабельной промышленности и несколько оживив электротехническую отрасль во всем мире.

До настоящего времени практически единственным способом обеспечения симметричной загрузки трехфазных трех- четырех- и пятипроводных сетей (три фазы – ноль и 3 фазы ноль и защитный проводник) переменного тока напряжением до 1000 В (и трехфазных силовых трансформаторов того же напряжения) на вторичной обмотке равномерной нагрузкой по фазам, при наличии в сетях однофазных потребителей, является как можно более равномерное (по потребляемой мощности) физическое подключение нагрузки к фазам трехфазной сети (симметричное распределение нагрузки по фазам). Этот прием, тем не менее, не обеспечивает постоянной (хотя бы примерной) симметрии нагрузки ни сетей, ни силовых трансформаторов как из-за различной потребляемой мощности однофазных потребителей, так и из-за несовпадения графиков их нагрузки по фазам во времени, что влечет за собой снижение пропускной способности силовых сетей и трансформаторов, повышение потерь в сети вследствие протекания тока по нулевому проводу, снижения надежности электроснабжения потребителей из-за возможной перегрузки одной из фаз и ее отключения защитой. Для обеспечения требуемого напряжения в каждой из фаз сети традиционно используются однофазные и трехфазные стабилизаторы напряжения: феррорезонансные, автотрансформаторные, с вольтдобавочными автотрансформаторами.

На сегодняшний день характер электрической нагрузки социально-бытового сектора однофазный и нелинейный. До 50% промышленно-индустриального сектора составляет нелинейная нагрузка. Распределительные сети и силовые трансформаторы нагружены асимметрично, что приводит к дополнительным потерям электроэнергии в сетях и в силовых трансформаторах. При искажении формы тока возникают дополнительные потери на нагрев проводников и обмоток и металлоконструкций трансформаторов. При 100% искажении формы тока пропусканная способность трансформатора падает на 55%, растут потери в измерительных трансформаторах, приборов учета тока и напряжения, нарушая работу релейной автоматики. В нулевых проводниках появляются токи нулевой последовательности, достигающие и превышающие значения фазных токов, приводящих к «отгоранию» нулевого провода и возгоранию электропроводки [8].

Общая оценка потерь электроэнергии в РФ достигает 15-20 %. В целом по стране это составляет 100-2000 млрд. кВт·час – примерно 20-25 ГВт электрической установленной мощности.

Напряжение обратной последовательности нарушают оптимальные режимы работы электрооборудования: токи обратной последовательности вызывают дополнительный разогрев асинхронных электродвигателей, создают обратный вращающий момент, повышая скольжение ротора снижают скорость вращения ротора асинхронных машин. Снижение числа оборотов ротора машины уменьшает крутящий момент на валу машины и ее производительность. Падение числа оборотов ротора (рост скольжения) сопро-

вождается увеличением потребления реактивной мощности, приводящим к снижению напряжения на зажимах машины. Описанные негативные явления ведут к сокращению срока службы электрических машин.

В связи с введенными ограничениями на несимметрию напряжений, определена зависимость допустимого сопротивления питающей линии в зависимости от мощности однофазной нагрузки. В протяженных сетях несимметрия напряжений может выйти за нормированные значения: при однофазной нагрузке 100 кВ·А; допустимая длина линии, выполненная проводом АС–79/11, составляет не более 39,5 км. При двухфазной нагрузке $S_{НАБ}$ = 100 кВ·А и $S_{НВС}$ = 10 кВ·А, Cos $\varphi_{НВС}$ = 0,9 длина линии не должна превышать 44,2 км [9].

Парк асинхронных машин в сельском хозяйстве РФ по данным 2003 года составлял до 10 млн. единиц.

Современное состояние парка асинхронного электропривода выдвигает ряд технико-экономических и научных проблем, связанных с моральным старением и физическим износом парка электрооборудования, обеспечивающего электропривод в сельскохозяйственном производстве, несоответствия его структуры условиям эксплуатации, высоким уровнем потерь электроэнергии в сельском хозяйстве РФ, низким качеством диагностики и ремонта электродвигателей. Следствие этого – высокий расход сельскохозяйственных предприятий на оплату электрической энергии, внеплановые ремонты и замену асинхронных машин, компенсацию затрат, связанных с простоем технологического оборудования.

Основные причины потерь электроэнергии и преждевременного выхода из строя асинхронных электродвигателей – несимметричные режимы их работы, прежде всего из-за несимметричных режимов работы электрических сетей, характерных для большинства сетей, питающих сельскохозяйственные предприятия. Это вызвано и физическим износом электродвигателей, малой мощностью длинных сельских электрических сетей, широкой распространенностью неполнофазнных режимов у трехфазных электродвигателей и широким применением электродвигателей, питающихся от однофазной сети.

Прямые потери электроэнергии сельского хозяйства РФ в связи с несимметричными режимами составляют около 1 млрд. кВт часов в год. Несимметриные режимы способствуют выходу из строя асинхронных электродвигателей. При допустимом (в соответствии с ГОСТ 13109-97) значении действующего постоянно напряжения симметричных составляющих обратной последовательности в 4% срок безаварийной эксплуатации электродвигателей сокращается наполовину. Вместе с тем, нередки случаи, когда на сельскохозяйственных предприятиях симметричные составляющие обратной последовательности достигают 15-20%. Положение усугубляется тем, что 93% асинхронных электродвигателей сельскохозяйственного парка составляет электродвигатели общего назначения, не при-

способленные и не предназначенные для эксплуатации в условиях сельскохозяйственного производства. Средний ущерб от отказа одного электродвигателя в сельском хозяйстве оценивается в 8,2 тыс. рублей. Принимая во внимание ежегодный выход из строя около 20% парка асинхронных машин, сумма ущерба от несимметричных режимов в масштабе РФ составляет свыше 15 млрд. рублей в год. Ухудшает эту картину то, что послеремонтные показатели симметрии обмоток асинхронных машин ниже новых.

Парк электродвигателей в сельском хозяйстве на 78% укомплектован морально устаревшими двигателями серий А2, А02, А4А. 93% асинхронных машин не предназначено для эксплуатации в условиях сельского хозяйства. Способствуют физическому износу наличие агрессивной внешней среды (газов, резких суточных и сезонных колебаний температуры и влажности воздуха), низкое качество электроэнергии длинных и маломощных «сельских» электрических сетей, широкое распространение однофазных и нелинейных нагрузок, частые переходные процессы, низкое качество ремонта и обслуживания электродвигателей, удаленность ремонтных баз, неукомплектованность их современным диагностическим и испытательным оборудованием.

Все это способствует высокому уровню потерь электрической энергии, интенсивному износу и выходу из строя электрических машин. В настоящее время износ электрооборудования перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса превышает 50%, а животноводческих ферм достигает 85%. Ежегодно в АПК выходит из строя до 38,5% парка асинхронных машин, направляется в ремонт 20% электродвигателей [10].

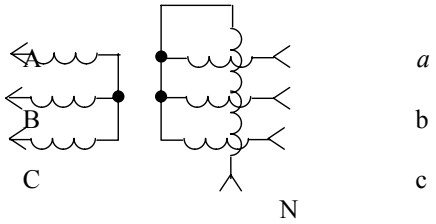


Рисунок 1 – Симметрирующее устройство

Для симметричного распределения нагрузки по фазам трехфазной сети в Белоруссии разработано специальное симметрирующее устройство (рисунок 1), представляющее из себя дополнительную обмотку, наматываемую поверх всех трех фазных обмоток трансформатора Y/Y_H, включаемую в разрыв нулевого провода. Обмотка симметрирущего устройства рассчитана на длительное протекание номинального тока трансформатора

(на полную однофазную нагрузку) и включена таким образом, что создаваемые ей в магнитопроводе трансформатора магнитные потоки F_{0K} нулевой последовательности полностью компенсируют противоположно направленные магнитные потоки нулевой последовательности F_{0P} в рабочих обмотках трансформатора, предотвращая перекос фазных напряжений [7].

Но симметрирующее устройство, как и трансформатор с обмотками, включенными по схеме зигзаг, только уменьшает генерирование магнитных потоков нулевой последовательности, снижая перекос фазных напряжений, но устранить асимметрию нагрузки по фазам не в состоянии.

Авторы предлагают повысить пропускную способность распределительных электрических сетей, надежность электроснабжения и безопасность однофазных потребителей электрического тока устройством для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети, представляющим собой трехфазный разделительный одно- или многообмоточный (во вторичной цепи) трансформатор потребителя, каждая из вторичных обмоток которого имеет независимые от основной обмотки дополнительные витки, предназначенные для компенсации падения напряжения на линии, а каждый из потребителей многообмоточного разделительного трансформатора запитан от своей или от общей (для однообмоточного трансформатора) вторичной обмотки, в которой линия каждого потребителя запитана от трех фазных катушек трансформатора, соединенных последовательно, любые две из которых включены согласованно, а третья – встречно (рисунок 2) [10].

Включение трех фазных катушек каждой вторичной обмотки трансформатора последовательно, любые две из которых включены согласованно, а третья – встречно, позволяет получить однофазное переменное напряжение с равномерно распределенной нагрузкой по фазам трехфазной сети и обеспечивает абсолютную симметрию нагрузки линии и трансформатора подстанции независимо от того, отбирает однофазную нагрузку один или несколько потребителей, или все потребители одновременно потребляют различную мощность.

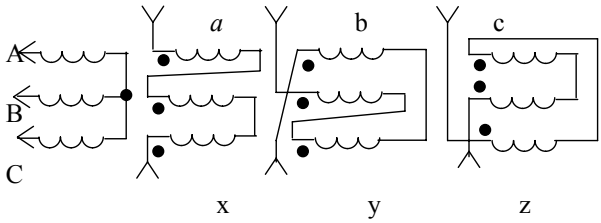


Рисунок 2 – Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки

Симметричная нагрузка линии и трансформатора подстанции позволяет увеличить пропускную способность электрической сети при пиках нагрузки, исключить перегрузку одной из фаз и предотвратить протекание тока по нулевому проводу, что позволит обеспечить повышение надежности всех защитных мероприятий, так как в принципе защищает сеть от «отгорания» нулевого провода.

Наличие у каждой из вторичных обмоток независимых от основных обмоток дополнительных витков позволяет получить 3 ступени регулирования напряжения вверх и, при необходимости, 3 – вниз, что повышает качество электроснабжения.

Питание каждого из потребителей от своей обмотки многообмоточного трансформатора полностью исключает гальваническую связь с другими электропотребителями, повышает качество и безопасность электроснабжения.

Питание потребителя через разделительный трансформатор обеспечивает гальваническую развязку потребителя от внешней мощной сети и повышает безопасность электроснабжения.

Симметричная нагрузка по фазам исключает перекос фаз и появление симметричных составляющих обратной последовательности и появление обратного крутящего момента у асинхронных машин.

Питание каждой однофазной обмотки одновременно от трех фаз позволяет получить одинаковый угол сдвига тока по всем фазам, снизить расходы на приборы учета потребления электрической энергии и повысить точность учета, упрощает расчеты за электрическую энергию.

Питание однофазной обмотки одновременно от трех фаз позволяет при исчезновении напряжения на любой из фаз обеспечить электроснабжение от оставшихся двух фаз, включенных встречно друг к другу, на уровне 0,95 номинального напряжения сети при числе дополнительных витков составляющих 10% от числа витков обмотки, что повышает качество и надежность электроснабжения потребителя электрической энергии.

В этом случае появление тока в нулевом проводе свидетельствует либо об аварийной ситуации, либо о наличии у потребителя импульсной нагрузки (тоже «аварийная» ситуация) [10].

Исключения тока в нулевом проводе добиваются установкой фильтров высших гармоник. Наиболее эффективны в этом случае активные фильтры. Разделительный трансформатор потребителя также является заградительным фильтром, предохраняющим сеть от импульсных нагрузок.

Для защиты микропроцессорных устройств, критичных к высоковольтным импульсным помехам, которые приводят к сбою их работы, к пробою электроники и выводу ее строя, разработан способ защиты входов операционных усилителей от перегрузок [12].

Авторами предложены пути повышения надежности электроснабжения, снижения потерь в распределительных сетях и электротравматизма.

Для этого предлагается, в целях повышения надежности сети, обеспечить исключение перекосов фаз, перегрева и «отгорания» нулевого провода симметрированием работы трансформаторов трансформаторных подстанций, что позволит повысить нагрузки на оборудование электрических сетей, снизить потери в сетях, облегчит учет расходуемой электроэнергии и снизит опасность электротравматизма (прежде всего, однофазных потребителей) из-за наличия гальванической развязки между мощными питающими сетями и маломощным потребителем. Питание каждого из однофазных потребителей от своих обмоток приводит к созданию у него сети с изолированной нейтралью, более безопасной в эксплуатации.

Предлагаемые мероприятия одновременно позволят повысить надежность устройств защитного отключения, которые еще далеки от совершенства, капризны в наладке и не надежны в работе [13].

Кроме своей непосредственной задачи обеспечения надежности электроснабжения и повышения электробезопасности потребителей электрической энергии и снижения расходов, связанных с выплатой пособия по безработице, это предложение решает народнохозяйственные проблемы загрузки мощностей предприятий электротехнической промышленности и создания новых рабочих мест.

Актуальность задачи вытекает из масштаба потерь электрической энергии; социальных потерь, вследствие повышенного травматизма в электроэнергетике. Замена электрооборудования на энергоэффективное позволит не только снизить потери электрической энергии, но и загрузить производство, открыть новые рабочие места, получить социальный эффект вследствие сохранения жизни и здоровья людей и снижения расходов из-за потери трудоспособности вследствие снижения травматизма, гибели и увечья людей.

Так как бизнес-сообщество ничего и никогда не будет делать без осуществления гарантий получения прибылей, а ОАО «Холдинг МРСК» и ОАО «Российские сети», прежде всего, заинтересованы в ее получении, то выполнить задачу повышения эффективности электроснабжения страны можно только заставив потребителей однофазной электроэнергии выполнить (включив в ПУЭ) требование обеспечения преобразования несимметричной нагрузки в симметричную трехфазную, для каждого вновь возводимого объекта, что для подобных потребителей будет, хотя и достаточно чувствительной, но не «смертельной» финансовой нагрузкой. Только в этом случае удастся поднять производство электротехнической отрасли и смежные с ним производства.

Решаемая задача позволит на 10...15 лет загрузить не только электротехническую промышленность, но и обрабатывающую, металлургическую, горнодобывающую и транспорт, что приведет к увеличению числа рабочих мест во всех отраслях промышленности и несколько снизит потребность в рабочих местах в Российской энергетике за счет внедрения нового высокоавтоматизированного оборудования, применяемого в системе

передачи и распределения электрической энергии, что снизит и травматизм в этой отрасли. Развертывание масштабного производства современной электротехнической продукции позволит Российским товарам завоевать свои позиции на мировом рынке.

Питание потребителя через разделительный трансформатор обеспечивает гальваническую развязку потребителя от внешней мощной сети и повышает безопасность электроснабжения. В этом случае появление тока в нулевом проводе свидетельствует либо об аварийной ситуации, либо о наличии у потребителя импульсной нагрузки.

Каждая из трех вторичных обмоток фазы генерирует 110 В, а их последовательное соединение обеспечивает на зажимах трансформатора фазное напряжение 220 В при условии включения каждой третьей обмотки фазы встречно по отношению к двум другим обмоткам. Независимо от нагрузок любой из фаз, сеть и генератор всегда будут загружены равномерно по фазам, обеспечивая наиболее благоприятные условия работы генератора.

Наиболее частым видом повреждений в сетях являются однофазные замыкания на землю, нередко приводящие к серьезным авариям и создающие повышенную опасность для людей и животных. Показатель аварийности ВЛ 10 кВ в расчете на 100 км линий составляет (для районов с умеренным климатом) 6-7 аварий в год и 20…30 аварий в год для районов со сложными климатическими условиями [14].

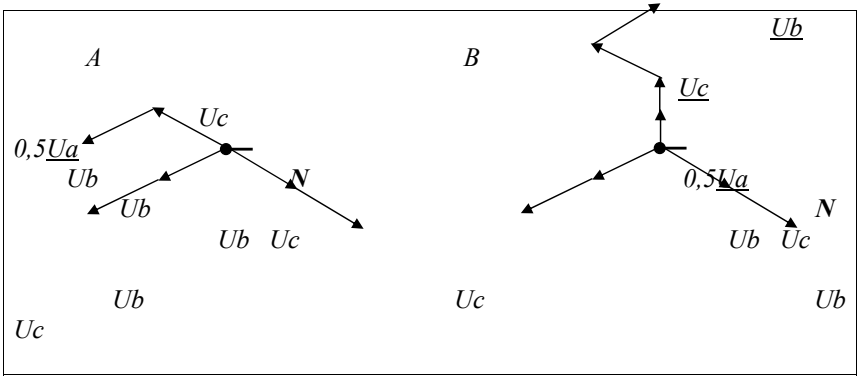


Рисунок 3 – Векторная диаграмма напряжений вторичных обмоток трансформатора с восстановленным вторичным напряжением оборванной фазы

Применение трансформатора, распределяющего однофазную нагрузку по фазам трехфазной сети, позволяет сохранить питание однофазных потребителей даже после обрыва одной из фаз линии простым переключением обмоток: при исчезновении напряжения любой из фаз обеспечение электроснабжения от оставшихся двух фаз на уровне 0,95 номиналь-

ного напряжения сети (рисунок 3А) добиваются включением встречно друг к другу обмоток двух оставшихся фаз, при числе дополнительных витков каждой из катушек трансформатора, составляющих 10% от числа витков обмотки, что повышает качество и надежность электроснабжения однофазного потребителя электрической энергии, хотя и без равномерного распределения нагрузки по фазам и при нарушении углов сдвига между фазами.

Поскольку магнитные потоки в магнитопроводе трансформатора неразрывны, появляется возможность восстановления трехфазного напряжения у трехфазного потребителя даже при обрыве одного (любого) фазного проводника сети между генератором и трансформатором, повышая надежность и бесперебойность электроснабжения потребителей в аварийных режимах (правда, при возможной несимметричной нагрузке по фазам при соблюдении стандартных значений углов сдвига между фазами) переключением вторичных обмоток трансформатора (рисунок 3В).

Литература

1. Сергеенков, Б.Н. Электрические машины. Трансформаторы [Текст] / Б.Н. Сергеенков, В.М. Киселев, В.А. Акимова. – М.: Высшая шк., 1989. – 352 с.
2. Яковлев, Г.Н. Неотложные меры по снижению потерь электроэнергии у потребителя [Текст] / Г.Н. Яковлев // Сборник материалов III Ярославского энергетического форума 4-6 декабря 2012 г. – Ярославль, 2012. – С. 208-209.
3. Корякин-Черняк, С.Л. Электротехнический справочник [Текст] / С.Л. Корякин-Черняк, О.Н. Партала, Ю.Н. Давиденко, В.Я. Володин. – СПб.: Наука и техника, 2009. – 464 с.
4. Цицикян, Г.Н. Качество электроэнергии и смежные вопросы [Текст] / Г.Н. Цицикян. – СПб.: Элмор, 2011. – 176 с.
5. Жежеленко, И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях [Текст] / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168 с.
6. Рябов, А.А. Реформа энергетики зашла в тупик? [Текст] / А.А. Рябов // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 2. – С. 78-80.
7. Сердешнов, А. Симметрирующее устройство для трансформаторов – средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ [Текст] / А. Сердешнов, И. Протосвицкий, Ю. Леус, П. Шумра // Новости электротехники. – 2005. – № 3 (81). – С. 1-5.
8. Яковлев, Г.Н. Неотложные меры по снижению потерь электроэнергии у потребителя [Текст] / Г.Н. Яковлев // Сб. м-лов III Ярославского энергетического форума 4-6 декабря 2012 г. – Ярославль, 2012. – С. 208-209.
9. Шагиморданов, Д.Э. Разработка трехфазно-однофазной сети для электроснабжения сельских потребителей [Текст] / Д.Э. Шагиморданов. – Кострома: ФГБОУ ВПО «Костромская ГСХА», 2014. – 20 с.
10. Курилин, С.П. Развитие теории несимметричных режимов и энергетических процессов асинхронных двигателей сельскохозяйственных элек-

троустановок [Текст] / С.П. Курилин; ГОУ ВПО «МЭИ ТУ». – Москва-Смоленск: ГОУ ВПО «МЭИ ТУ». – 44 с.
11. Патент № 2506676 РФ H02J 3/00. Устройство для симметричного распределения однофазной нагрузки по фазам трехфазной сети [Текст] / Орлов П.С., Голдобина Л.А., Шкрабак В.С., Казиловка Н.Р., Орлов С.П., Парамонов С.А., Челышев К.А. – № 2012115381/07; заявл. 17.04.2012; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4.
12. Патент № 2489799 РФ H01F 1/54. Способ защиты входа операционного усилителя от перегрузок [Текст] / П.С. Орлов, С.Е. Шабров, А.С. Степанов. – № 2010146517/07; заявл. 15.11.2010; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
13. Монаков, В.К. УЗО. Теория и практика [Текст] / В.К. Монаков. – М.: Энергосервис, 2007. – 368 с.
14. Гавриченко, А.И. Прогнозирование однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью как способ повышения их безопасности [Текст] / А.И. Гавриченко, В.А. Чернышов, Г. Федоренков // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. – 2008. – № 6. – С. 53-56.

УДК 620.92:69

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АПК

Ст. преподаватель О.А. Полозова, к.т.н. Т.В. Алфёрова,
студент В.П. Ключинский
(УВО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь)

Ключевые слова: эффективность, нетрадиционные источники энергии, энергосберегающий дом, окупаемость.

Предложено в жилищном строительстве АПК применение двух видов энергосбережения: активного для самообеспечения жилого дома электроэнергией и теплой водой при помощи новых технологий (тепловые насосы, солнечные коллекторы) и пассивного (применение теплоизоляционных материалов, энергосберегающих окон и рекуператоров теплоты).

THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF NONCONVENTIONAL ENERGY SOURCES IN HOUSE BUILDING OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Senior teacher O.A. Polozova, PhD T.V. Alferova,
student V.P. Kliuchynski
(Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus)

Key words: efficiency, nonconventional energy sources, low-energy house, payback.

Two types of energy saving are proposed: an active type for self supply of the residential house with electric energy and hot water using novel technologies (heat pumps, solar collectors) and passive type (applying heat insulating materials, energy saving windows and heat recuperators).

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается тенденция увеличения в энергетическом балансе страны доли потребления энергии и топлива населением. Это обусловлено рядом причин, основными из которых являются:

- быстрые темпы внедрения достижений НТП в бытовую сферу;
- развитие индивидуального жилищного строительства. В соответствии с Концепцией государственной жилищной политики Республики Беларусь до 2016 года, доля индивидуального жилищного строительства должна быть доведена не менее, чем до 40% от общего ввода жилья в эксплуатацию, а уровень обеспеченности населения жильем в расчете на одного жителя должен вырасти до конца 2015 года до 27-28 кв. м [1];
- недостаточный уровень информированности населения в вопросах энергосбережения;
- относительно низкие тарифы на энергию как результат негативного влияния политики перекрестного субсидирования, что не стимулирует население к проведению активной работы по жесткому режиму экономии энергии и топлива.

В связи с этим немаловажное значение приобретает необходимость проектирования и строительства домов, учитывающих следующие принципы энергосбережения: совершенствование теплозащиты; рациональное производство энергии (в т. ч. с использованием нетрадиционных источников); рациональное распределение и передача энергии в здании.

Методика

Для оценки эффективности применения энергосберегающих технологий в Республике Беларусь был выполнен расчет срока окупаемости конкретно существующего энергосберегающего дома, расположенного в г. п. Костюковка Гомельской области.

Основные технико-экономические показатели, необходимые для расчета данного здания: отапливаемая площадь здания – 120 м²; годовой расход электроэнергии – 3360 кВт·ч/год; годовой расход тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения на метр отапливаемой площади – 0,177 Гкал/м^2; теплопотери ограждающих конструкций – 205,57 кВт·ч с м² отапливаемой площади в год.

Состав основного энергосберегающего оборудования и материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Основное энергосберегающее оборудование и материалы

Наименование		Затраты на покупку и монтаж, млн руб.	Срок службы, лет
Пассивное	Утеплитель	77,23	До 100 лет
	Энергосберегающие окна	50	До 30 лет
	Рекуператор	30	До 50 лет
Активное	Солнечная электро-станция	120	До 25 лет
	Тепловой насос	130	До 30 лет
	Солнечный коллектор	35	До 30 лет

Исследования жилых зданий показывают, что 56% теплопотерь приходится на нагревание инфильтрующего и вентилируемого воздуха, до 22% теплопотерь теряется через стены зданий, около 14% – через окна, еще 8% – через полы первого этажа и через чердаки [2].

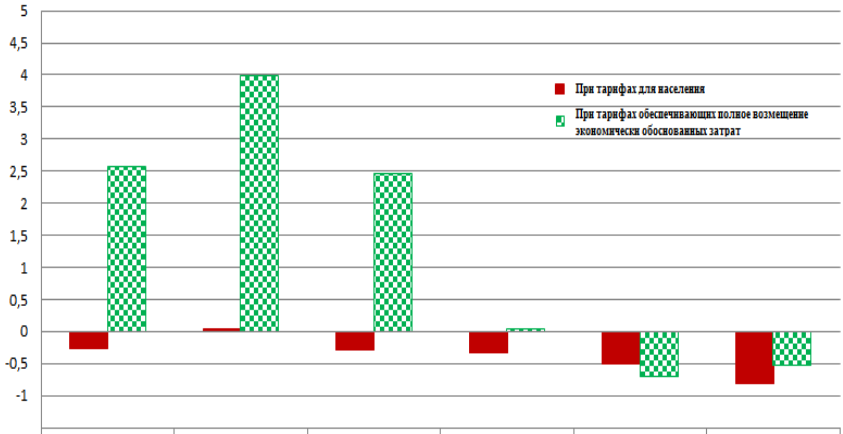
Результаты

По результатам данного исследования был произведен расчет эффекта от внедрения энергосберегающего оборудования и материалов каждого в отдельности, полученные результаты представлены на рисунке 1.

В расчетах использовались три варианта энергосбережения: пассивное, активное, и совместно активное и пассивное. Расчет производился при действующих тарифах на энергию и тарифах, обеспечивающих полное возмещение экономически обоснованных затрат. Стоимость электрической и тепловой энергии при действующих тарифах на энергию составляет 953,8 руб. за кВт·ч и 96424 руб. за Гкал., а тарифы, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат, составляют 1467,5 руб. за кВт·ч и 466119,8 руб. за Гкал., соответственно. Полученные результаты представлены в таблице 2.

С целью повышения энергетической эффективности жилых зданий, как способа ухода от перекрестного субсидирования, были проведены исследования о возможности ухода от этой проблемы.

Исследования показали, что в случае отказа от перекрестного субсидирования тарифы для населения должны будут вырасти в 3 раза, в результате чего удельный вес оплаты за энергию в доходах семьи составит не менее 11%. Поэтому уйти от перекрестного субсидирования в сложившихся условиях довольно сложно, но жизненно важно для экономики страны. И в этом нам должны помочь энергосберегающие технологии [3].



	Утепление	Энергосбер. окна	Рекуператор на вентиляцию	Солнечная батарея	Тепловой насос	Солнечный колектор
■	-0,2625	0,032	-0,283	-0,329	-0,513	-0,802
▨	2,56	3,98	2,465	0,033	-0,71	-0,522

Рисунок 1 – Эффект от внедрения энергосберегающего оборудования при действующих тарифах для населения (■) и тарифах, обеспечивающих полное возмещение экономически обоснованных затрат (▨).

Таблица 2 – Результаты расчета применения энергосберегающего оборудования и материалов

Сравниваемые условия	Срок окупаемости, лет		
	пассивное энергосбережение	активное энергосбережение	совместно активное и пассивное энергосбережение
Действующие тарифы для населения	82,8	55,2	63,16
Тарифы, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат	17	19,6	18,9

На рисунке 2 представлена зависимость срока окупаемости энергосберегающего оборудования и материалов на энергию при различных условиях.

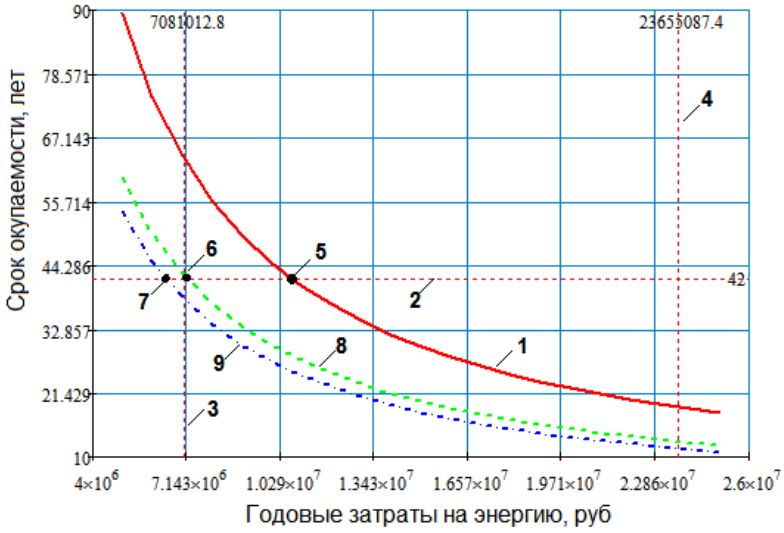


Рисунок 2 – Зависимость срока окупаемости энергосберегающего оборудования и материалов на энергию при различных условиях

На рисунке 2 представлены: зависимость срока окупаемости при действующих тарифах на энергию – 1; зависимость срока окупаемости при повышении действующих тарифов на энергию в размере 82% – 8; зависимость срока окупаемости при условии помощи со стороны государства – 9; прямая, характеризующая средневзвешенный срок службы энергосберегающего оборудования и материалов – 2; годовой экономический эффект при действующих ценах на электрическую и тепловую энергию – 3; годовой экономический эффект при экономически обоснованных ценах на энергию – 4; точки окупаемости вложенных средств при указанных выше условиях – 5; 6; 7.

На основании анализа рисунка 2 следует, что плата за энергоресурсы при введении тарифов на коммунальные услуги, обеспечивающих полное возмещение экономически обоснованных затрат, возрастут в три раза, а затраты на энергоэффективное оборудование, приведенные к одному году (исходя из среднего срока их службы), будут составлять 1,82 от стоимости энергоресурсов, что приведет к годовой экономии бюджета жильцов в размере 39,4%.

При небольшой помощи государства, равной налогу с прибыли, дополнительно полученной предприятиями от снижения тарифов на энергию, наши затраты будут даже ниже, чем платежи за энергоресурсы при действующих тарифах на них.

Выводы

Исследования показывают, что применение энергосберегающего оборудования при действующих тарифах на электрическую и тепловую энергию имеет смысл только при избирательном подходе к выбору оборудования, так как только некоторое из энергосберегающего оборудования может себя окупить за свой срок службы (например, энергосберегающие окна).

С развитием научно-технического прогресса стоимость энергосберегающих технологий будет снижаться, а стоимость энергоресурсов расти (соотношение тарифов на энергию для промышленности и населения для большинства стран мира находится в пределах 1 : (1,6…2,7)). Это приведет к снижению срока окупаемости и, следовательно, к увеличению экономического эффекта от внедрения энергосберегающих технологий, что сделает их финансово более доступными и экономически более привлекательными.

Литература

1. Концепция государственной жилищной политики Республики Беларусь до 2016. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 5 апреля 2013 г. № 267.
2. Булгаков, С.Н. Энергосберегающие технологии вторичной застройки реконструируемых жилых кварталов [Текст] / С.Н. Булгаков // Энергоэффективность. – 2006. – № 9. – С. 22-24.
3. Гулбрандсен, Т.Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент [Текст] / Т. Гулбрандсен, Л.П. Падалко, В.Л Червинский. – М.: БГАТУ, 2010. – 240 с.

УДК 621.3.047.2:338.436.33

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ВАКУУМНЫХ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК

Ст. преподаватель О.А. Полозова, инженер А.А. Алфёров, студент В.П. Ключинский
(УВО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь)

Ключевые слова: энергосбережение, солнечные коллекторы, эффективность, окупаемость.

Предложено для нужд горячего водоснабжения колбасного цеха и столовой предприятия АПК использование вакуумных солнечных коллекторов.

THE EFFICIEMCY OF APPLICATION OF VACUUM SOLAR COLLECTORS FOR HOT WATER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES

Senior teacher O.A. Polozova, engineer A.A. Alferov, student V.P. Kliuchynski
(Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus)

Key words: energy saving, solar collectors, efficiency, payback.

The application of vacuum solar collectors for supplying the sausage shop and the canteen at the enterprise of agroindustrial complex with hot water is proposed.

Республика Беларусь, также как Швейцария, Дания и Япония, относится к числу государств, не имеющих в достаточном количестве собственных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Однако опыт этих стран показывает, что экономика может динамично развиваться за счет эффективного использования ТЭР, проведения энергосберегающих мероприятий, освоения передовых энергоэффективных технологий, снижения издержек производства.

В Республике Беларусь в течение последних 15 лет значительно активизировалась работа в сфере энергосбережения и оптимизации топливно-энергетического баланса. В результате энергоемкость ВВП снизилась более чем в 2,8 раза. Такой весомый результат достигнут в большой степени благодаря сложившемуся в стране системному подходу в работе по энергосбережению.

Дополнительным импульсом к ее усилению стало принятие Президентом Республики Беларусь 14 июня 2007 года Директивы №3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства», в которой поставлена задача снижения энергоемкости ВВП. Энергетическая программа Республики Беларусь на 2011-2015 гг. предусматривает снижение энергоемкости ВВП на 29-32% при темпах роста ВВП 162-168%.

Большое внимание уделяется оптимизации топливного баланса Республики, замещению импортируемых видов топлива местными энергоресурсами. В Энергетической программе поставлена задача довести долю местных видов топлива (МВТ) в балансе котельно-печного топлива Республики к 2015 году до 28%, что приведет к замещению природного газа на 400-500 тыс. т у. т. в год.

В связи с растущим мировым дефицитом и постоянным удорожанием традиционных энергоносителей в Республике была принята Национальная программа «Развитие местных, возобновляемых и нетрадицион-

ных источников на 2011-2015 годы», в соответствии с которой необходимо внедрить за этот период 172 гелиоводонагревателей и гелиоустановок.

Методика

Объектом исследования является КСУП «Урицкое».

В данной работе был произведен расчет сроков окупаемости и экономического эффекта от применения вакуумных солнечных коллекторов для горячего водоснабжения колбасного цеха и столовой.

Характеристики вакуумных солнечных коллекторов: модель – SC-MG-20; тип вакуумной трубки – Heat pipe; количество трубок – 20 шт.; спецификация трубок – 70 мм х 1700 мм х 20 конденс. 24 мм; площадь коллектора – 4,05 м²; рекомендуемая емкость бака – 150...250 л; страна-производитель – Китай.

Преимуществами вакуумных солнечных коллекторов являются [4, 5]:

- высокая прочность и долговечность вакуумных трубок, простота в монтаже и замене;
- низкие проводящие и конвективные потери тепла и высокая производительность;
- возможность работы при значительных отрицательных температурах;
- возможность пассивно поглощать солнечное тепло весь день благодаря цилиндрической форме;
- более высокая степень поглощения солнечной радиации и хорошие изоляционные характеристики.

Это позволяет использовать вакуумные солнечные коллекторы в течение всего года с эффективностью на 25-40% выше коллекторов других типов.

Вид солнечного коллектора приведен на рисунке 1.

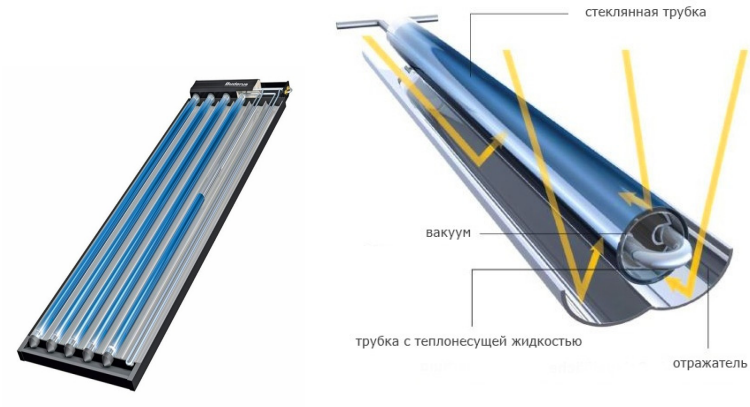


Рисунок 1 – Вид солнечного коллектора

Каждый вакуумный коллектор построен по принципу термоса. Он состоит из двух трубок, между которыми находится вакуум. Снаружи размещена стеклянная трубка большего диаметра, а внутри – герметичная медная трубка, внутри которой циркулирует жидкость.

Сочетание вакуум плюс медь, благодаря своей высокой теплопроводности, позволяют закипать жидкости уже при +30˚С. Образовавшийся пар поднимается вверх, где отдаёт тепловою энергию медному теплоприёмнику, который, в свою очередь «делится» нею с теплоносителем. Далее остывшая жидкость в виде конденсата опускается вниз, и весь процесс начинается сначала.

Схема обогрева с использованием тепла, полученного от солнца, приведена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Схема обогрева с использованием тепла, полученного от солнца

Результаты

Особенности конструкции вакуумных коллекторов делают применение солнечных батарей для нагрева воды эффективным даже при температурах ниже нуля (до – 35˚С). Эффективность использования солнечных коллекторов по месяцам года приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Эффективность солнечных коллекторов

Показатель эффективности	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Теплоотдача, МДж/м^2	53	123	223	310	387	393	437	357	240	163	67	47

Результаты расчетов экономического эффекта от замены электрических водонагревателей на вакуумные солнечные коллекторы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет экономического эффекта от замены электрических водонагревателей на вакуумные солнечные коллекторы

Наименование	Ед. изм.	Бытовые помещения колбасного цеха	Столовая
Водонагреватель			
Установленная мощность	кВт	1,8	12
Кол-во	шт.	2	1
Время работы	час	8	6
	дней	254	306
Потребление электроэнергии	кВт·ч	3657,6	11016
	тут	1,0	3,1
	тыс. бел. руб.	2626,9	7911,7
Солнечная батарея			
Установка солнечной батареи	тыс. бел. руб.	21924	38790
Срок окупаемости	лет	8,3	4,9
Экономический эффект	тыс. бел. руб.	43869,2	159025,2

Выводы

Результаты расчета показали, что замена электрических водонагревателей на солнечные коллекторы для горячего водоснабжения экономически целесообразна. Кроме того установка гелиосистемы дает возможность:

- получения альтернативного источника неограниченной, экологически чистой бесплатной энергии;
- обеспечения потребностей в горячей воде для бытовых нужд (даже в местах отсутствия магистрального водопровода);
- снижения уровня потребления традиционных энергоресурсов, а следовательно, и финансовых затрат;
- отключения централизованной системы отопления (котельной) для нагрева воды в летний период.

Литература

1. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Утверждена Указом Президента Республики Беларусь от 17 сентября 2007 г. № 433.
2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 мая 2011 г. № 586 «Об утверждении Национальной программы развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы».

3. Устройство и принцип работы вакуумного солнечного коллектора [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://energomir.net/alternativnaya-energetika/vakuumnyj-solnechnyj-kollektor.html (дата обращения 01.11.2015 г.).
4. Солнечные коллекторы для отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://otoplenie-doma.org/solnechnye-kollektory-dlya-otopleniya.html (дата обращения 05.11.2015 г.).

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К.т.н. И.М. Соцкая, д.т.н. П.С. Орлов
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: провод, сердечник, алюминий, алитирование, сталь, электрическая энергия, термоциклирование, криолит, бронза, медь.

Рассматривается способ изготовления медного провода со стальным сердечником, включающий в себя процесс алитирования стальной проволоки сердечника под слоем криолита с последующей обработкой алитированных стальных образцов в расплаве меди. Полученный тонкий слой алюминиевой бронзы на алитированной поверхности стали обеспечивает высокую коррозионную стойкость провода и малый износ поверхностей токонесущих жил в контакте с сердечником.

IMPROVING THE RELIABILITY OF ELECTRICITY SUPPLY

Candidate of Engineering Sciences I.M. Sotskaya,
Doctor of Engineering Sciences P.S. Orlov
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

Key words: wire, core, aluminum, calorizing, steel, electric energy, thermal cycling, cryolite, bronze.

We consider a method of manufacturing copper wire with steel core, which includes a process of nitriding steel wire core under a layer of cryolite with followed by aluminizing steel samples in the melt copper. The resulting thin layer of aluminum bronze on a polished steel surface provides the high corrosion resistance of the wire and a low wear of surface current-carrying veins in contact with the core.

Повышение надежности работы линий электроснабжения имеет важное народнохозяйственное значение.

Электроснабжение может осуществляться при помощи медного неизолированного провода. К серьезным недостаткам медных проводов следует отнести высокую стоимость меди, ведущую к удорожанию линий электропередач.

Наиболее часто применяют сталеалюминиевые провода, предназначенные для передачи электрической энергии в воздушных электрических сетях. Сердечник сталеалюминевых проводов скручивают из стальной оцинкованной проволоки.

Сталеалюминиевые провода также не лишены недостатков: цинк с течением времени окисляется и теряет свои защитные функции, а механический контакт между алюминием и стальным оцинкованным сердечником из-за наличия ветровой нагрузки приводит к механическому износу защитного покрытия стали и к коррозионным процессам в точках контакта стали с алюминием, снижению несущей способности стали сердечника и надежности электроснабжения потребителей, особенно во влажном климате.

Известен сталебронзовый провод марки БС, изготовленный из сплава БрМг 0,5. Сердечник сталеалюминевых проводов скручивают из стальной оцинкованной проволоки. Неустранимыми недостатками сталебронзового провода являются:

1) цинковое покрытие стального сердечника с течением времени окисляется и теряет свои защитные функции, а механический контакт между алюминием и стальным оцинкованным сердечником, из-за наличия ветровой нагрузки, приводит к механическому износу защитного покрытия стали и к коррозионным процессам в точках контакта стали с бронзовым сплавом, снижению несущей способности стали сердечника и надежности электроснабжения потребителей, особенно во влажном климате;

2) высокое электрическое сопротивление токопроводящей жилы, даже по сравнению с алюминиевой, повышает потери электрической энергии [1].

Авторами рассматривается возможность создания медного провода со стальным сердечником с высокой адгезионной связью стали с медью за счет алитирования стального сердечника, позволяющего снизить потери электрической энергии и затраты на эксплуатацию сети и повысить надежность электроснабжения.

Поставленная задача достигается способом изготовления медного провода со стальным сердечником, аналогичного по профилю сталебронзовому проводу, армированному стальным сердечником, причем для повышения стали к коррозии стальная проволока алитируется за 1-3 цикла, каждый из которых состоит из операций разогрева поверхности стали до температуры 900° С в защитной атмосфере на глубину проникновения алюминия в сталь, погружения в ванну с расплавленным алюминием и интенсивного охлаждения до температуры 550° С после обработки алюминиевым расплавом, находящимся под слоем расплава криолита, с после-

дующим кратковременным погружением алитированной стальной проволоки в ванну с расплавленной медью под слоем криолита.

Новые существенные признаки технического решения:

1) стальной сердечник обеспечивает высокую разрывную прочность провода;

2) разогрев стальной проволоки осуществляется в защитной атмосфере на глубину диффузии алюминия, что препятствует образованию окислов железа на поверхности стали и обеспечивает заданную толщину диффузионного слоя;

3) циклический разогрев поверхности стальной части до температуры 900° С и последующее интенсивное ее охлаждение после обработки расплавом алюминия до температуры 550° С обеспечивает осуществление фазовых α–Fe – γ–Fe и γ–Fe – α–Fe переходов в кратчайшие сроки и высокую производительность технологического процесса за счет ускоренного транспорта атомов алюминия в сталь в процессе фазового переноса за счет интенсификации диффузионных процессов;

4) проведение от одного до трех циклов нагрева стали, обработки ее расплавом алюминия и последующее охлаждение обеспечивают необходимую концентрацию атомов алюминия в стали на заданной глубине;

5) наличие расплава криолита на поверхности расплавленного алюминия препятствует образованию окиси алюминия на поверхности расплава и обеспечивает высокое качество процесса алитирования стали;

6) образующиеся в процессе алитирования на поверхности стали интерметаллические соединения обеспечивают плотное сцепление алюминиевого слоя со сталью и исключают отслоение алюминиевого покрытия,

7) контакт разогретой стали с расплавом алюминия обеспечивает удаление следов окислов железа с алитируемой поверхности и обеспечивает высокое качество процесса;

8) алитированная сталь обеспечивает высокую прочность и коррозионную стойкость контактного провода;

9) кратковременное погружение алитированной стальной проволоки в ванну с расплавом меди, находящейся под слоем криолита, обеспечивает получение на поверхности алитированнной стальной проволоки слоя из алюминиевой бронзы, прочность которой близка прочности меди;

10) слой из алюминиевой бронзы на поверхности алитированнной стальной проволоки обеспечивает высокую коррозионную стойкость провода и малый износ поверхностей токонесущих жил в контакте с сердечником.

Получение технического результата достигается использованием уникальных свойств алитированных сталей.

При термоциклировании стали в интервале температур (550-900)^{o} С в процессе фазовых α–Fe – γ–Fe и γ–Fe – α–Fe переходов в ограниченных объемах металл, в результате перестройки кристаллической решетки, ока-

зывается в псевдожидком состоянии и при нагревании и при охлаждении граница фазового перехода перемещается с поверхности стали вглубь металла, перенося с собой все примеси, в том числе и легирующие атомы к сердцевине детали. При «кристаллизации» псевдорасплава в первую очередь «кристаллизуется» железо, а примесь переносится псевдожидким железом вглубь детали, как при зонной плавке. Процесс полиморфного превращения облегчает проникновение легирующих атомов в псевдожидкий металл и обеспечивает интенсификацию процесса. Математическая модель массопереноса атома внедрения стационарных и динамических процессов химико-термической обработки стали имеет вид [2].:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = -D\cdot\left(\frac{\partial c}{\partial x} + A\frac{\partial P}{\partial x} + B\frac{\partial T}{\partial x} + X\frac{\partial^2 T}{\partial x\cdot\partial t} + Y\frac{\partial V_M}{\partial x} + C\frac{\partial \varphi}{\partial x} + C\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x\cdot\partial t}\right)\cdot S\cdot M, \quad (1)$$

где $(\partial m/\partial t)$ – количество (масса) вещества, прошедшее через площадку S за время t (массоперенос);

$\partial^2 \Phi/(\partial x\ \partial t)$, $\partial^2 T/(\partial x\ \partial t)$ – скорости изменения градиентов магнитного потока и температуры – слагаемые, описывающие ускоренные электромагнитный и фазовый переносы атомов легирующей примеси по Орлову при полиморфных фазовых α–Fe – γ–Fe и γ–Fe – α–Fe превращениях в оптимальном температурном диапазоне при термоциклировании;

$(\partial c / \partial x)$; $(\partial P / \partial x)$; $(\partial T / \partial x)$; $(\partial \varphi / \partial x)$; $(\partial V_M / \partial x)$ – градиенты концентрации, давления, температуры, потенциала и изменения объема, описывающие соответственно собственно диффузионный массоперенос по первому закону Фика, барический перенос по межкристаллитным и внутрикристаллитным пространствам по Орлову, обеспечивающий проникновение легирующих атомов в сталь, теплоперенос в соответствии с уравнением Фика-Нернста, электроперенос по Фромму и Гебхарту и вакансионный перенос по Мечеву;

D – коэффициент диффузии водорода в металле;

M – вес грамм – молекулы диффундирующего вещества;

A, B, C, Y, X – интегральные коэффициенты.

Скорость протекания технологического процесса при термоциклировании зависит от скорости изменения градиента температуры процесса. Фазовые превращения происходят не мгновенно по всему объему, а постепенно (в зависимости от степени перегрева или переохлаждения стали). Псевдожидкая волна полиморфного фазового превращения и при нагревании и при охлаждении перемещается с конечной скоростью с поверхности детали от источника нагрева (или от холодильника при охлаждении) к его сердцевине. Используя диаграмму образования аустенита при нагреве и диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита, определяют время выдержки алитируемых деталей при экстремальных температурах, для получения заданной толщины диффузионного слоя.

Для предупреждения образования оксидных плёнок при нагреве стали применяют защитную атмосферу. Введение расплава криолита в ванну с расплавом алюминия приводит к растворению пленки оксида алюминия, находящейся на поверхности ванны:

$$2Al_2O_3 + 2Na_3AlF_6 \rightarrow 6Na^+ + 3Al_2O_2F_4^{-2}. \qquad (2)$$

Нагретая поверхность стали со следами оксида железа восстанавливается жидким алюминием (первая стадия самораспространяющегося высокотемпературного синтеза):

$$Fe_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe + Q. \qquad (3)$$

Полученное восстановленное железо вступает в реакцию с алюминием с образованием интерметаллидного соединения Fe_XAl_Y с выделением тепла (вторая стадия самораспространяющегося высокотемпературного синтеза). Конечный продукт химических реакций в виде интерметаллидов Fe_XAl_Y является переходным слоем (диффузионной зоной) между алюминием и железом с толщиной слоя 0,02-0,03 мм при одном цикле нагрев – охлаждение.

Вследствие интенсивного протекания алюмотермической реакции, очищающей поверхность стали перед последующим алитированием, достигается высокая чистота поверхности конструкции.

Использование данной технологии получения биметаллических конструкций алюминий – сталь с диффузионной связью, образованной за счет металлотермии и самовосстанавливающего синтеза, обладающей низким переходным электрическим сопротивлением и высокой прочностью сцепления стали с алюминием, обеспечивает монолитность конструкции. Диффузионный слой стабилизирует электрический контакт между алюминием и стальной поверхностью, снижая электрическое сопротивление последнего. Все это позволяет повысить рабочие характеристики биметаллических соединений.

Используя диаграмму образования аустенита при нагреве и диаграмму изотермического превращения переохлажденного аустенита, можно определить время выдержки алитируемых деталей при экстремальных температурах, для получения заданной толщины слоя. Если транспорт Al необходимо осуществить только в тонкий поверхностный слой сечения образца, то временная выдержка при температуре 900° С не осуществляется. Если необходимо осуществить транспорт Al в металл на 2-3 мм, то оптимальным будет вариант нагрева до температуры 760° С (верхняя граница температурного коридора) с выдержкой при этой температуре 4…5 минут, так как в этом случае полное превращение феррита в аустенит может произойти только за время порядка 16 минут. Тогда за время экспозиции волна псевдожидкого полиморфного превращения, осуществляющая фазовый перенос и несущая Al, пройдет только четверть своего пути до сердцевины детали диаметром 20 мм и за 4 минуты изотермическое образование аустенита закончится только в поверхностном 2-миллиметровом слое.

По С-образной кривой диаграммы изотермического превращения переохлажденного аустенита определяем, что при температуре 680° С время полного полиморфного превращения – Fe составляет порядка 16 минут. Тогда для получения 2-миллиметрового диффузионного слоя Al необходима выдержка при этой температуре (нижняя граница температурного коридора термоциклирования) в течение 4…5 минут.

В соответствии с вышеизложенным была разработана и опробована в лабораторных условиях методика насыщения стали алюминием импульсным методом. Стальные образцы из низкоуглеродистой стали в герметичных контейнерах с расплавленным алюминием подвергались импульсному воздействию электромагнитного поля. Верхний предел температурного интервала 900° С, нижний – 550° С. Выдержка при экстремальных температурах составляла не менее 5 минут. Варьировались длительность и количество циклов. Полное время обработки при любом из опытов не превышало полутора часов. Проникновение алюминия в сталь осуществлено по всему сечению образца в течение 7 циклов.

При числе циклов не более трех получено алюминиевое покрытие стальной жилы с высокой взаимной адгезией алюминия и стали.

Обработка алитированных стальных образцов в расплаве меди позволила получить тонкий слой алюминиевой бронзы на алитированной поверхности стали.

Проведенные эксперименты подтверждают возможность получения медного провода со стальным сердечником.

Литература

1. Белоруссов, Н.И. Электрические кабели провода и шнуры [Текст] / Н.И. Белоруссов, А.Е. Саакян, А.И. Яковлева. – М.: Энергия, 1979. – 536 с.
2. Орлов, П.С. Разработка технологии получения сталеалюминиевого провода [Текст] / П.С. Орлов, И.М. Соцкая // Вестник АПК Верхневолжья. – 2012. – № 1. – С. 68-71.

УДК 531

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕПЛОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

А.Г. Теплов, к.т.н. О.Г. Несиоловский
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: система, двигатель, трактор.

Предложено установить систему автоматического теплового регулирования на двигатель трактора МТЗ.

AUTOMATIC HEAT ENGINE CONTROL

A.G. Teplov, Candidate of Engineering Sciences O.G. Nesiolovskiy
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

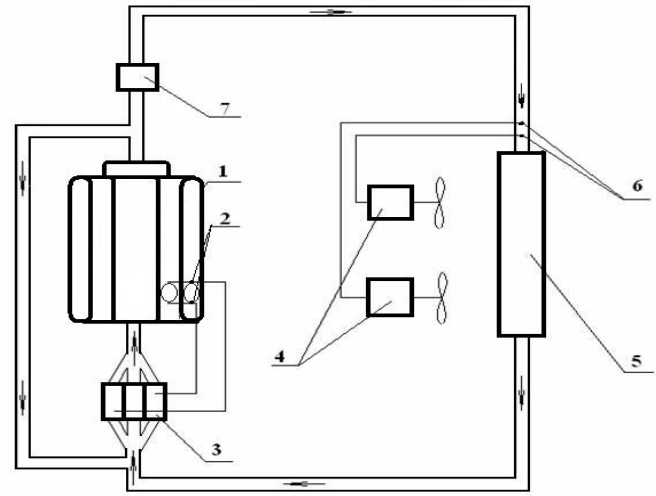
Key words: system, engine, tractor.

It is proposed to establish a system of automatic thermal management on the engine MTZ.

Двигатель работает с недогревом, это вызывает ухудшение смазки, условий смеси образования, повышенные затраты механической энергии на привод агрегатов. Для того чтобы повысить эффективность работы двигателя, требуется поднять температурный режим на малых и средних нагрузках.

Существуют системы автоматического регулирования, но они более затратные.

Предлагается система (рисунок 1), состоящая из 3 электронасосов системы отопления автомобиля ГАЗ, 2 электровентиляторов автомобиля ВАЗ, 2 датчиков включения вентилятора с разными температурами включения, 2 датчика температуры стенки гильзы цилиндра.



1 – двигатель Д-240; 2 – два датчика температуры стенки гильзы цилиндра; 3 – блок электронасосов, состоящий из 3 электронасосов системы отопления автомобиля ГАЗ; 4 – два электровентилятора автомобиля ВАЗ-2105; 5 – радиатор; 6 – два датчика включения вентилятора, с разными температурами срабатывания (90° С и 105° С); 7 – термостат штатной системы охлаждения.

Рисунок 1 – Схема управления тепловым состоянием двигателя

В системе установлено 3 электронасоса, соединенных параллельно. Вместо штатного насоса установлена крышка с патрубком. На радиатор установлено 2 электровентилятора, которые срабатывают от 2 датчиков разных температур.

Когда трактор холодный, один электронасос перекачивает охлаждающую жидкость по кругу через термостат. По мере нагревания двигателя включаются дополнительные насосы, и при достижении температур (90° С и 105° С) поочередно включаются вентиляторы.

Выводы

Система проста и выступает как бюджетный вариант, так как все комплектующие есть в любом магазине по оптимальным ценам.

УДК 621.184.64

ТЕПЛООБМЕННИК-УТИЛИЗАТОР МАЛОЙ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ

И.В. Черноногова, к.т.н. О.Г. Несиоловский
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия)

Ключевые слова: малая мощность, теплообменник, утилизатор теплоты.

В статье рассматриваются актуальные вопросы энергосбережения посредством использования теплообменника-утилизатора малой мощности.

HEAT EXCHANGER- UTILIZER LOW HEAT POWER

I.V. Chernonogova, Candidate of Engineering Sciences O.G. Nesiolovskiy
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia)

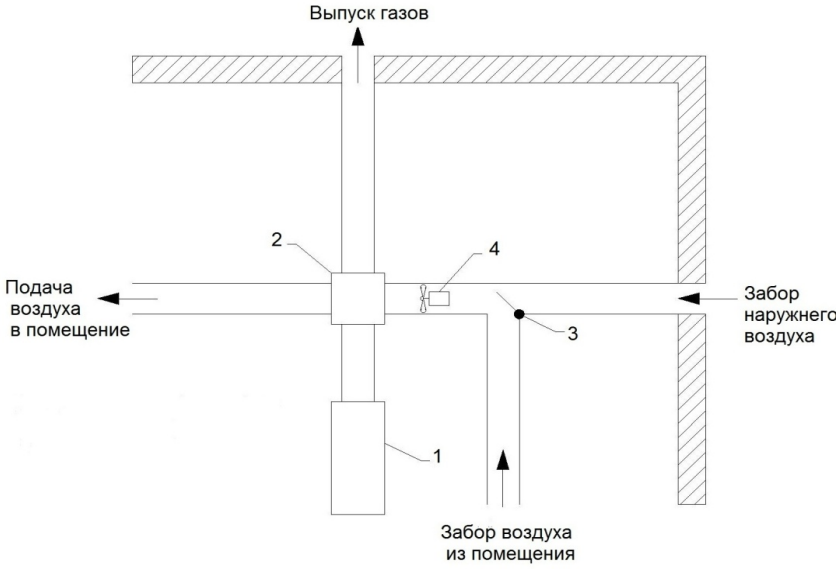
Key words: low heat power, heat exchanger, utilizer.

The article considers topical issues of energy saving, through the use of a heat exchanger-utilizer low power.

Тепловая энергия – основной вид энергии, потребляемый в мире, в том числе в сельском хозяйстве, в пищевой промышленности и для бытовых нужд. Одна из существенных проблем современности заключается в том, что необходимо экономить энергетические ресурсы. Цены на топливо

и энергоносители склонны к колебаниям, хотя в перспективе они будут расти. Наиболее перспективные пути экономии теплоты и топлива основаны на использовании возобновляемых и вторичных источников энергии. Большой энергосберегающий потенциал содержится в продуктах сгорания топлива, сжигаемого в производственных и бытовых устройствах. Уходящие из установок продукты сгорания (которые относятся к вторичным энергоресурсам) несут, как правило, значительное количество теплоты. Эта теплота может быть полезно использована. В мощных теплогенерирующих установках (от нескольких сотен киловатт и более) уже достаточно давно применят различные устройства для утилизации теплоты отработавших газов. Это, как правило, какие-либо теплообменные устройства или целые системы для подогрева воздуха или воды. Подобные устройства и системы имеют значительные габариты, вес и стоимость и поэтому крайне редко применяются в маломощных установках сжигающих органические топлива.

Для маломощных генераторов теплоты (хлебопекарные печи, котлы систем отопления, водогрейные газовые колонки и т.д.) требуются специальные эффективные малогабаритные и недорогие теплоутилизирующие устройства и системы. Пример подобного устройства рассмотрен ниже.



1 – теплогенерирующее устройство, 2 – рекуперативный теплообменник, 3 – заслонка, 4 – вентилятор.

Рисунок 1 – Схема системы утилизации теплоты отработавших газов теплогенерирующего устройства

В этом устройстве в качестве вторичного энергоресурса используются отработавшие газы, поступающие от теплогенерирующего устройства в рекуперативный теплообменник. Теплообменник состоит из системы алюминиевых гофрированных пластин, в котором горячий и холодный теплоносители движутся между этими пластинами, не перемешиваясь друг с другом. Забор воздуха подводят через соответствующие входные патрубки из помещения или снаружи помещения. Имеется заслонка, которая позволяет контролировать забор воздуха с улицы. При движении потоков через теплообменник происходит передача теплоты через стенки от отработавших газов к холодному приточному воздуху. Затем эти потоки выводят из теплообменника и далее через соответствующие выходные патрубки, отработавшие газы – на улицу, а нагретый воздух – в помещение. Далее воздух идет на технологические нужды или на теплоснабжение (отопление).

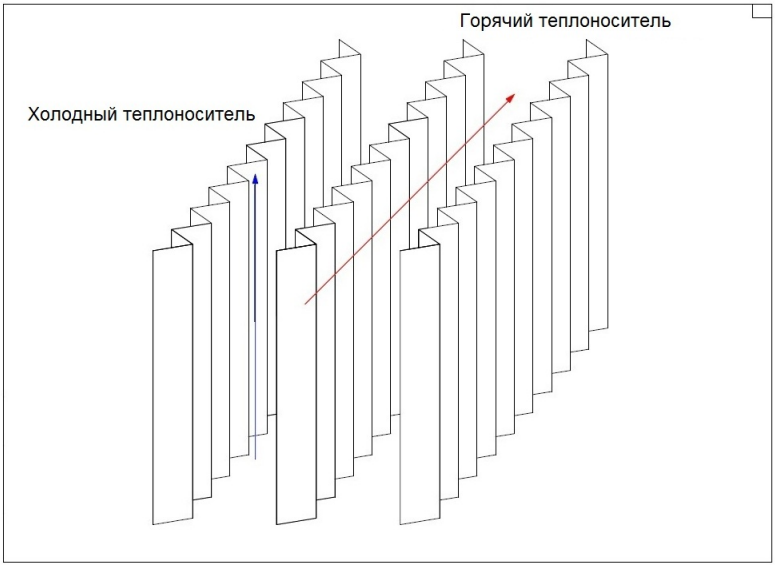


Рисунок 2 – Схема пластин теплообменника

Основой системы является теплообменник. Он прост и не дорог в изготовлении, так как основа его состоит из тонких гофрированных алюминиевых пластин. На основе одних и тех же пластин можно производить несколько теплообменников различной тепловой мощности, меняя только их количество. Он имеет высокую эффективность теплообмена (большая площадь контакта через пластины и малое термическое сопротивление самих пластин), относительно невысокая стоимость и удобство в эксплуатации (можно заменять кассету с пластинами, не производя их чистку).

Литература
1. Амерханов, Р.А. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства [Текст]: учеб. для вузов / Р.А. Амерханов, А.С. Бессараб, Б.Х. Драганов, С.П. Рудобашта, Г.Г. Шишко. – М.: Колос-Пресс, 2002. – С. 5-12.
2. Байгалиев, Б.Е. Теплообменные аппараты [Текст]: учебное пособие / Б.Е. Байгалиев, А.В. Щелчков, А.Б. Яковлев, П.Ю. Гортышов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. – С. 43-59.

УДК 620.9

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВЕТИЛЬНИКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Д.т.н. В.В. Шмигель
(ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия),
Е.В. Соцкая
(Ярославль, Россия)

Ключевые слова: светодиоды, твердотельные осветительные приборы, полупроводниковые лампы, светодиодные фитолампы и фитосветильники, энергорасход.

Рассматривается современное состояние и перспективы применения светодиодного освещения в сельском хозяйстве. Преимущества применения светодиодных фитоламп и фитосветильников в сельском хозяйстве. Анализируется график световых волн для фотосинтеза.

ENERGY-SAVING LAMPS FOR AGRICULTURE

Doctor of Engineering Sciences V.V. Shmigel
(FSBEI HE Yaroslavl SAA, Yaroslavl, Russia),
E.V. Sotskaya
(Yaroslavl, Russia)

Key words: light-emitting diodes, soid-state lighting, semiconductor lamps, led fitolampy and fitosvetilniki, energoraskhod.

We consider the modern state and prospects of application the led lighting in the agriculture. The advantages of led fitolampy and fitosvetilniki in the agriculture. We analyze the chart of light waves for photosynthesis.

АПК – одна из самых сложных отраслей экономики, если говорить о выборе способа освещения. С одной стороны, необходимо использовать искусственный свет, чтобы повысить продуктивность. С другой – важно снижать себестоимость производимой продукции, чтобы обеспечить ее конкурентоспособность. Наличие такой дилеммы требует применения особенно продуманного подхода к выбору светильников для сельского хозяйства. Наиболее выгодным освещением для АПК являются светодиодные лампы и прожекторы. Светодиод – это полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении. Светодиоды превосходят все источники искусственного света, включая энергосберегающие люминесцентные лампы. Их основное преимущество – эффективная работа и экономный энергорасход. Благодаря этому вопрос освещения коровника, свинарника, птичника решается оптимальным образом.

У твердотельных осветительных приборов есть и другие достоинства:

– пониженное тепловыделение. Они почти не нагреваются, поэтому не меняют микроклимат в помещении;

– отсутствие вредных веществ в составе конструкции. Светодиоды излучают свет в результате преобразования электротока. Основу прибора составляет полупроводниковый кристалл. В нем нет ртути или газов, нет хрупких компонентов.

– мгновенное включение в работу. «Раскачка» светодиодным светильникам не требуется, они сразу начинают излучать световой поток максимальной эффективности, независимо от числа включений / выключений.

Новые приборы применяются в сельском хозяйстве уже несколько лет. Заменив старую осветительную технику светодиодной, предприятия приобретают в дальнейшем только полупроводниковые лампы.

За рубежом уже более 10 лет применяют на фермах и в теплицах светодиодную светотехнику. Светодиодные светильники для сельского хозяйства выгодны также тем, что они служат 30000-50000 ч.

Преимущества применения светодиодного освещения в сельском хозяйстве:

– повышение производительности тепличного агрохозяйства, обеспечение идеальных условий освещения для растений. Свет «правильного» спектра способствует более быстрому росту, бутонизации и плодоношению растений;

– создание функциональной ночной подсветки в помещениях, где содержатся животные. Дежурный оператор сможет свободно просматривать пространство в таком свете и выполнять свою работу, а коровы и свиньи в это время будут спокойно отдыхать [1].

Такие овощные культуры, как огурцы, помидоры, салат и др. отлично созревают под светом светодиодных ламп. В лампе для растений (фито-

лампа, фитосветильник) используются светодиоды со специальными спектральными характеристиками для наилучшего усвоения света растениями.

Используются светодиоды со следующими длинами волн:

– красный = 660 nm (хлорофилл А);

– синий = 430 nm (хлорофилл Б);

– инфракрасный = 730 nm (хлорофилл Ф);

– ультрафиолетовый = 400 nm (выработка смол железами в целях защиты).

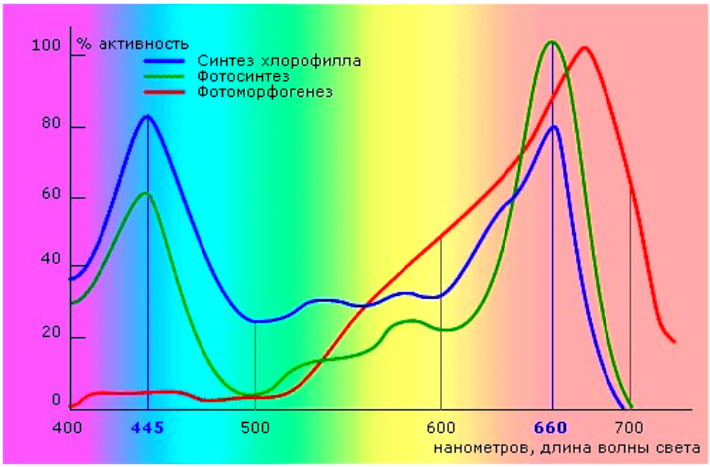


Рисунок 1 – Длина волны светодиодов

На графике (рисунок 1) можно выделить наиболее подходящие длины волн для фотосинтеза. 400 nm – ультрафиолет с длиной волны больше, чем 320 nm – воспринимается растением как закалка. Формируется устойчивость к понижению температуры (противоположный ИК эффект), также вырабатываются смолы, за счет восприятия УФ как раздражителя и стимулятора роста растения. За развитие крепкой корневой системы отвечают волны длиной 430 nm (хлорофилл Б), который также дается растению и в виде волн 630 nm. Именно к синим светодиодам в лампах для растений тянется растение. Лампы для растений со светодиодами с длиной волны 660 нанометров содержит самое большое количество фотонов на единицу энергии. Молекулы хлорофилла активизируются фотонами, а не энергией. Фотосинтез достигает своей верхней точки при длине волны 600-700 нанометров – значит, при самой большой численности фотонов на единицу энергии. Также 660 nm длина волны, которую растение усваивает больше всего и легче всего. 660 nm – это пик поглощения хлорофилла А, самого

доступного источника энергии для растения. 700 nm: до определенного значения этот спектр усиливает обмен веществ в растении.

Преимущества светодиодных фитоламп и фитосветильников:

– низкое энергопотребление (в несколько раз ниже, чем у натриевых ламп);

– направленность излучения, что позволяет более эффективно использовать источники света на основе светодиодов;

– срок службы светодиода не менее 50 000 часов, а для некоторых ламп заявлено 100 000 ч.;

– можно регулировать интенсивность излучения светодиода, изменяя ток, протекающий через кристалл;

– светодиоды, в отличие от ламп, не являются хрупкими, поэтому устройства на их основе не требовательны к условиям эксплуатации;

– также светодиоды практически не нагреваются, что исключает необходимость затрат на их охлаждение [2].

Согласно исследованиям института «Гипронисельпром», для получения оптимальной нормы освещённости в теплице для выращивания рассады, равной 40 Вт/м^2, необходимо использовать натриевую лампу мощностью минимум 120 Вт, а для получения нормы освещённости в теплице для выращивания на продукцию, равной 100 Вт/м^2, – лампу мощностью минимум 300 Вт. При фотопериоде выращивания рассады 14 часов и выращивания на продукцию 16 часов потребление электроэнергии на 1 м^2 составит за сутки величину в несколько кВт·ч. В пересчёте на всю продуктивную площадь теплицы величина потребления электроэнергии лампами выливается в огромное значение, существенно влияющее на рост себестоимости продукции.

Например, цветоводческое тепличное хозяйство средних размеров – около 5 Га – потребляет на освещение столько же энергии, сколько все светильники на МКАД. Применение светодиодных светильников может снизить эту величину, как минимум, в 3 раза. Кроме существенно меньшей потребляемой мощности, светодиоды способны обеспечить большее соответствие спектра излучения аграрного светильника спектру эффективности фотосинтеза, что позволяет снизить требуемую мощность излучения на единицу площади теплицы, а, следовательно, и мощность светильника, в результате чего происходит дополнительное снижение потребления электроэнергии и, как следствие, сокращение затрат.

В настоящее время светодиодные светильники для тепличного освещения нашли широкое применение в сельском хозяйстве в ряде стран (Голландии, Австралии, Великобритании и многих других) [3].

Светодиодное освещение – одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. Использование светодиодных ламп в

освещении уже занимает порядка 10% рынка. Развитие светодиодного освещения непосредственно связано с технологической эволюцией светодиода. Разработаны так называемые сверхяркие светодиоды, специально предназначенные для искусственного освещения.

Например, для населённого пункта в 100 000 человек нужно около 9000 светоточек. Если вместо так называемых энергосберегающих светильников с натриевыми лампами поставить светодиодные, можно получить экономию электроэнергии до 3 ГВт в год. И это не только уменьшение расходов на подключение, но и возможность применения кабелей с меньшим сечением.

Использование светодиодов приводит к более чем двукратной экономии электроэнергии, не имеет нужды в специальном обслуживании в противоположность стандартным осветительным системам. Переоборудование улиц светодиодными светильниками даст новый свет, близкий к натуральному [4].

Литература

1. Ekaled [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: http://ekaled.ru/svetodiodnye-svetilniki/svetilniki-dlya-selskogo-hozyaistva/.
2. Letsgrow [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: http://letsgrow.ru/.
3. Новое качество света [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL: http://nqlight.ru/articles/33-osveshenie-teplits-svetilniki-dlya-rasteniy.
4. Светодиод и его использование в нашей жизни [Электронный ресурс]. – URL: http://www.n-mar.ru/news/5300-svetodiod-i-ego-ispolzovanie-v-nashej-zhizni.html.

СОДЕРЖАНИЕ

Антропов Б.С., Жишко С.А. (ФГБОУ ВПО «ЯГТУ», Ярославль, Россия) Эффективность применения газовых двигателей на автобусах городского типа..... 3

Бирюков И.В. (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоград, Россия) Альтернативные источники энергии в сельскохозяйственном производстве..... 8

Велит И.А. (Полтавская государственная аграрная академия, Полтава, Украина) Натриевые лампы высокого давления со щелочными добавками для светлокультуры растений..... 13

Исаев Ю.М., Семашкин Н.М., Кошкина А.О. (ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия) Теоретическое описание работы зернового движителя 17

Кряклина И.В. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Расчет оптимального теплообменника..... 22

Лебедев Д.В., Антропов Б.С. (ФГБОУ ВПО «ЯГТУ», Ярославль, Россия) Исследование особенностей современных систем смазки ходовой части автомобиля..... 27

Милюткин В.А.[1], Бородулин И.В.[2] ([1]ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, [2]ООО «ЭКОВОЛГА», Самара, Россия) Энергосберегающая технология сбора и утилизации сине-зеленых водорослей с открытых водных поверхностей мобильным автономным комплексом..... 32

Морозов А.В., Горев Н.Н., Мушарапов Д.Р., Токмаков Е.А. (ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия) Формирование участков регулярной микротвердости сегментной электромеханической закалкой 37

Морозов А.В., Шамуков Н.И., Мушарапов Д.Р., Токмаков Е.А. (ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Россия) Расчет площади контакта твердосплавного сферического инструмента с поверхностью гладкого цилиндрического отверстия 41

Николаев В.А., Грек И.Л. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Конструктивная компоновка оптимального теплообменника..... 45

Орлов П.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Мероприятия по повышению надежности электроснабжения..... 49

Полозова О.А., Алфёрова Т.В., Ключинский В.П. (УВО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь) Эффективность применения нетрадиционных источников энергии в жилищном строительстве АПК..... 64

Полозова О.А., Алфёров А.А., Ключинский В.П. (УВО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель, Республика Беларусь) Эффективность применения вакуумных солнечных коллекторов для горячего водоснабжения предприятий АПК..... 69

Соцкая И.М., Орлов П.С. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Повышение надежности линий электроснабжения.. 74

Теплов А.Г., Несиоловский О.Г. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Система автоматического теплового регулирования двигателя..... 79

Черноногова И.В., Несиоловский О.Г. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Теплообменник-утилизатор малой тепловой мощности..... 81

Шмигель В.В., Соцкая Е.В. (ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия) Энергосберегающие светильники для сельского хозяйства..... 84

Научное издание

С Б О Р Н И К
Н А У Ч Н Ы Х Т Р У Д О В
ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ ОЧНО-ЗАОЧНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

25–26 ноября 2015 г.

Начальник редакционно-издательского отдела Е.А. Богословская
Технический редактор Е.И. Кудрявцева
Художественный редактор Т.Н. Волкова
Редактор Е.А. Богословская

Подписано в печать 25.03.2016 г.
Формат 60 × 84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 5,75. Тираж 500 экз. Заказ № 16.

Издательство ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.

Отпечатано в типографии
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА.
150042, г. Ярославль, Тутаевское шоссе, 58.

ISBN 978-5-98914-158-6

9 785989 141586