ВЕСТНИК ВИЭСХ

№3(24) 2016

Теоретический и научно-практический журнал. Основан в 2005 году
Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства

Журнал считается входящим в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, входит в базу данных AGRIS и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Редакционная коллегия:

Д.С. Стребков, акад. (председатель, главный научный редактор)
А.В. Тихомиров, к.т.н. (зам. председателя, зам. главного научного редактора),
А.Н. Васильев, д.т.н. (зам. председателя, зам. главного научного редактора),
А.Б. Коршунов, к.т.н. (зам. председателя, зам. главного научного редактора)
М. Либра, проф. (Чехия),
Т. Павловский, д-р-инж., проф. (Польша),
В.Н. Дашков, д.т.н., проф. (Беларусь),
В.В. Козирский, д.т.н., проф. (Украина),
Л.П. Кормановский, акад.
Ю.М. Антонов, к.т.н.,
Ю.Д. Арбузов, д.т.н.,
В.М. Евдокимов, д.ф.-м.н.,
Д.А. Ковалев, к.т.н.,
Б.П. Коршунов, к.т.н.,
В.Р. Краусп, д.т.н.,
А.И. Некрасов, д.т.н.,
Л.Д. Сагинов, к.ф.-м.н.,
Р.С. Суюнчалиев, к.т.н.,
Е.В. Халин, д.т.н.,
Ю.А. Цой, чл.-корр.,
О.В. Шеповалова, к.т.н.,
Ю.М. Щекочихин, д.х.н.,
Т.А. Гудкова (ответственный секретарь, редактор)

Адрес редакции:
109456, г. Москва,
1-й Вешняковский проезд, 2.
Телефон: (499) 171-22-91
Факс: (499) 170-51-01
E-mail: vestnikviesh@gmail.com

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-46497 от 08.09.2011 г.

Выходит 4 раза в год.
Компьютерный оригинал-макет
С.А. Гостева
Подписано в печать 27.09.2016 г.
Формат 60×84/8. Объем 16,5 печ. л.
Тираж 100 экз. Печать цифровая.
Заказ № 79.

Отпечатано в типографии «OneBook.ru»
ООО «Сам Полиграфист».
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, дом 42, корп. 5,
«Технополис Москва»

ISSN 2304-5868

Содержание номера

Электрификация и автоматизация в сельском хозяйстве. Электротехнологии. Эксплуатация электрооборудования

Липа О.А., Липа Д.А., Дворцова В. Применение стабилизатора напряжения с блоком телеметрии для повышения энергетической эффективности сельскохозяйственных распределительных сетей …… **3**

Подобедов П.Н., Довлатов И.М., Некрасов А.И. Анализ методов повышения надежности сельских электрических сетей 10 кВ …… **7**

Маркелова Е.К. Энергетические затраты при производстве продукции животноводства …… **15**

Уханова В.Ю. Использование наилучших доступных технологий российского производства в АПК – инструмент повышения энергоэффективности сельскохозяйственного производства …… **26**

Никитенков П.А., Платохина Т.Н., Волкова Л.Б. Использование газогенераторных печей для покрытия потребности в теплоте малых молочных ферм …….. **32**

Трунов С.С., Растимешин С.А. Экономия энергии при использовании потолочных вентиляторов в животноводческих помещениях ……... **35**

Кузьмичев А.В. Возможности применения ультразвука для обработки жидких пищевых продуктов …….. **38**

Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. Энергоэффективные энергосберегающие светодиодные облучательные установки …….. **48**

Халин Е.В., Михайлова Е.Е. Электронный портфолио работника для обеспечения электробезопасности производства …… **54**

Механизация в сельском хозяйстве. Проблемы машиноиспользования

Умбаталиев Н.А., Тойлыбаев М.С., Тургенбаев М.С. Оптимизация основных значений параметров рабочих органов комбайна при уборке риса …… **60**

Василенков В.Е., Гудзенко М.Н. Имитационное моделирование при параметрических исследованиях центробежных насосов …… **65**

Бекиров Э.А., Асанов М.М., Сенько А.И. Математическая модель идеального цикла двигателя Стирлинга …… **72**

Возобновляемая энергетика

Гусаров В.А. Перспективы распределенной энергетики …… **77**

Стребков Д.С., Бобовников Н.Ю., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И., Панченко В.А., Филиппченкова Н.С. Программа «Один миллион солнечных крыш» в России …….. **84**

Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С. Исследование механизмов и методов предотвращения потепления климата …….. **88**

Биотехнологии и агроинженерия

Свентицкий А.Г., Свентицкий И.И. Эксергетическая модель рационального использования энергетических природных и техногенных ресурсов в агротехнологиях …… **97**

По материалам 10 МНТК «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве», 24-25 мая 2016 г., Москва, ВИЭСХ

Свистунов А.И. Малоэнергоемкий многофункциональный смеситель для приготовления высокопитательных кормов …… **100**

Королев В.А., Воротников С.А., Польский В.А., Гемуев Ш.Ш., Ищук Е.Л. Многофункциональный робот для промышленных теплиц …… **109**

Седов А.М. Обеспечение надежности автоматической дистанционной идентификации животных в нештатных ситуациях их поведения …… **118**

Майоров В.А., Сагинов Л.Д., Трушевский С.Н., Беленов А.Т. Экспериментальные исследования характеристик солнечного модуля концентрированного излучения в натурных условиях …….. **126**

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки: elibrary.ru

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

© ФГБНУ ВИЭСХ, 2016.

Contents

Electrification and automation in agriculture. Electrotechnologies. Operation of electric equipment
O. Lipa, D. Lipa, V. Dvortsova
APPLICATION OF THE VOLTAGE STABILIZER WITH THE TELEMETRY UNIT FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL DISTRIBUTION NETWORKS…….……. **3**
P. Podobedov, I. Dovlatov, A. Nekrasov
ANALYSIS METHODS OF INCREASING THE RELIABILITY OF 10 kV RURAL ELECTRIC NETWORKS…….. **7**
Ye. Markelova
ENERGY COSTS IN THE PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTION……. **15**
V. Ukhanova
THE USE OF THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGY OF THE RUSSIAN PRODUCTION IN THE AGRICULTURAL SECTOR – THE TOOL OF INCREASE OF EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION……. **26**
P. Nikitenkov, T. Platokhina, L. Volkova
THE USE OF GAS-GENERATORS FURNACES TO MEET DEMAND IN THE WARMTH OF THE SMALL DAIRY FARMS…… **32**
S. Trunov, S. Rastimeshin
SAVING ENERGY IN THE LIVESTOCK BUILDING USING CEILING FANS …….. **35**
A. Kuz'michev
POSSIBILITIES OF APPLICATION OF ULTRASOUND FOR HANDLING OF LIQUID FOOD……. **38**
N. Kondratyeva, R. Bolshin, M. Krasnolutskaya
ENERGY-EFFICIENT LED IRRADIATION FACILITY…….. **48**
Eu. Khalin, Ye. Mikhaylova
WORKER ELECTRONIC PORTFOLIO FOR ENSURING ELECTRICAL SAFETY OF AGRICULTURAL PRODUCTION……. **54**
Mechanization in agriculture. Problems of use of machines
N. Umbetaliyev, M. Toilibaev, M. Turgenbaev
OPTIMIZATION OF FUNDAMENTAL VALUES OF COMBINE-HARVESTER MECHANISMS INRICE CLEANING **60**
V. Vasilenkov, M. Gudzenko
SIMULATION FOR PARAMETRIC STUDY OF CENTRIFUGAL PUMPS……... **65**
E. Bekirov, M. Asanov, A. Senko
MATHEMATICAL MODEL OF IDEAL STIRLING ENGINE CYCLE …….. **72**
Renewable power engineering
V. Gusarov
PROSPECTS FOR DISTRIBUTED ENERGY ……... **77**
D. Strebkov, N. Bobovnikov, A. Irodionov, A. Kirsanov, V. Panchenko, N.S. Filipchenkova
THE PROGRAM «ONE MILLION SOLAR ROOFS» IN RUSSIA …….. **84**
Yu. Vinogradov. D. Strebkov
STUDY OF MECHANISMS AND METHODS FOR PREVENTION CLIMATE WARMING……... **88**
Biotechnologies and agroengineering
A. Sventitsky, I. Sventitsky
EXERGETIC MODEL OF RATIONAL USE OF ENERGY OF NATURAL AND TECHNOGENIC RESOURCES IN AGRO-TECHNOLOGIES……... **97**
On materials of the 10th International Conference "Power Supply and Energy Saving in Agriculture", on May 24-25, 2016, Moscow, VIESH
A. Svistunov
THE LOW-POWER MULTIPURPOSE MIXER FOR PREPARATION OF HIGHLY NOURISHING FORAGES…… **100**
V. Korolev S. Vorotnikov V. Polskiy, Sh. Gemuev, Ye. Ishchuk
MULTIFUCTIONAL ROBOT FOR INDUSTRIAL GREENHOUSES …… **109**
A. Sedov
SISTEM OF AUTOMATIC REMOTE IDENTIFICATION OF ANIMALS ……. **118**
V. Majorov, L. Saginov, S. Trushevsky, A. Belenov
EXPERIMENTAL RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF CONCENTRATOR SOLAR MODULE IN NATURAL CONDITIONS……. **126**

© ФГБНУ ВИЭСХ, 2016.

УДК 621.398

ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С БЛОКОМ ТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

О.А. Липа, Д.А Липа, В.А. Дворцова
Российский государственный аграрный заочный университет (ФГБОУ ВО РГАЗУ), г. Балашиха, Московская обл., Россия

Рассматриваются мероприятия, направленные на повышение надежности и качества поставляемой электроэнергии путем минимизации возможности отказов оборудования, обрывов воздушных и кабельных линий электропередач. Отмечается, что одним из важных направлений повышения эксплуатационной надежности сетей является развитие диагностической оценки технического состояния электросетевого оборудования в режиме реального времени с использованием функции удаленного доступа к оперативной информации. Анализируются возможные положительные результаты внедрения такой диагностики в электрических распределительных сетях. Подчеркивается, что мероприятия по совершенствованию диагностической оценки необходимо осуществлять совместно с мероприятиями по энергосбережению и повышению энергетической эффективности распределительных сетей. Для решения поставленных задач предлагается использовать стабилизатор напряжения с блоком телеметрии, который может быть установлен на каждое ответвление распределительной электросети низкого напряжения. Блок телеметрии включается при изменении напряжения в сети, а стабилизатор напряжения с минимальной задержкой времени нормализует напряжение в электрической сети. Данный блок позволяет передавать данные об изменениях напряжения в электросети при срабатывании стабилизатора. Отмечается, что применение стабилизатора напряжения с блоком телеметрии позволит осуществлять передачу информации об изменении напряжения на пульт диспетчера для проведения анализа об отклонении напряжения в сети и позволит эксплуатирующей организации принять верное решение о необходимых действиях по обеспечению нормального режима электрической сети.

Ключевые слова: *электроэнергетика, надежность, качество электроэнергии, диагностическая оценка оборудования, стабилизатор напряжения, блок телеметрии.*

Важнейшей задачей отечественной электроэнергетики является повышение надежности и качества поставляемой электроэнергии путем минимизации возможности отказов оборудования, обрывов воздушных и кабельных линий электропередач. С учетом существующих в отрасли трудностей, связанных с невозможностью исполнения обязательств по поставке электроэнергии потребителям, требуется разработка мероприятий по минимизации времени простоя отдельных элементов и систем в целом, а также минимизации ограничения потребления электроэнергии на время ремонта. Кроме того, необходимо обеспечить возможность поддержания оптимальных уровней напряжения, ведения режимов сети, контроля объемов поставляемой и отпускаемой электроэнергии, определение уровня потерь и возможности их снижения [1].

Поставка электроэнергии к бытовым потребителям, мелкомоторному сектору и большинству сельскохозяйственных объектов осуществляется, как правило, по сети 0,4 кВ от распределительного устройства 6-20 кВ. Параметры режима электрической сети (частота, токи ветвей, напряжение в узлах) должны лежать в допустимых пределах, обеспечивая нормальные условия работы электрооборудования сети и приемников электроэнергии. Наличие определенных технических требований (ГОСТ 13109-97) к параметрам режима вызывает необходимость их контроля и регулирования в процессе эксплуатации.

С целью повышения эксплуатационной надежности сетей одним из важных направлений исследования является развитие диагностической оценки технического состояния электросетевого оборудования в режиме реального времени с использованием функции удаленного доступа к оперативной информации [1, 2]. Такая диагностика поможет минимизировать эксплуатационные затраты, а также обеспечить:

- руководящий и диспетчерский персонал достоверной информацией о техническом состоянии линий электропередач (ЛЭП) и трансформаторных подстанций (ТП);
- своевременное выявление возникающих дефектов на ЛЭП и ТП, что позволит вовремя организовывать ремонтно-эксплуатационные работы;
- возможность определения точного объема работ;
- создание условий для снижения количества технологических нарушений, предотвращения повреждения оборудования;
- сокращение инвестиционных программ на необоснованное обновление оборудования и на проведение аварийно-восстановительных работ;
- уменьшение случаев прекращения подачи (недоотпуска) электроэнергии из-за отключения оборудования;
- своевременное планирование и проведение ремонтов для исключения штрафных санкций со стороны потребителей за причиненный ущерб;
- возможность уменьшения затрат на страхование оборудования (зависит от наличия диагностических систем оборудования).

Следует отметить, что мероприятия по совершенствованию диагностической оценки необходимо осуществлять совместно с мероприятиями по энергосбережению и повышению энергетической эффективности распределительных сетей [2, 3]. Энергосберегающие технологии призваны обеспечить наиболее целесообразную загрузку оборудования, а применяемое оборудование должно исключить несанкционированное потребление электроэнергии.

Одним из возможных способов решения поставленных задач является установка стабилизатора напряжения с блоком телеметрии.

Такой стабилизатор переменного напряжения, укомплектованный блоком телеметрии и GPS-устройством, может быть установлен на каждое ответвление распределительной электросети низкого напряжения. Блок телеметрии включается при изменении напряжения в сети, а стабилизатор напряжения с минимальной задержкой времени нормализует напряжение в электрической сети. Данный блок позволяет передавать данные об изменениях напряжения в электросети при срабатывании стабилизатора. На рис. 1 представлен один из возможных стабилизаторов с блоком телеметрии.

Стабилизатор переменного напряжения содержит коммутирующий блок 1, токоограничительный резистор 2 и трансформатор 3, первый вывод вторичной обмотки 4 которого подключен к фазному проводу электросети, а второй вывод – к нагрузке. Первый вывод токоограничительного резистора 2 подключен к нейтральному выводу N электросети, а коммутирующий блок 1 содержит полупроводниковый

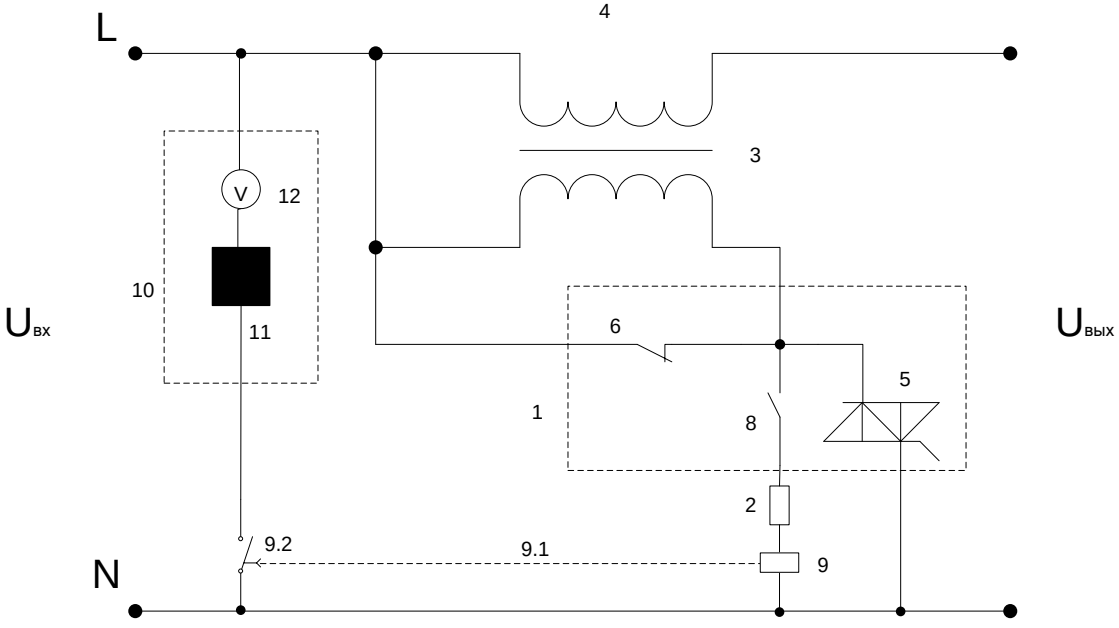


Рис. 1. Схема стабилизатора переменного напряжения с блоком телеметрии (*пояснения в тексте*)

ключ 5 и два коммутирующих реле. Контакты 6 первого коммутирующего реле подключены к первому и второму выводам первичной обмотки 7 трансформатора, первый вывод которой соединен с первым выводом вторичной обмоткой трансформатора 4. Контакты 8 второго коммутирующего реле включены между вторым выводом токоограничивающего резистора 2 и вторым выводом первичной обмотки трансформатора 7, между которым и нейтральным выводом N электросети включен полупроводниковый ключ 5. К герметичному электромагнитному реле 9, установленному после токоограничительного резистора 2, присоединен блок телеметрии 10, в составе которого имеется измеритель напряжения 12 с GPS-устройством 11.

Стабилизатор переменного напряжения работает следующим образом. В исходном состоянии, как показано на рис. 1, полупроводниковый ключ 5 заперт, контакты первого коммутирующего реле 6 нормально замкнуты, а контакты второго коммутирующего реле 8 нормально разомкнуты. Это соответствует допустимому для нагрузки уровню напряжения на входе $U_{вх}$ стабилизатора. Выводы первичной обмотки 7 трансформатора 3 через замкнутые контакты 6 первого коммутирующего реле закорочены. При этом ЭДС вторичной обмотки 4, а также ее активное и индуктивное сопротивления весьма малы, и напряжение на выходе $U_{вых}$ стабилизатора практически равно напряжению на его входе $U_{вх}$. Телеметрический блок выключен, сигнал на диспетчерский пункт не поступает. При изменении напряжения на входе стабилизатора $U_{вх}$, а следовательно, и на его выходе $U_{вых}$, отклоняемого от допустимого для нагрузки значение, контакты 8 второго коммутирующего реле замыкаются.

Ток через одновременно замкнутые контакты 6 первого и контакты 8 второго коммутирующих реле ограничивается резистором 2. После чего контакты 6 первого коммутирующего реле размыкаются, и осуществляется включение полупроводникового ключа 5 с плавным снижением величины угла задержки включения от π до 0. Обеспечивается плавное снижение сопротивления в цепи первичной обмотки 7 трансформатора 3 и плавное нарастание среднего значения напряжения, приложенного к первичной обмотке 7. При включении контактов 8 ток, проходя через резистор 2, включает реле 9 и подает напряжение на блок телеметрии 10, в котором включается измеритель напряжения 12 и GPS-устройство 11. Информация о срабатывании стабилизатора приходит на диспетчерский пульт с информацией о величине напряжения в сети.

Таким образом, применение стабилизатора напряжения с блоком телеметрии позволит осуществлять передачу информации об изменении напряжения на пульт диспетчера для проведения анализа об отклонении напряжения в сети, при этом потребитель не «почувствует» изменений в режиме работы сети. Кроме того, блок телеметрии может определять токовые показатели сети, показатели частоты и cos φ, что, в свою очередь, позволит эксплуатирующей организации принять верное решение о необходимых действиях по обеспечению нормального режима электрической сети.

Литература

1. *Липа О.А.* Методы управления технологическими процессами в условиях информационной неопределенности. Монография. М.: ФГОУ ВПО РГАЗУ, 2011. – 304 с.
2. *Папков Б.В.* Надежность и эффективность электроснабжения: Учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ, 1996. – 212 с.
3. *Липа О.А., Липа Д.А., Фурсенко М.В.* АСКУЭ как средство повышения эффективности производственной деятельности предприятий АПК // Вестник РГАЗУ. 2014. № 16(21). С. 47-51.

Сведения об авторах:

Липа Оксана Александровна – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой электрооборудования и автоматики, e-mail: okslipa@ya.ru;

Липа Дмитрий Алексеевич – ассистент кафедры электрооборудования и автоматики,
e-mail: dlipa@list.ru;

Дворцова Валентина Александровна – магистрантка направления подготовки 35.04.06 «Агроинженерия»,
Российский государственный аграрный заочный университет (ФГБОУ ВО РГАЗУ), г. Балашиха, Московская обл., Россия

APPLICATION OF THE VOLTAGE STABILIZER WITH THE TELEMETRY UNIT FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF AGRICULTURAL DISTRIBUTION NETWORKS

O. Lipa, D. Lipa, V. Dvortsova

The actions directed to increasing of reliability and quality of the delivered electric power by minimization of possibility of equipment failures, breaks of air and cable power lines are considered. It is noted that one of the important ways of increasing of operational reliability of networks is development of a diagnostic assessment of technical condition of the electric grid equipment in real time with use of function of remote access to operational information. Possible positive results in the implementation of such diagnostics in electric distributive networks are analyzed. It is emphasized that actions for improvement of a diagnostic assessment need to be carried out together with actions for energy saving and increase of power efficiency of distributive networks. To achieve the objectives it is offered to use a voltage stabilizer with the telemetry unit which can be installed on each branch of the distributive power supply network of a low voltage. The telemetry unit turns is activated by voltage changes in the network, and the voltage stabilizer with the minimum delay of time normalizes electricity supply. This block allows to transfer data about changes in electrical voltage in the power supply network at operation of the stabilizer. It is noted that application of a voltage stabilizer with the block of telemetry allows the transmission of information on changes in the voltage on the remote controller for the analysis of voltage deviation in the network and allow the operating organization to make the right decision on necessary actions to ensure the normal operation of electrical networks.

Keywords: power industry, reliability, quality of the electric power, diagnostic assessment of the equipment, voltage stabilizer, telemetry unit.

References

1. Lipa O.A. Metody upravlenija tehnologicheskimi processami v uslovijah informacionnoj neopredelennosti [Methods of management of engineering procedures in the conditions of information uncertainty]: Monograph. – Moscow, Russian state agricultural correspondence university, 2011, 304 ps.
2. Papkov B.V. Nadjozhnost' i jeffektivnost' jelektrosnabzhenija: ucheb. posobie [Reliability and efficiency of power supply]: studies. benefit. - Nizhny Novgorod: NGTU, 1996, 212 ps.
3. Lipa O.A., Lipa D.A., Fursenko M.V. ASKUE kak sredstvo povyshenija jeffektivnosti proizvodstvennoj dejatel'nosti predprijatij APK [ASKUE as means of increase in efficiency of productive activity of the entities of agrarian and industrial complex], Vestnik RGAZU: Scientific journal, No. 16(21), p. 47-51.

Authors:

O. Lipa – Ph. D. (Engineering), associate professor, Head of the chair «Electrical equipment and automation»,
e-mail: okslipa@ya.ru;
D. Lipa – assistant of the chair «Electrical equipment and automation»,
e-mail: dlipa@list.ru;
V. Dvortsova – graduate training direction 35.04.06 «Agroengineering»,
Russian state agrarian correspondence university, Balashikha, Moscow region, Russia.

УДК 621.31

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 10 кВ

П.Н. Подобедов, И.М. Довлатов, А.И. Некрасов
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

В настоящее время проблемы с надежностью и качеством электроснабжения достаточно велики. Из-за высокого процента износа электрических сетей, в частности сетевого оборудования (до 80%), а также ухудшения качества эксплуатации продолжительность перерывов в электроснабжении объектов возросла до 75 часов в год, а потери электроэнергии достигают 20 – 30 %. Предложена методика комплексной многокритериальной оценки, которая позволит выявить наилучший вариант по переоснащению линии не только по надежности электроснабжения, но и по качеству электрической энергии, эксплуатационным характеристикам, снижению потерь в линиях, а также по повышению эксплуатационных характеристик линии. Методика позволяет выявить недостатки и преимущества замены старого оборудования сети на предлагаемое, оценить целесообразность выбора технических средств и решений, снижающих потери в распределительных сетях 10 кВ, и замены оборудования, используя новые частные критерии. Выбор компоновок оборудования воздушных линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ будет проводиться с учетом неопределенности среды, фактором которой выбран рост нагрузок, и применения новых частных критериев, оценивающих качество электроэнергии, надежность электроснабжения, эксплуатационные характеристики компонентов линии и экономическую составляющую.

Ключевые слова: *электрические сети, надежность электроснабжения, потери электроэнергии, частные критерии.*

Введение. В настоящее время проблемы с надежностью и качеством электроснабжения достаточно велики. Из-за высокого процента износа электрических сетей, в частности сетевого оборудования (до 80%), а также ухудшения качества эксплуатации, продолжительность перерывов в электроснабжении объектов возросла до 75 часов в год, а потери электроэнергии достигают 20-30 %. Отклонение напряжения у потребителей оценивается от –15% до +15%, несимметрия тока и напряжения, искажение кривых тока и напряжения гораздо выше предельно допустимых значений, что приводит к повреждению электрооборудования, недоотпуску и выпуску продукции низкого качества, а также к дополнительным потерям электроэнергии [1].

Главным направлением по повышению надежности электроснабжения должно являться обновление технических средств, их эксплуатационных характеристик, снижение себестоимости элементов системы электроснабжения, а также разработка актуальной математической модели, позволяющей оценить целесообразность установки тех или иных элементов сети. Также важным направлением является выбор технических средств и решений, снижающих потери в распределительных сетях 10 кВ, и их обоснование как целесообразных к применению.

На базе основных требований к системам электроснабжения, статистических данных по отказам элементов сети, их эксплуатационных характеристик необходимо разработать новую методику оценки целесообразности применения различных элементов конструкций электроаппаратуры воздушных линий электропередачи, повышающих надежность электроснабжения, и выбора технических средств, снижающих потери электроэнергии в распределительных сетях 10 кВ.

Новая методика оценки должна соответствовать реалиям российских распределительных сетей 10 кВ, соответственно она должна быть основана на новых разрабатываемых частных критериях, которые позволяют более объективно оценить необходимость перевооружения линии и применения тех или иных средств по снижению потерь электрической энергии в данных сетях.

В целом оптимизация параметров по многокритериальной модели будет осуществляться по следующему алгоритму.

1. Разработка вариантов (стратегий) повышения надежности электроснабжения и снижения потерь электроэнергии в линиях 10 кВ, выбор линии 10 кВ распределительной сети с высокими показателями недоотпуска электрической энергии и низкой надежностью электроснабжения.

2. Выбор и обоснование частных критериев оценки целесообразности выбора технических средств, повышающих надежность электроснабжения и снижающих потери в распределительных сетях 10 кВ.

3. Разработка математических моделей частных критериев оценки.

Разрабатываемая математическая модель частных критериев будет включать в себя полностью сформированный комплекс формул и алгоритмов расчета моделей с учетом условия неопределенности и включающие в себя необходимое количество исходных данных для актуальной оценки целесообразности технических средств и решений, предлагаемых для снижения потерь электрической энергии и повышения надежности электроснабжения в распределительных сетях 10 кВ [2].

В качестве критериев оценки целесообразности замены электрооборудования сети будут приняты [3]:

- *отклонение напряжения.*

При снижении напряжения существенно ухудшается технологический процесс, увеличивается его длительность. Следовательно, увеличивается себестоимость производства. При повышении напряжения снижается срок службы оборудования, повышается вероятность аварий. При значительных отклонениях напряжения происходит срыв технологического процесса.

ГОСТ 13109-97 устанавливает нормально и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах электроприемников в пределах соответственно $\delta U y_{нор} = \pm 5$ % и $\delta U y_{пред} = \pm 10$ % номинального напряжения сети.

Обеспечить эти требования можно двумя способами: снижением потерь напряжения и регулированием напряжения;

- *время перерыва электроснабжения.*

Отключения электроснабжения (аварийные и преднамеренные, для выполнения ревизий и плановых ремонтов) оказывают заметное влияние на сельскохозяйственное производство.

В настоящее время число отключений и их продолжительность превышает норму, и ситуация продолжает ухудшаться, в связи с этим повышается недоотпуск электроэнергии, а это наносит вред промышленности и качеству выпускаемой продукции;

- *ущерб от недоотпуска электроэнергии.*

Определение ущерба от перерывов в электроснабжении – достаточно сложная задача, так как при этом приходится учитывать большое число факторов, многие из которых еще мало изучены (например, снижение продуктивности содержания животных: снижение удоя коров, уменьшение яйценоскость кур). На некоторых сельскохозяйственных предприятиях нарушение электроснабжения приводит к серьезному ущербу и полному уничтожению всей продукции, например, птицефермы. Степень ущерба зависит в значительной мере от размера и вида предприятия, технологических схем и условий содержания животных.

Оценка ущерба при перерывах электроснабжения производится на основании данных удельных разовых ущербов для различных производств, рассчитанных относительно их производительности, или на основании удельных показателей ущерба относительно недоотпущенной электроэнергии, или электрической мощности отключенного агрегата или объекта;

- *вероятность безотказной работы электроаппаратуры.*

Вероятность безотказной работы сети – это вероятность того, что в пределах заданной наработки или на заданном интервале времени отказ сети не возникает (рис. 1). Вероятность безотказной работы обратна вероятности отказа и вместе с интенсивностью отказов определяет безотказность сети. Она характеризуется тремя явно выраженными периодами: приработки I, нормальной эксплуатации II и износа III.

Вероятность безотказной работы группы объектов сети равна произведению вероятностей безотказной работы каждого объекта в этой сети;

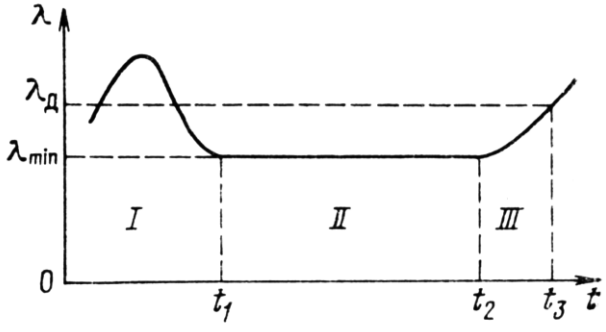


Рис. 1. График вероятности безотказной работы сети (*пояснения в тексте*)

- *среднее время восстановления.*

Среднее время восстановления (СВВ) – это показатель, характеризующий ремонтопригодность технического устройства; оно равно математическому ожиданию времени восстановления его работоспособности. Среднее время восстановления находят как среднее арифметическое значение всех длительностей простоев устройства, связанных с восстановлением работоспособности после отказов в процессе эксплуатации. Среднее время восстановления зависит от того, насколько устройство пригодно для контроля и доступно для осмотра, разбирается ли оно на отдельные узлы, а также от безотказности его элементов;

- *охранные зоны линий электропередачи.*

Использование территорий, находящихся в зоне ЛЭП, регулируется новыми Правилами установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон [7].

Введение таких правил обусловлено вредным воздействием электромагнитного поля на здоровье человека;

- *сроки выполнения монтажных работ по перевооружению всей линии электропередачи.*

Срок выполнения монтажных работ – период, в течение которого подрядчик обязан приступить к выполнению и завершить монтажные работы. Но завершение не означает окончания действия договора монтажного подряда; обязательства подрядчика и заказчика не прекращаются, поскольку, в частности, заказчик обязан принять результат работ, а подрядчик устранить недостатки, выявленные при приемке (ст. 753 ГК РФ). Поэтому согласование сторонами срока действия договора монтажного подряда не может считаться согласованием сроков выполнения монтажных работ;

- *сроки службы элементов сети.*

Сроки службы элементов сети – это период с начала эксплуатации оборудования (начало амортизационного периода) до его полного физического износа (завершение амортизационного периода). Установление экономически обоснованного срока службы оборудования является объективной процедурой, позволяющей установить наиболее достоверную норму амортизации;

- *количество человеко-часов монтажных работ по перевооружению всей линии электропередачи.*

Человеко-час – единица учета рабочего времени – количество часов, фактически отработанных человеком урочно и сверхурочно за оговоренный период или в процессе выполнения отдельного задания (проекта), например перевооружения линии электропередач. Отработанные человеко-часы являются результатом умножения количества работников на время, потраченное на работу;

- *бой электрооборудования при транспортировке.*

Традиционно изоляторы транспортируют, упаковывая в деревянные ящики согласно ТУ 3494-002-52314081-02, ТУ 3494-004-52314081-03 и ТУ 3494-003-52314081-05. Транспортировку изоляторов производят в заводской упаковке, при необходимости приняв меры по фиксации ящиков с изоляторами.

Допускается, при необходимости, транспортировка изолятора без заводской упаковки, при этом должны быть приняты дополнительные меры по фиксации изделия. При вскрытии деревянных ящиков и извлечении из них изоляторов необходимо соблюдать особую осторожность, чтобы избежать повреждения защитной оболочки изолятора гвоздями, с помощью которых скрепляются доски ящика. Зачастую требования не выполняются и происходит бой изоляторов;

- *общие экономические затраты на перевооружение линии электропередачи* [4].

Это затраты, включающие в себя стоимость оборудования и оплату за установку. Включают в себя стоимость изоляторов, проводов, при необходимости траверс и стоимость монтажа исходя из затрат человеко-часов на установку.

4. Выбор фактора, оценивающего неопределенность среды, в которой функционирует воздушная линия (ВЛ) 10 кВ:

Комплексная оценка перевооружения линии 10 кВ будет проводиться при росте нагрузки, которая принята за фактор, оценивающий неопределенность среды.

Также будет проведен сбор дополнительной информации о неопределенном факторе и получение вероятностей состояния среды, проведено имитационное моделирование и получение матриц частных критериев, выбран способ свертки частных критериев и получение матрицы оценочного функционала;

Выбор критериев оценки вариантов был произведен на основе анализа целей функционирования системы. Если критерии имеют различные единицы измерения, то их требуется нормализовать. Разработано большое количество схем нормализации, большинство из которых основываются на введении идеальных значений критериев f, с помощью которых вектор критериев приводится к безразмерной форме.

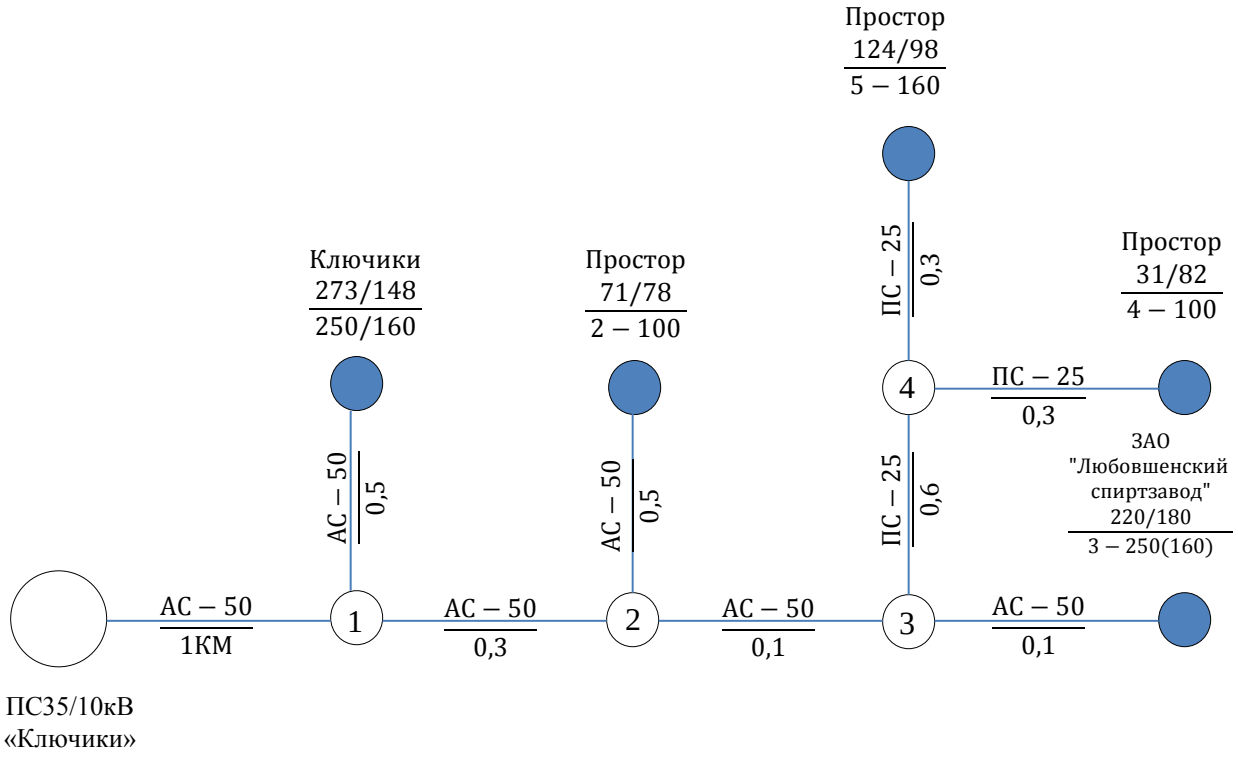


Рис. 2. Схема участка ВЛ 10 кВ, отходящей от подстанции «Ключики»

$$\bar{F} = (\bar{f}_1, \overline{f_2}, \bar{f}_1).$$

Каждая компонента вектора может принимать значения в диапазоне (0; 1).

Степень достижения каждой цели можно количественно охарактеризовать следующими критериями оптимальности: надежностью воздушной линии электропередачи $f_н$, экономичностью $f_{эк}$, и технической эффективностью $f_{тех.эф}$. Комплексный показатель надежности отражает безотказность, долговечность, ремонтопригодность ВЛ.

На данный момент в качестве анализируемых линий были выбраны две воздушные линии электропередачи с целью проверки математического аппарата применяемой методики по пяти критериям.

Первый пример – участок ВЛ 10 кВ. отходящей от подстанции «Ключики» и являющейся фидером №2 Новодеревеньковского РЭС Орловской области (рис. 2).

На данной линии установлены опоры: 4 анкерные и 51 промежуточная, 177 изоляторов марки ШС-10 и 3740 метров провода АС-50.

В качестве принятых к сравнению по многокритериальной модели компоновок воздушной линии электропередачи имеются 2 варианта:

1) провода марки АС-50 и изоляторы марки ШС-10;

2) провода марки СИП-3 и изоляторы марки ОЛСК-10.

В первом варианте технико-экономическое сравнение проводилось по следующим показателям:

Расчет недоотпуска электроэнергии и времени перерыва в электроснабжении

По Блоку В.М.	По Неклепаеву Б.Н.	Экспертная оценка
$T_{перерыва}$ = 0,98 ч	$T_{перерыва}$ = 1,3 ч	$T_{перерыва}$ = 11,13 ч
τ = 4,2 ч	τ = 5 ч	τ = 8 ч
$W_{недоотпуск}$ = 467кВт·ч	$W_{недоотпуск}$ = 620 кВт·ч	$W_{недоотпуск}$ = 5309 кВт·ч

По современной экспертной оценке (из-за крайнего износа и полной выработки элементами сети срока службы) происходит скачкообразное снижение надежности старых элементов линий.

Принимаем условия экспертной оценки, так как они наиболее актуальны и отвечают действительности.

Расчетный показатель недоотпуска электроэнергии при замене оборудования

Вариант	ШС-10;АС-50	ОЛСК-10; СИП-3
$W_{недоотпуск}$	5309 кВт·ч	1955 кВт·ч

Сравнение линии с новыми и старыми элементами по потери напряжения в линии. Суммарные потери напряжения в точке присоединения потребителя «Любовшенский спиртзавод»:

- для линии с проводом СИП – **60,86 В**;
- для линии с проводом АС-50 – **80,75 В**.

Потери напряжения на 1 километр линии составят:

- для линии с проводом СИП – **0,45%**;
- для линии с проводом АС-50 – **0,62%**.

Показатель времени монтажа одного изолятора и проводов

Вариант	ШС-10; АС-50	ОЛСК-10; СИП-3
Время, мин.	45	25

Сравнительная оценка показала целесообразность замены оборудования с учетом роста нагрузки по всем выбранным показателям:

Затраты, руб.

$К_{роста\ нагрузки}$	$\varphi_{1\ ШС-10}$	$\varphi_{2\ ОЛСК-10}$
1,0	1619655	1505469
1,9	2841555	2387101

Недоотпуск, кВт·ч

$К_{роста\ нагрузки}$	φ_1	φ_2
1,0	5309	1955
1,9	8325	3066

Скорость монтажа, ч

$К_{роста\ нагрузки}$	φ_1	φ_2
1,0	0,75	0,42
1,9	0,91	0,58

Потери напряжения, В

$К_{роста\ нагрузки}$	φ_1	φ_2
1,0	81	61
1,9	146	101

Бой изоляторов, шт.

$К_{роста\ нагрузки}$	φ_1	φ_2
1,0	4	1
1,9	5	1

Осуществлено сравнение вариантов ВЛ 10 кВ при использовании в конструкции СИП и АС-50 также изоляторов ШС-10 и ОЛСК-10 по многокритериальной модели с учетом роста нагрузки на данную ВЛ:

- при замене изоляторов и проводов есть возможность снизить количество аварийных отключений воздушной линии;
- снизить количество недопроизведенной продукции;
- улучшить экономические показатели линии;
- уменьшить время перерыва электроснабжения;
- уменьшить недоотпуск электроэнергии;
- упростить транспортировку и монтаж.

Второй пример для оценки уровня надежности – ВЛ 10 кВ, отходящая от подстанции «Красная Заря», фидер №9 Новодеревеньковского РЭС Орловской области (рис. 3) [5].

На данной линии установлены опоры: 5 анкерных и 67 промежуточных, 231 изоляторов марки ШС-10 и 5000 метров провода АС-50.

В качестве принятых к сравнению по многокритериальной модели компоновок воздушной линии электропередачи имеются четыре варианта:

- провода марки АС-50 и изоляторы марки ШС-10;
- провода марки СИП-3 и изоляторы марки ОЛСК-10;
- провода марки АСПТ-45 и изоляторы марки ШС-10;
- ПВПУ кабельная компоновка линии.

Частные критерии:

- общие затраты (на перевооружение + цена неоотпуска продукции), руб.;
- недоотпуск, кВт.ч;
- скорость монтажа одного изолятора и провода, ч;
- потери напряжения, В;
- бой изоляторов, шт.

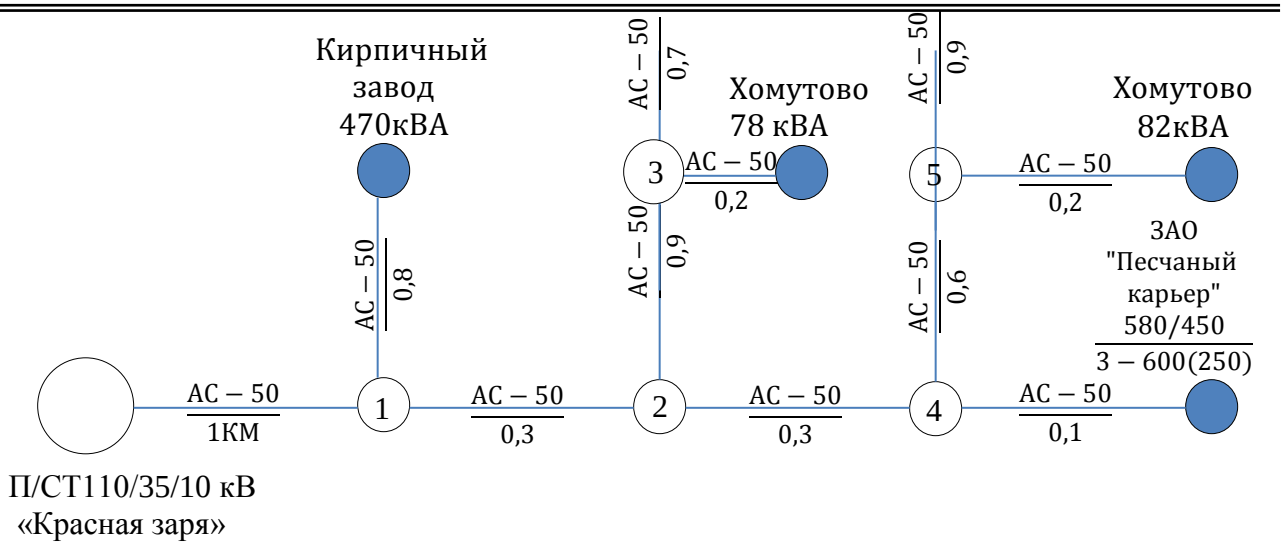


Рис. 3. Схема ВЛ 10 кВ, отходящей от подстанции «Красная Заря»

$К_{роста\ нагрузки}$ показатели берутся в соответствии с ростом нагрузки.

φ_1 - вариант показателей при варианте с традиционными элементами.

φ_2 - вариант показателей при варианте с современными элементами конструкции.

Приведем формулу суммирования полученных критериев:

$$F = \prod_{t=1}^{n} f_i = З_{общие} \cdot W_{недоотпуск} \cdot Т_{время\ монтажа} \cdot$$

$$\cdot \Delta U_{потери\ напр.} \cdot Б_{бой\ изоляторов(изоляции)}.$$

Затраты, тыс. руб.

$К_{роста\ нагрузки}$	**ϕ_1 (СИП-3)**	**ϕ_2 (АСПТ)**	**φ_3 (ПвПу)**	**φ_4 (ШС-10)**
1,0	**2280**	**1733**	5389	2176
1,9	**4841**	**3292**	10103	4297

Недоотпуск, кВт·ч

$К_{роста\ нагрузки}$	**ϕ_1**	**ϕ_2**	**φ_3**	**φ_4**
1,0	5951	6805	5250	16110
1,9	9042	10340	8006	24479

Скорость монтажа, ч

$К_{роста\ нагрузки}$	**ϕ_1**	**ϕ_2**	**φ_3**	**φ_4**
1,0	0,42	0,43	1,17	0,75
1,9	0,58	0,54	1,23	0,91

Потери напряжения, В

$К_{роста\ нагрузки}$	**ϕ_1**	**ϕ_2**	**φ_3**	**φ_4**
1,0	117	151	103	157
1,9	159	206	144	217

Бой изоляторов, шт.

$К_{роста\ нагрузки}$	**ϕ_1**	**ϕ_2**	**φ_3**	**φ_4**
1,0	1	1	1	4
	1	1	1	5

$P_{вероятность\ роста}$	$K_{роста\ нагрузки}$	$F_1 \cdot 10^{12}$	$F_2 \cdot 10^{12}$	$F_3 \cdot 10^{12}$	$F_4 \cdot 10^{12}$
0,3	1,0	0,66	0,76	3,4	16,51
0,7	1,9	4,03	3,78	14,32	103,85

Результаты произведенных расчетов с учетом роста нагрузок приведены выше.

Используют правило Байеса, в соответствии с которым стратегия решений выбирается таким образом, чтобы обеспечить минимум среднего риска. Применение критерия Байеса целесообразно в случае, когда система распознавания многократно осуществляет распознавание неизвестных объектов или явлений в условиях неизменного признакового пространства, при стабильном описании классов и неизменной матрице. Все условия данного правила соблюдены [6].

Критерий Байеса:

$$B_{\varphi 1}=\sum_{i=1}^{n}(P \cdot F)=0{,}3 \cdot 0{,}66+0{,}7 \cdot 4{,}03=3{,}0 \text{ СИП}$$

$$B_{\varphi 2}=\sum_{i=1}^{n}(P \cdot F)=0{,}3 \cdot 0{,}76+0{,}7 \cdot 3{,}78=2{,}8 \text{ АСПТ}$$

$$B_{\varphi 1}=\sum_{i=1}^{n}(P \cdot F)=0{,}3 \cdot 3{,}4+0{,}7 \cdot 14{,}32=11{,}0 \text{ ПвПу}$$

$$B_{\varphi 1}=\sum_{i=1}^{n}(P \cdot F)=0{,}3 \cdot 16{,}51+0{,}7 \cdot 103{,}85=77{,}1 \text{ АС}$$

F_1 оптимальный вариант:

$K_{роста\ нагрузки}$	$F_1 \cdot 10^{12}$(СИП)	$F_2 \cdot 10^{12}$(АСПТ)
1,0	0,62	1,27

Выводы

Был произведен сравнительный технико-экономический анализ проводов АС, АСПТ, ПвПу и СИП-3, и изоляторов ШС-10 и ОЛСК-10, где видно, что изоляторы марки ОЛСК-10 значительно превосходят по эксплуатационным качествам и по характеристикам надежности изоляторы марки ШС-10, а провода марок ПвПУ, СИП-3 и АСПТ надежнее проводов марки АС. А также они являются экономически выгодными и обладают преимуществами в монтаже и при транспортировке.

Многокритериальная оценка позволит выявить наилучший вариант по переоснащению линии не только по надежности электроснабжения, но и по качеству электрической энергии, эксплуатационным характеристикам, снижению потерь в линиях, а также по повышению эксплуатационных характеристик линии.

Предложенная методика позволяет выявить недостатки и преимущества замены старого оборудования сети на предлагаемое, оценить целесообразность выбора технических средств и решений, снижающих потери в распределительных сетях 10 кВ, и замены оборудования, используя новые частные критерии. Планируется создать многокритериальную модель оценки и провести ее с целью выявить наилучшие варианты по снижению потерь электрической энергии и повышению надежности в распределительных сетях 10 кВ.

В ближайшей перспективе планируется усовершенствовать математический аппарат данной методики оценки, расширить оценочный функционал методики, а также переработать базовые входные значения под современный парк электрооборудования.

Литература

1. *Герасименко А.А., Федин В.Т.* Передача и распределение электрической энергии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. – 716 с.
2. *Лещинская Т.Б., Князев В.В.* Многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. – 100 с.
3. *Подобедов П.Н.* Методика оценки предложенных конструкций изоляторов и проводов по многокритериальной модели // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал ВИЭСХ. Материалы 5-й Межд. научно-техн. конф. молодых ученых. 2014. – Вып. 4(9).
4. *Будзко И.А., Левин М.С.* Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. М.: Агропромиздат, 1985. – 536 с.
5. *Довлатов И.М.* Комплексная оценка применения кабельных, воздушных и самонесущих линий электропередач в районах с малой плотностью нагрузок // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал ВИЭСХ. Материалы 5-й Межд. научно-техн. конф. молодых ученых. – 2014. – Вып. 4(9).
6. *Левин М.С., Лещинская Т.Б.* Методы теории решений в задачах оптимизации систем электроснабжения. М.: ВИПКэнерго, 1989. – 130 с.
7. Постановление Правительства РФ «О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон» № 160 от 24.02.2009 г.

Сведения об авторах:

Подобедов Павел Николаевич - аспирант, e-mail: podobiedov13@mail.ru

Довлатов Игорь Мамедяревич – аспирант, e-mail: dovlatovim@mail.ru

Некрасов Алексей Иосифович – доктор техн. наук, профессор, e-mail: nalios@mail.ru

ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия

ANALYSIS METHODS OF INCREASING THE RELIABILITY OF 10 kV RURAL ELECTRIC NETWORKS

P. Podobedov, I. Dovlatov, A. Nekrasov

Currently, the problems with reliability and quality of power supply are sufficiently large. Due to the high percentage of wear of electrical networks such as network equipment (80%), as well as the deterioration of the quality of operation, the duration of interruptions in electricity supply facilities increased to 75 hours per year, and electricity losses amount to 20-30 percent. It is proposed to use the complex methodology of multicriteria assessment that will identify the best option to refurbish the line not only in terms of reliability of power supply, but also on the quality of electric power, performance characteristics, reduction of losses in the lines as well as to improve the performance of the lines. The technique allows to identify the advantages and disadvantages of the old network equipment replacement to the proposed, to evaluate the appropriateness of the choice of means and solutions that reduce losses in the distribution 10 kV network and replacement of equipment, using new private criteria. The choice of equipment layouts overhead power lines in distribution 10 kV networks will be carried out taking into account the environment of uncertainty factor that selected load growth and the application of new criteria for evaluating partial power quality, reliability of power supply, the performance of the line components and the economic component.

Keywords: electric networks, power reliability, power loss, particular criteria**.**

References

1. Gerasimenko A.A., Fedin V.T. Peredacha i raspredelenie ehlektricheskoj ehnergii [Transmission and distribution of electric energy], Rostov-on-Don, Phoenix, 2008, 716 ps.
2. Leshchinskaya T.B., Knyazev V.V. Mnogokriterial'naya ocenka tekhniko-ehkonomicheskogo sostoyaniya raspredelitel'nyh ehlektricheskih setej [Multi-criteria evaluation of technical and economic condition of electricity distribution networks], Moscow, MSAU, 2006, 100 ps.
3. Podobedov P.N. Metodika ocenki predlozhennyh konstrukcij izolyatorov i provodov po mnogokriterial'noj modeli [Technique of assessment of the offered structures of isolation centers and wires on multicriteria model], VIESH online journal *Innovacii v sel'skom hozyajstve* [Innovations in agriculture], Materials of the 5th Conference of young scientists, 2014, No. 4(9).
4. Budzko I.A., Levin M.S. EHlektrosnabzhenie sel'skohozyajstvennyh predpriyatij i naselyonnyh punktov [Power supply of agricultural enterprises and settlements], Moscow, Agropromizdat, 1985, 536 ps.
5. Dovlatov I.M. Kompleksnaya ocenka primeneniya kabel'nyh, vozdushnyh i samonesushchih linij ehlektroperedach v rajonah s maloj plotnost'yu nagruzok [Complex assessment of application of the cable, air and self-bearing power lines in areas with a small density of loadings], VIESH online journa *Innovacii v sel'skom hozyajstve* [Innovations in agriculture], Materials of the 5th Conference of young scientists, 2014, No. 4(9).
6. Levin M.S., Leshchinskaya T.B. Metody teorii reshenij v zadachah optimizacii sistem ehlektrosnabzheniya [Methods of the theory of decisions in optimization problems of power supply systems], Moscow, VIPKenergo, 1989, 130 ps.
7. Resolution of the Government of the Russian Federation "On the order of establishment of security zones of transmission facilities and special conditions of use of land located within the boundaries of such areas" from 24.02.2009, No. 160.

Authors:

P. Podobedov – post-graduate student,
e-mail: podobiedov13@mail.ru
I. Dovlatov - PhD student,
e-mail: dovlatovim@mail.ru
A. Nekrasov - D. Sc. (Engineering), prof.,
e-mail: nalios@mail.ru
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia.

УДК 631: 371.621.311

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Е.К. Маркелова
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Рассмотрены вопросы энергопотребления в сельском хозяйстве, приведена структура полных затрат энергии при производстве сельскохозяйственной продукции, где отражены все составляющие производственного процесса, в том числе инвестиции, косвенные и прямые затраты на обеспечение технологического процесса. Даны показатели полной энергоемкости основных видов продукции в ГДж на 1 тонну молока и свинины, 1000 шт. яиц; ее структуры по видам энергоносителей. Изучен вариант возможного влияния изменения параметров составляющих полной энергоемкости (например, капитальных затрат) на величину прямых затрат. В энергетических эквивалентах рассмотрены варианты утеплений ограждающих конструкций производственных помещений (стены, пол, перекрытия). Рассчитаны варианты изменения тепловых характеристик ограждающих конструкций и соответствующие изменения затрат тепловой энергии при поддержании требуемого температурного режима в помещении с биообъектами. Определены показатели затрат тепловой энергии на поддержание требуемых параметров микроклимата при разных значениях удельной тепловой характеристики строений, температуры воздуха в производственных помещениях и при разной плотности посадки птицы.

Ключевые слова: *энергоемкость, полная энергоемкость, продукция сельскохозяйственного производства, потребности и затраты энергии в сельскохозяйственном производстве, энергоносители, составляющие энергозатрат, энергетические эквиваленты, прямые затраты энергии, удельная тепловая характеристика здания.*

Анализ показателей суммарных энергетических затрат. В процессе производства сельскохозяйственной продукции используются различные виды энергоносителей. К ним относятся тепловая и электрическая энергия, жидкое топливо (бензин, керосин, дизельное топливо), затраты ручного труда, энергия, которая была вложена в капитальное строительство (здания, сооружения), в создание машин и оборудования, в производство кормов, в выращивание и содержание племенного и ремонтного молодняка. Для оценки показателей эффективности использования энергетических ресурсов ранее разработаны методические рекомендации [1, 2, 3, 4], в которых изложен подход к проведению энергетического анализа производства продукции в сельском хозяйстве в единых единицах измерения. В качестве критерия выбран показатель энергоемкости, определяемый как отношение суммарных затрат всех видов энергии на единицу выпускаемой продукции.

В таблице 1 даны показатели и структура полной энергоемкости при производстве основных видов животноводческой продукции [5].

Таблица 1

Энергоемкость производства сельскохозяйственной продукции

Продукция	Полная энергоемкость (100%), ГДж/т	Энергозатраты, %		
		прямые	косвенные	инвестиционные
Молоко	22,0	30,4	60,2	9,4
Свинина	150,0	26,5	70,6	2,9
Яйцо (1000 шт.)	5,2	45,8	46,6	7,6
Мясо птицы	117,0	43,7	48,2	8,1

Таблица 2

Структура энергоемкости производства животноводческой продукции по видам энергоносителей

Показатель	Энергозатраты, %						
	Инвестиционные	Косвенные	Прямые				
			Всего	В том числе			
				Электроэнергия	Тепловая энергия	Жидкое топливо	Затраты труда
Производство молока	9,4	60,2	30,4	11,3	10,1	4,0	5,0
Содержание свиней	2,9	70,6	26,5	19,9	1,3	3,1	2,2
Производство:							
- яиц	7,6	46,6	45,8	17,1	22,2	1,1	5,4
- мяса	8,1	48,2	43,7	16,2	21,1	1,5	4,9

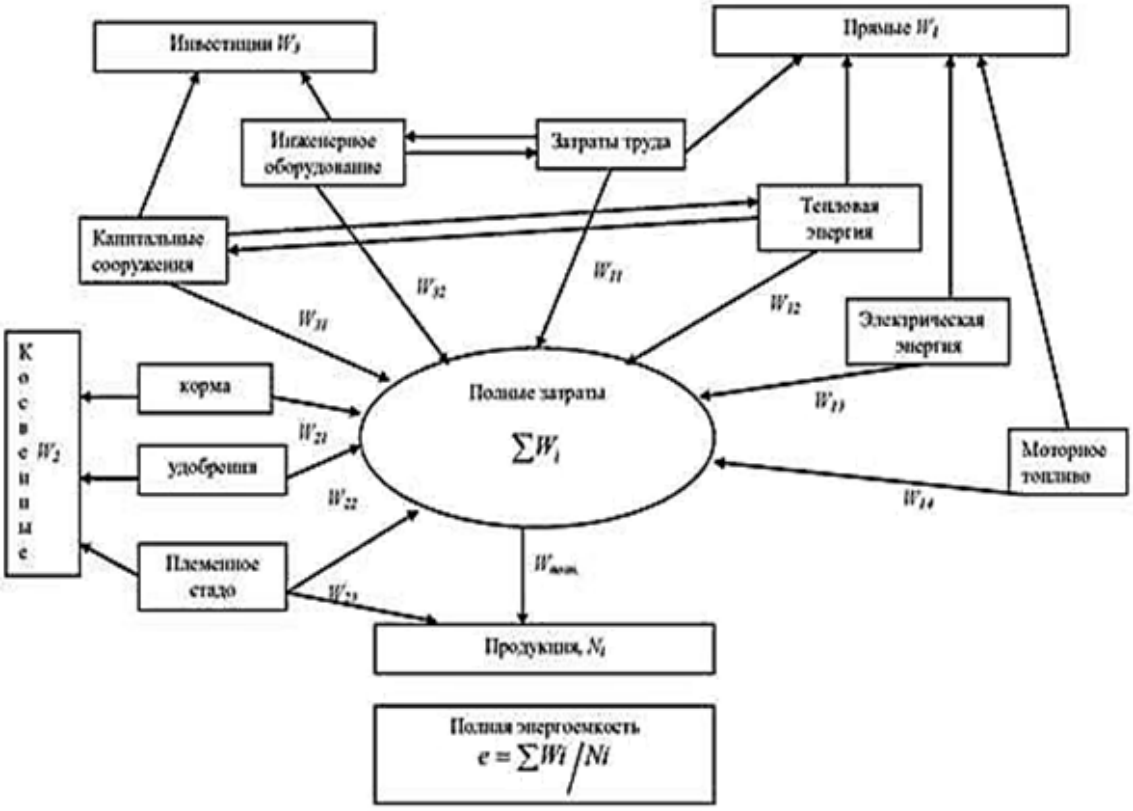


Рис. 1. Структура полных затрат энергии на производство продукции

Показатели полной энергоемкости включают: инвестиционную составляющую – в капитальные строения и сооружения; инженерное оборудование; косвенные затраты; прямые затраты – это затраты тепловой и электрической энергии, моторного топлива непосредственно в производстве, а также затраты труда. Наибольший удельный вес приходится на косвенные затраты: производство кормов, выращивание племенного поголовья, минеральные удобрения и другие работы, выполняемые за пределами исследуемого объекта.

Анализ затрат по видам энергоносителей (табл. 2), показывает, что наибольшая часть в прямых затратах производства сельскохозяйственной продукции приходится на электрическую и тепловую энергию.

На рис. 1 приведена структура полных затрат на производство продукции, где показаны составляющие всего процесса производства продукции и их взаимное влияние. Минимизация или снижение показателя полной энергоемкости может осуществляться двумя вариантами: 1 – сокращение всех составляющих затрат энергии (числитель); 2 – увеличение производства продукции, т.е. повышение продуктивности биообъектов (знаменатель).

Важно определить взаимное влияние каждого фактора, входящего в показатель энергоемкости, установить зависимости между отдельными составляющими структуры полных затрат энергии. А именно – технологические особенности, этапы развития промышленных технологий, климатические факторы, характеристики строительных материалов. Инвестиционная составляющая включает затраты энергии на инженерное оборудование и капитальное строительство (здания, сооружения).

Техническая оснащенность, т.е. технологии и использование инженерного оборудования, влияют на величину затрат труда и прямых затрат тепловой и электрической энергии, энергии моторного топлива. Капитальные затраты, затраты энергии в здания и сооружения определяют затраты тепловой энергии на создание требуемых параметров микроклимата для биообъектов.

Инвестиционная составляющая энергозатрат в капитальные строения и ее влияние на показатели энергоемкости производства продукции. Каждый из указанных факторов поразному влияет на величину затрат энергии при производстве конечного продукта. Так, здания и сооружения переносят свою стоимость на конечный продукт в течение их нормированного срока службы (в среднем 20 лет), срок службы технологического оборудования (машины, оборудование) в среднем 5-10 лет, из чего рассчитывается годовая доля инвестиционных энергозатрат. Прямые затраты – электроэнергия, тепловая энергия и топливо мобильного транспорта, а также затраты труда, в зависимости от степени квалификации, определяются за цикл производства выпускаемой продукции или исследуемый период.

В составе прямых затрат наибольшая часть приходится на электрическую и тепловую энергию, которые обеспечивают работу технологического оборудования и заданные параметры микроклимата для биообъектов. Основная часть энергии в балансе прямых затрат в отопительный период расходуется на компенсацию тепловых потерь через ограждения. Расход тепловой энергии на этот процесс непосредственно зависит от теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий.

В данной работе сделана попытка определить затраты в энергетическом эквиваленте на утепление помещений, то есть улучшение тепловой характеристики, и сопоставить эти затраты с экономией тепловой энергии. Кроме того – определить наиболее эффективное направление вложений средств на улучшение теплотехнических характеристик ограждений.

В качестве исходной информации при определении затрат энергии на здания и сооружения использовались данные типовых проектов, применяемых в животноводстве, их размеры, теплотехнические характеристики ограждающих конструкций для различных климатических условий. Наиболее распространенными материалами ограждающих конструкций зданий являются кирпич, бетон, в южных зонах шиферные панели. Типы полов и материалы на их строительство могут быть асфальтовые, цементно-бетонные, глинобитные с последующим покрытием цементом или бетоном. Для кровли сельскохозяйственных объектов используются керамзитобетонные плиты, минераловатные плиты, рубероид, толь, шифер и прочие материалы. Соотношение потерь теплоты через ограждающие конструкции распределяется примерно так: 55-60% – перекрытие, 40 – 30% – стены, 5-10% – пол, двери, ворота производственного помещения [6, 7].

Для определения затрат энергии в строительство производственных зданий и установление возможных границ изменения показателей было выбрано типовое производственное помещение размером 72х12 м, с высотой стен 2,7 м, в коньке 5,4 м, при кладке кирпичей в 1 – 3 кирпича. Объем здания составляет 3500 м^3, площадь – 864 м^2. Толщина стен (250 – 750 мм) принята в соответствии с размерами кирпича. Для кровли приняты вышеуказанные материалы и их сочетания, с учетом характеристик теплопроводности. Полы при расчетах принимались четырехслойные утепленные, с низкими показателями теплопроводности. Такие полы позволяют свести тепловые потери через пол в помещении к минимуму (менее 5% в общем балансе).

Все указанные составляющие определены в используемых единицах измерения, а именно Гкал, кВт·ч, чел.-час. В последующем все эти показатели суммировались на единицу продукции в единых энергетических единицах – ГДж.

Определение затрат энергии на сооружение стен, кровли, полов. В расчетах определены следующие показатели.

1. Необходимое количество строительного материала и энергетические затраты на его производство:

$$E_м = m_i \, . \, e_i^1 \, , \qquad (1)$$

где m_i – масса i-го материала, сырья, используемого в данном строительстве; e_i – удельная энергоемкость производства единицы массы i-го материала.

2. Затраты энергии на перевозку строительного материала до стройплощадки, а также перевозку сырья для производства требуемого количества строительного материала (глины и песка для производства кирпичей и т.д.). Эти показатели включают также затраты на создание и эксплуатацию транспортных средств [2]. Для машин общего пользования:

$$E_m = t_i \,.\, m_i \,.\, e_i \,, \qquad (2)$$

где t_i – время использования i-го вида машины, ч; m_i – масса i-го вида машины, кг; e_i – часовой энергетический эквивалент, 0,0143 МДж/(кг·ч).

Расход автомобильного топлива определен исходя из дальности пробега и линейного расход топлива.

$$E_{np} = Q_i / q_i \; l \; e_a \,, \qquad (3)$$

где Q_i – масса груза, т; q_i – грузоподъемность транспорта, т; l – протяженность перевозок, км; e_a – линейная норма расхода топлива, т/км.

3. Затраты энергии, соответствующие используемым в процессе производства трудовым ресурсам на добычу и доставку сырья к предприятию, производящему строительные материалы, на производство строительного материала, на сооружение производственных помещений [8].

$$E_{mp} = \sum_i N_i \cdot e_i \,, \qquad (4)$$

где N_i – трудозатраты в соответствующем производстве, чел.-ч; e_i – энергетический эквивалент трудовых ресурсов i-го вида, МДж/чел.-ч.

Итоговые показатели затрат энергии определены в МДж (ГДж). При их расчете приняты следующие энергетические эквиваленты: автобензин 1 л = 52 МДж; электроэнергия 1 кВт·ч = 12 МДж; тепловая энергия 1 Мкал = 5,13МДж; условное топливо 1 кг = 29,4 МДж. Все эквиваленты приняты также с учетом прошлых затрат - на добычу, переработку, преобразование.

А. Затраты энергии на сооружение стен определены:

- исходя из требуемого количество кирпичей на строительство здания, с учетом стандартных размеров кирпича, габаритных размеров здания и предполагаемой толщины стен, а также удельных затрат энергии на производство кирпича [8];

- с учетом доставки кирпича и других строительных материалов до стройплощадки, включая затраты на создание автотранспорта (с учетом срока службы машины), количества ездок, среднего радиуса доставки и норм расхода жидкого топлива (л/100 км);

- с учетом затрат труда на строительство объекта, производство и доставку кирпича, доставку сырья к кирпичным заводам, согласно типовым проектам и удельным энергетическим эквивалентам.

Расчет затрат энергии на возведение стен приведен в табл. 3.

Суммарные затраты на возведение трех вариантов толщины стен составляют соответственно 933 ГДж, 1870 и 2804 ГДж.

Б. Затраты энергии на возведение кровли. Рассмотрены 2 варианта кровли:

1-й вариант (А) – многослойные покрытия: асбестоцементные листы, бакелизированная фанера, рубероид на битуме и минераловатные плиты;

Таблица 3

Расчет затрат энергоносителей на возведение стен

Показатель	Толщина стен, мм		
	250	500	750
Производство строительных материалов:			
количество кирпичей, тыс. шт.	60	120	180
удельные затраты на производство кирпичей,			
кг у.т. / 1000 шт.	256,4	256,4	256,4
ГДж/1000 шт.	7,34	7,54	7,54
Суммарные затраты на производство			
строительных материалов, т у.т.	15,4	30,8	46,2
ГДж	452	905	1357
Транспортные затраты:			
расход топлива, кг у.т.	348	761	1142
ГДж	10,2	22,4	33,6
В создание автотранспорта, ГДж	0,03	0,09	0,2
Доставка сырья к заводам стройматериалов, ГДж	10,23	22,5	33,8
Трудозатраты:			
на возведение стен, чел.-дней	708	1516	2124
ГДж	283	566	850
на производство и доставку кирпичей, ГДж	136	272	407
на добычу и доставку сырья кирпичному заводу, ГДж	41	82	122
Суммарные затраты на возведение стен, ГДж	933	1870	2804

Таблица 4

Затраты энергии на возведение кровли

Показатель	Вариант А			Вариант Б		
	Кол-во	Удельные затраты	Общие затраты	Кол-во	Удельные затраты	Общие затраты
Производство:						
Шифер,	470	на 1000 шт.	312 МДж			
электроэнергия	листов	55,5 кВт·ч	313 МДж			
тепловая энергия		664 МДж	**625 МДж**			
Всего **шифер**						
Фанера	7 м^3	на м^3				
		150 кВт·ч				
		100 кг у.т.	12,6 ГДж			
		450 Мкал	20,5 ГДж			
Всего **Фанера**			13,2 ГДж			
Плиты:						
Минераловатные			**46,3 ГДж**			
Железобетонные				62 шт. ×	435	**(101 Гкал)**
			50 ГДж	3,75 м^3 =	Мкал /м^3	**425 ГДж**
				232,5 м^3		
Рубероид на битуме						**50 ГДж**
Материалы потолоч-				35 м^3	150	
ного перекрытия			**50 ГДж**		кВт·ч/м^3	**18,5 ГДж**
Доставка			**30,7 ГДж**			**35,6 ГДж**
Затраты труда			**43 ГДж**			**43 ГДж**
Всего			**221**			
Б - без перекрытия						**554 ГДж**
В - с перекрытием						**591 ГДж**

Таблица 5

Составляющие затрат энергии на строительство помещений, ГДж

Толщина стены, мм	Стена, всего/м^2	Кровля, всего/м^2 кровли			Пол	Итого		
		Вариант				Вариант		
		А	Б	В		А	Б	В
250	933/2,2	221/0,24	554/0,59	591/0,63	285	1439	1772	1809
375	1399/3,3	221	554	591	285	1905	2238	2275
500	1870/4,5	221	554	591	285	2376	2709	2746
625	2336/5,6	221	554	591	285	2842	3275	3212
750	2804/6,7	221	554	591	285	3310	3643	3680

2-й вариант (Б) – железобетонные плиты + рубероид на битуме. Для варианта (Б) рассмотрены два типа обустройства кровли, без потолочного перекрытия и с перекрытием (В), т.е. с дополнительным утеплением. Энергозатраты определялись по той же схеме, что и при строительстве стен. Расчеты сведены в табл. 4.

Общие затраты для варианта (А) составили 221 ГДж, с использованием железобетонных конструкций (Б) 554 ГДж и (В) 591 ГДж (с обустройством перекрытия).

Энергозатраты на устройство полов определены для наиболее распространенных типов полов (четырехслойных) из следующих материалов: 1-й верхний слой – цементно-песчаное покрытие, 2-й – бетон, 3-й – песчаная подсыпка, 4-й слой – щебенка. Наиболее энергоемким процессом является производство и укладка бетонного слоя полов, где затраты на рассматриваемую площадь составляют примерно 142 ГДж. Обустройство остальных трех слоев пола, в соответствии с расчетами, составляет порядка 70 ГДж. На доставку исходного материала и автотранспорт – 30 ГДж, затраты труда на производство исходного материала – 15 ГДж. Укладка полов – примерно 28 ГДж. Суммарные энергозатраты на обустройство полов составляют примерно 285 ГДж.

Результаты расчета затрат энергии и энергоносителей на возведение помещения сведены в табл. 5. Удельные показатели энергии в строительство помещения, на 1 м^2 площади и 1 м^3 объема помещения приведены в табл. 6.

Таблица 6

Удельные затраты энергии на строительство помещений, ГДж

Толщина стены, мм	На 1 м² площади			На 1 м³ объема		
	Вариант			Вариант		
	А	Б	В	А	Б	В
250	1,7	2,1	2,1	0,46	0,56	0,6
375	2,2	2,6	2,6	0,61	0,71	0,72
500	2,75	3,1	3,2	0,76	0,86	0,87
625	3,3	3,7	3,7	0,9	1,0	1,0
750	3,8	4,2	4,3	1,1	1,2	1,2

Доля затрат энергии, вложенных в сооружение стен, в итоговых показателях колеблется от 52 до 85% в зависимости от их толщины и выбранного варианта кровли. Доля энергозатрат на сооружение кровли составляет от 7 до 33%. Удельные затраты на строительство 1 м² помещения для принятых условий отличаются в 2-2,3 раза, на строительство 1 кубометра здания в 2,0-2,4 раза. Удельная тепловая характеристика q = 0,5, применяемая при строительстве сельскохозяйственных помещений, соответствует толщине стен, равной примерно 350-400 мм. Для этих условий энергозатраты в сооружение стен составляют 70-73% от суммарных (табл. 5) и на 1 м² площади помещения равны – 3,3 ГДж.

Затраты энергии в обустройство кровли составляют 12 – 26% в зависимости от выбранного варианта. На 1 м² кровли приходится 0,24 – 0,63 ГДж, значительно ниже, чем в 1 м² стен. Следовательно, улучшение тепловых характеристик кровли менее затратное. Дополнительные вложения в утепление перекрытий способствуют сокращению потерь в целом по помещению, так как доля потерь через перекрытия составляет 50% и более.

Потери теплоты для рассматриваемых ограждающих конструкций. Для предлагаемых вариантов ограждающих конструкций потери определяются следующим образом:

$$Q\ огр = q \cdot V \cdot (t\ вн - tн),\ \text{ккал/ч}, \qquad (5)$$

где q – удельная тепловая характеристика здания, ккал/м³ ч ⁰С; V – объем помещения, м³ ; tвн , tн – температура внутреннего и наружного воздуха.

Суммарные тепловые потери через ограждающие конструкции определяются по формуле:

$$Q=F/R.\ n\ (t_в - t_н), \qquad (6)$$

где F – площадь ограждающих конструкций, м²; *R* – термическое сопротивление материала; *n* – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху.

Термическое сопротивление однородной или отдельного слоя многослойной конструкции определяется по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda},\ \text{м}^2\ \text{час}\ ^\circ\text{С/ ккал}, \qquad (7)$$

Таблица 7

Определение тепловых потерь здания

Показатель	δ, м	λ ккал/м·ч°С	*R*, м²ч°С/ккал	*Q*, Мкал/ч
Тепловые потери через стены				
Толщина стен (кол-во кирпичей):				
1	0,25		0,357	58,8
1,5	0,375		0,536	39,2
2	0,5	0,7	0,714	29,4
2,5	0,625		0,893	23,5
3	0,75		1,07	19,6
Тепловые потери через кровлю				
Строительные материалы:				
Вариант А				
Асбоцементные плиты	0,01	0,4	0,025	
Бакелизированная фанера	0,005	0,5	0,01	
Рубероид	0,003	0,15	0,02	
Минераловатные плиты	0,06	0,05	1,2	
Итого вариант А			1,255	37,3

Окончание табл. 7

Показатель	δ, м	λ ккал/м·ч°С	*R*, м²ч°С/ккал	*Q*, Мкал/ч
Вариант Б				
Железобетонные плиты	0,21	1,65	0,13	
с гидроизоляцией	0,003	0,15	0,02	
Итого вариант Б			0,15	260
Вариант В				
Железобетонные плиты	0,21	1,65		
с гидроизоляцией	0,03	0,15	0,15	
Хвойные породы деревьев	0,04	0,25	0,16	
Минераловатные плиты	0,06	0,05	1,2	
Итого вариант В			1,51	31

Таблица 8

Удельные тепловые потери здания, Мкал/ч

Толщина стены, м	Теплопотери через стены	Суммарные теплопотери здания			Удельная тепловая характеристика, Ккал/м³ч °С		
		I (А)	II(Б)	III(В)	I(А)	II(Б)	III(В)
0,25	58,8	96,1	318,8	89,8	0,61	2,03	0,57
0,375	39,2	76,5	299,2	70,2	0,49	1,9	0,45
0,5	29,4	66,7	289,4	60,4	0,42	1,8	0,38
0,625	23,5	60,8	283,5	54,5	0,39	1,8	0,35
0,75	19,6	56,9	279,6	50,6	0,36	1,78	0,32

Примечание. Теплопотери через кровлю: для вариантов А = 37,3; Б = 260; В = 31,0 для всех величин толщины стен.

где δ – толщина однородной ограждающей конструкции или отдельного слоя в многослойной конструкции, м; λ – коэффициент теплопроводности материала.

Удельная тепловая характеристика:

$$q = Q / V (t_в – t_н),\ \text{ккал/м}^3 \text{ час } ^\circ\text{С}. \qquad (8)$$

Для рассматриваемых вариантов строительных конструкций, где площадь стен – 420 м²; площадь кровли – 936 м²; объем здания – 2946,71 м³, согласно методическим положениям [6, 7, 9] определены тепловые потери.

Исходные данные и результаты расчета тепловых потерь рассматриваемого помещения и расчетных показателей удельной тепловой характеристики для вариантов А, Б и В приведены в табл. 7 и 8.

Анализ энергетических показателей для рассматриваемых вариантов. При нормативном показателе тепловой характеристики q = 0,5, что в наших расчетах соответствует толщине стен 0,375 м, тепловые потери здания через стены и через кровлю близки по величине. При этом, следует отметить, что затраты энергии на возведение 1 м² стены составляют 3,3 ГДж, а на 1 м² кровли затрачивается всего 0,24-0,63 ГДж/м² (табл. 5).

Самый неблагоприятный вариант кровли – вариант Б (железобетонные плиты с гидроизоляцией). Этот вариант приводит к самым большим потерям теплоты через кровлю – до 260 Мкал·ч. Многослойный вариант (А) – 37,3 Мкал в час. Вариант Б, дополненный минераловатным утеплителем и деревом, приводит к снижению потерь с 260 до 31 Мкал·ч (вариант В).

Анализ расчетных данных показывает, что с ростом единовременных энергозатрат на строительные конструкции производственных зданий величина удельных тепловых характеристик снижается. Энергозатраты увеличиваются пропорционально толщине стен здания. Так, для стен от 250 до 750 мм, с затратами от 0,46 до 1,05 ГДж на 1 м³ удельная тепловая характеристика уменьшилась с 2,5 до 1,5 кДж на м³·ч (табл. 9, вариант А). Энергетические показатели затрат для трех вариантов планировки помещений и для разных вариантов толщины стен, единовременные и удельные за 1 час времени, даны в табл. 9.

Итак, удельные затраты вложенной энергии (Э, ГДж на 1 м³) возрастают 2 – 2,3 раза; потери тепла (Q, ГДж/ч) снижаются в 1,7 – 1,8 раза; удельная тепловая характеристика здания (q, кДж/м³.ч °С (ккал/м³.ч °С)) снижается соответственно в 1,7; 1,24; 1,74 в зависимости от варианта

Таблица 9

Энергетические показатели на возведение зданий в зависимости от конструктивных параметров

Показатель	Толщина стены, мм				
	250	**375**	**500**	**625**	**750**
Вариант А					
Э, ГДж/м^3	0,46	0,61	0,76	0,9	1,05
э, кДж/м^3/ч	2,6	3,5	4,3	5,1	6,3
Q, ГДж/ч	0,4	0,32	0,28	0,26	0,24
q, кДж/м^3.ч^{o}С	2,5	2,0	1,7	1,6	1,5
(ккал/м^3.ч ^{o}С)	0,61	0,49	0,42	0,39	0,36
Вариант Б					
Э, ГДж/м^3	0,56	0,71	0,86	1,0	1,16
э, кДж/м^3/ч	3,2	4,0	4,9	5,7	6,8
Q, ГДж/ч	1,34	1,26	1,22	1,19	1,17
q, кДж/м^3.ч^{o}С	8,5	8,0	7,6	7,5	7,4
(ккал/м^3.ч ^{o}С)	2,03	1,9	1,8	1,8	1,78
Вариант В					
Э, ГДж/м^3	0,6	0,72	0,87	1,0	1,17
э, кДж/м^3/ч	3,4	4,1	5,0	5,7	6,8
Q, ГДж/ч	0,38	0,3	0,25	0,23	0,21
q, кДж/м^3.ч^{o}С	2,4	1,9	1,6	1,5	1,4
(ккал/м^3.ч ^{o}С)	0,57	0,45	0,38	0,35	0,32

Примечание.

Э [ГДж/м^3]– удельные затраты на возведение здания, приведенные к м^3;

э [кДж/м^3/ч] – удельные затраты, приведенные к 1 м^3 в час за период эксплуатации здания (20 лет × 8760 часов);

Q [ГДж/ч] – тепловые потери здания;

q [кДж/м^3.ч^{0}С (ккал/м^3.ч ^{0}С)] – удельная тепловая характеристика здания.

ограждающих конструкций. Самым энергоэкономным является вариант В, где показатель равен 1,4 кДж/м^3.ч^{o}С, или 0,32 ккал/м^3.ч^{o}С – вариант с железобетонными конструкциями и дополнительным утеплением.

Проведенные исследования показали, что при равных затратах энергии, вложенных в улучшение тепловых характеристик зданий, удельные тепловые характеристики зданий отличаются в несколько раз. Так, для зданий с толщиной стен 375 мм удельные затраты вложенной энергии (э, кДж/м^3.ч) во всех вариантах (А, Б, В) меняются незначительно (3,5; 4,0; 4,1). В то же время удельная тепловая характеристика (q, кДж/м^3.ч^{o}С) отличается соответственно 2,0; 8,0; 1,9.

Наибольшие потери в варианте (Б), где использованы перекрытия из железобетонных конструкций. Использование железобетонных изделий при строительстве зданий для содержания биообъектов является оправданным, так как животноводческие и птицеводческие помещения являются объектами с агрессивной средой. Поддержание санитарных норм, проведение дезинфекционной обработки в помещениях из железобетонных конструкций не вызывает особых трудностей, чем объясняется их широкое использование при строительстве животноводческих и птицеводческих объектов. Следовательно, использование железобетонной кровли, которая является удобным материалом в помещениях с агрессивной средой, необходимо сочетать с дополнительными, современными утеплителями.

Для сравнения: удельная теплопроводность для кирпичей 0,45-0,75 Вт/ (м·^{0}К), дерева 0,14 – 0,3, железобетона 1,7-1,92 Вт/ (м·^{0}К). Так, по сравнению с кирпичом теплопроводность железобетона больше в 2,5 раза (1,65 и 0,65 ккал/м^{o}С), по сравнению с минераловатными плитами на синтетическом связующем (0,042 ккал/м^{o}С) или на битумном связующем (0,062 ккал/м^{o}С) примерно в 25-40 раз. В помещениях с железобетонными конструкциями без дополнительного утепления происходит значительный перерасход энергии.

Определение расхода тепловой энергии для помещения с птицей. Основными составляющими теплового баланса помещений являются тепловыделения животных $Q_{жив}$; потери через ограждающие конструкции $Q_{п.\ ч.\ огр}$; расход теплоты на подогрев приточного, вентиляционного воздуха $Q_{вент.}$. С учетом этих составляющих уравнение теплового баланса

Таблица 10

Удельные затраты тепловой энергии в помещениях с птицей при различных значениях объемной плотности посадки (v, м³/гол.), удельной тепловой характеристики зданий и температуры внутреннего воздуха

Объемная плотность посадки *v*, м³/гол.	Удельная тепловая характеристика, q, ккал/м³ч·°С (кДж м³ч·°С)	Температура внутреннего воздуха, $t_{вн}$, °С	
		+16 Мкал/гол. год (МДж/гол. год)	+13 Мкал/гол. год (МДж/гол. год)
0,23	0,5 (2,18)	11,7 (49)	5,4 (22,6)
	0,32 (1.4)	7,2(30,2)	4,2 (8,4)
0,8	0,5 (2,18)	22,2 (93)	14,7 (61,6)
	0,32 (1.4)	11,4 (47,8)	7,9 (33,1)
1,2	0,5 (2,18)	36,2 (152)	27,3 (114,4)
	0,32 (1.4)	20,6 (86,3)	13,7 (57,4)

Таблица 11

Определение сроков компенсации энергетических затрат в улучшение теплотехнических характеристик производственных помещений

Q, ккал/м³·ч·°С, ($t_{вн}$,°*C*)	Затраты в здание, ГДж		Затраты энергии в поддержание микроклимата, *Э*, ГДж					
	Общие (3500 м³)	на 1 м³	при *v* = 0,23 м³/гол.		при *v* = 0,8 м³/гол.		при *v* = 1,2 м³/гол.	
			на 1 гол.	по птичнику	на 1 гол.	по птичнику	на 1 гол.	по птичнику
q = 0,5 (16 °С)	2135	0,61	49,7	745	93	409	152	456
q = 0,32 (13 °С)	4095	1,17	8,4	126	33,1	146	57,4	172
ΔЭ	1960			619		263		284
«Энергоокупаемость», лет				3,2		7,2		7,0

для птицеводческих помещений относительно *дополнительной подачи* теплоты, можно записать следующим образом:

$$Q_{отп} = Q_{п.\,ч.\,огр.} + Q_{вент.\,возд.} - Q_{жив.} \qquad (9)$$

Теплопотери через ограждения зависят от теплопроводности используемого строительного материала, объема здания, разности температур внутреннего и наружного воздуха и определяются по формуле (5).

Расход тепловой энергии на подогрев приточного воздуха зависит от норм расхода воздуха на единицу массы биообъекта, теплоемкости воздуха и разницы температур наружного и внутреннего воздуха.

$$Q_{вент.\,возд} = c \cdot L_{min} \cdot (t_{вн} - t_{н}), \qquad (10)$$

где с – теплоемкость воздуха, ккал/кг °С; L_{min} – минимально необходимое количество свежего воздуха в отопительный период на 1 голову, кг/гол.ч.

Для сравнения затрат энергии, вложенных в утепление зданий (помещений), и ежегодных затрат на поддержания микроклимата, были проведены расчеты потребности тепловой энергии для птичников с различными показателями объемной плотности посадки – 0,23; 0,8 и 1,2 м³/голову. Расчеты проводились для двух значений удельной тепловой характеристики зданий: 0,5 и 0,32 ккал/м³·ч·°С и двух значений внутренней температуры: 16 и 13°С. Расчеты сведены в табл. 10.

Для помещений с удельной тепловой характеристикой q = 0,5 ккал/м³ч·°С (2,1 кДж/м³ч°С) потребности в тепловой энергии для помещений с птицей при объемной плотности посадки соответственно 0,23; 0,8; 1,2 м³/голову и поддержании температуры внутреннего воздуха $t_{вн}$ =16°С составляют – 11,7; 22,2; 36,2 Мкал на 1 голову в год. Для помещений с q = 0,32 ккал/м³ч·°С (1,34 кДж/м³ч°С) соответствующие показатели – 7,2; 11,4; 20,6 Мкал на 1 голову в год.

Для температуры внутреннего воздуха 13°С в птичнике определяемые показатели составляют: 5,4; 14,7; 27,3 Мкал на 1 голову в год (при q = 0,5 ккал/м^{3}ч·°С (или 2,1 кДж/м^{3}ч°С)) и 4,2; 7,9; 13,7 Мкал на 1 голову в год, при q = 0,32 ккал/м^{3}ч·°С (или 1,34 кДж/м^{3}ч°С).

Как показали расчеты, при снижении температуры внутреннего воздуха всего на 3 °С затраты тепловой энергии на 1 голову птицы снижаются примерно в 2 раза. При улучшении теплотехнических характеристик строительных конструкций удельные затраты теплоты снижаются на 30 – 40%. В табл. 11 приведены результаты расчета энергетических затрат на улучшение теплотехнических характеристик производственных помещений, а также расчет суммарных затрат на создание температурного режима в помещениях с птицей с разной объемной плотностью посадки.

Энергетические затраты рассматриваемого помещения на улучшение теплотехнических показателей при q = 0,32 ккал/м^{3}ч·°С составляют 4095 ГДж. При q= 0,5 ккал/м^{3}ч·°С затраты энергии равны 2135 ГДж, при этом дополнительные вложения энергетических ресурсов ΔЭ, составляют 1960 ГДж. Улучшение тепловых характеристик помещения обеспечивает снижение затрат тепловой энергии на поддержание микроклимата.

В табл. 11 приведены показатели затрат энергии в птичнике с разным количеством голов птицы, определены также ΔЭ, ГДж, для каждого птичника и сроки компенсации энергетических затрат для каждого варианта. Так, при объемной плотности посадки птицы (менее 0,23 м^3 на 1 голову птицы) утепление птичника в энергетических эквивалентах будет компенсировано примерно за 3 года. При больших объемах помещений, приходящихся на 1 голову птицы, сроки компенсации энергетических затрат будут увеличиваться.

Выводы

Вопросы энергосбережения в сельскохозяйственном производстве необходимо решать комплексно, с учетом структуры полной энергоемкости.

В каждой климатической зоне необходим расчет вложенных средств в утепление (в улучшение тепловых характеристик) производственных помещений и соответствующих затрат на поддержание микроклимата.

С помощью современных утеплителей возможно добиться снижения показателя удельной тепловой характеристики помещений, где находятся животные или птица, тем самым сократить затраты на отопление.

Снижение температуры в помещениях до нижних допустимых зоотехнических пределов (13°С) при низких температурах наружного воздуха и меньших значениях удельной тепловой характеристики помещений позволит снизить расход теплоты в указанный период в 2-3 раза.

Литература

1. Методические рекомендации по определению энергоемкости производства основных видов сельскохозяйственной продукции. М.: ВИЭСХ, 1984. – 44 с.
2. Временная методика энергетического анализа в сельском хозяйстве. Минск: ВАСХНИЛ, ЦНИИМЭСХ НЗ СССР, 1991. – 126 с.
3. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. М.: Россельхозакадемия, 1995. – 95 с.
4. Практическая методика определения энергозатрат и энергоемкости производства продукции, а также потребностей в энергоресурсах. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2001. – 56 с.
5. *Маркелова Е.К., Тихомиров А.В*. Методические положения сравнительного энергетического анализа новых технологий и технических средств объектов сельскохозяйственного производства // Энергосберегающие технологии и технические средства в тепловых процессах сельскохозяйственного производства. Научные труды. М.: ВИЭСХ, 1998. - Т. 84. – С. 92-98.
6. *Растригин В.Н.* Основы электрификации тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве. М.: Агропромиздат, 1988. – 255 с.
7. Рекомендации по расчету, проектированию и применению систем электротеплоснабжения животноводческих ферм и комплексов / МСХ СССР. Запорожье, 1985. – 80 с.
8. Методические рекомендации по нормированию расхода котельно-печного топлива, тепловой и электрической энергии при производстве кирпича, извести и асфальтобетона: Отчет о НИР. М.: ВПТИ Агрострой, 1989.
9. Строительная теплотехника СниП П-3-79, М.: Госстрой России, 2001.

Сведения об авторе:

Маркелова Екатерина Константиновна – канд. техн. наук, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия, e-mail: Markelova_ek@mail.ru

ENERGY COSTS IN THE PRODUCTION OF LIVESTOCK PRODUCTION

Ye. Markelova

The problems of energy consumption in agricultural industry are considered, the structure of complete costs of energy in case of production of agricultural products where all components of production process, including investment, indirect and direct costs on ensuring engineering procedure is given. Indicators of complete power consumption of main types of products, in GJ on 1 ton of milk, 1 ton of pork, 1000 pieces of eggs are given; its structures by types of energy carriers. The option for the possible influence of change in the parameters of components of complete power consumption, for example capital costs, at a size of direct costs is studied. In energy equivalents options of winterizations of the protecting structures of production rooms are considered (walls, a floor, overlappings). Options of thermal characteristics change of the protecting designs and corresponding changes of heat energy costs in case of maintenance are calculated while maintaining the required temperature in the room with biological objects. Indicators of costs of heat energy for maintenance of required parameters of a microclimate in case of different values of the specific thermal characteristic of the buildings are determined, as well as the air temperatures in production rooms, and at the different density of bird landing.

Keywords: power consumption, complete power consumption, products of agricultural production, requirement and costs of energy in agricultural production, the energy carriers constituting energy costs, energy equivalents, direct costs of energy, the specific thermal characteristic of the building.

References

1. Metodicheskie rekomendacii po opredeleniju jenergoemkosti proizvodstva osnovnyh vidov sel'skohozjajstvennoj produkcii [Methodical recommendations about determination of power consumption of production of main types of agricultural products]. Moscow, VIESH, 1984. – 44 ps.
2. Vremennaja metodika jenergeticheskogo analiza v sel'skom hozjajstve [A temporary technique of the energy analysis in agricultural industry]. Minsk: VASHNIL, TSNIIMESKH NZ of the USSR, 1991. – 126 ps.
3. Metodika jenergeticheskogo analiza tehnologicheskih processov v sel'sko-hozjajstvennom proizvodstve [A technique of the energy analysis of engineering procedures in agricultural production]. Moscow, Russian Academy of Agrarian Sciences, 1995. – 95 ps.
4. Prakticheskaja metodika opredelenija jenergozatrat i jenergoemkosti proizvodstva produkcii, a takzhe potrebnostej v jenergoresursah [Practical technique of determination of energy costs and power consumption of production, and also needs for energy resources]. Moscow, Rosinformagrotekh, 2001. – 56 ps.
5. Markelova E.K., Tikhomirov A.V. Metodicheskie polozhenija sravnitel'nogo jenergeticheskogo analiza novyh tehnologij i tehnicheskih sredstv obektov sel'skohozjajstvennogo proizvodstva [Methodical provisions of the comparative energy analysis of new technologies and technical means of objects of agricultural production], Energy-saving technologies and technical means in thermal processes of agricultural production. Scientific works. Vol. 84. Moscow, VIESH, 1998. P. 92-98.
6. Rastrigin V.N. Osnovy jelektrifikacii teplovyh processov v sel'skohozjajstvennom proizvodstve [Bases of electrification of thermal processes in agricultural production]. Moscow, Agropromizdat, 1988. – 255 ps.
7. Rekomendacii po raschetu, proektirovaniju i primeneniju sistem jelektro-teplosnabzhenija zhivotnovodcheskih ferm i kompleksov [Recommendations about calculation, designing and use of systems of electro-heat supply of livestock farms and complexes] / the Ministry of Agriculture of the USSR. – Zaporizhia, 1985. – 80 ps.
8. Metodicheskie rekomendacii po normirovaniju rashoda kotel'no-pechnogo topliva, teplovoj i jelektricheskoj jenergii pri proizvodstve kirpicha, izvesti i asfal'tobetona [Methodical recommendations about regulation of a consumption of boiler and oven fuel, a heat and electrical energy in case of production of a brick, lime and asphalt concrete]: Report on NIR. Moscow, VPTI Agrostroy, 1989.
9. Stroitel'naja teplotehnika SniP P-3-79 [Construction heating engineer Construction Norms and Regulations of P-3-79], Moscow, State Committee for Construction of Russia, 2001.

Author:

Ye. Markelova – Ph. D. (Engineering), All-Russia Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), Moscow, Russia.
e-mail: Markelova_ek@mail.ru

УДК 631.371:621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В АПК – ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.Ю. Уханова
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

В статье приводятся обоснования необходимости внедрения наилучших доступных технологий (НДТ) в сельскохозяйственное производство. Обоснована необходимость «широкого» взгляда на НДТ с точки зрения повышения энергоэффективности сельского хозяйства, повышения производительности труда, возможного снижения себестоимости производимой продукции, повышения ее конкурентоспособности. Описаны основные цели перехода на принципы НДТ с точки зрения «широкого» взгляда. Представлен потенциал энергосбережения при внедрении современных технологий. Обоснована необходимость нормирования энергопотребления на предприятиях сельскохозяйственного производства, оценки фактических затрат энергоресурсов с учетом актуальных норм. Приведен анализ причин, по которым многие сельскохозяйственные предприятия не могут на современном этапе проводить модернизацию производства. Перечислены мероприятия, которые необходимо учитывать предприятиям при проведении модернизации производства. Представлены возможные пути решения имеющихся проблем, в первую очередь – государственная поддержка. Приведен пример удачного внедрения современных технологий российского производства. Внедрение наилучших доступных технологий должно проводиться в том числе и на основе импортозамещения, а также с учетом Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. В 2017 году должны быть разработаны и выпущены справочники по наилучшим доступным технологиям для отраслей: интенсивное разведение свиней; интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы; убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства; производство продуктов питания; производство напитков, молока и молочной продукции. Уровень вредных выбросов в окружающую среду у данных отраслей высокий. Перечисленные отрасли являются также наиболее энергозатратными. Показана необходимость отрабатывать новые пути энергосбережения.

Ключевые слова: *наилучшие доступные технологии в сельском хозяйстве, энергоэффективность сельскохозяйственного производства.*

Введение. Д. Медведев: «Внедрение принципа наилучших доступных технологий позволяет улучшить экологическую ситуацию, обновить основные фонды, создать энергоэффективные производственные мощности, решить задачи импортозамещения и повышения конкурентоспособности и увеличить количество высокопроизводительных рабочих мест» [1].

Наилучшие доступные технологии (НДТ) – технологии производства продукции, в том числе и сельскохозяйственной, которые реализуются, основываясь на современных достижениях науки и техники. Данные технологии должны позволять достигать целей увеличения производства продукции, роста производительности труда, повышения энергоэффективности и снижения энергоемкости продукции, охраны окружающей среды (в соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 года «О внесении изменений в ФЗ «Об охране окружающей среды и отдельные законодательные акты Российской Федерации»).

На сегодня сельскохозяйственное производство России во многом представляет собой предприятия, использующие устаревшее низкоэффективное оборудование и технологии. Далеко не все хозяйства решают вопросы технологического переоснащения производства. Это связано с комплексом проблем, и в первую очередь с недостатком финансовых средств для модернизации производства, реализации новых энергоэффективных технологий, систем и средств энергообеспечения, внедрения новой техники и оборудования.

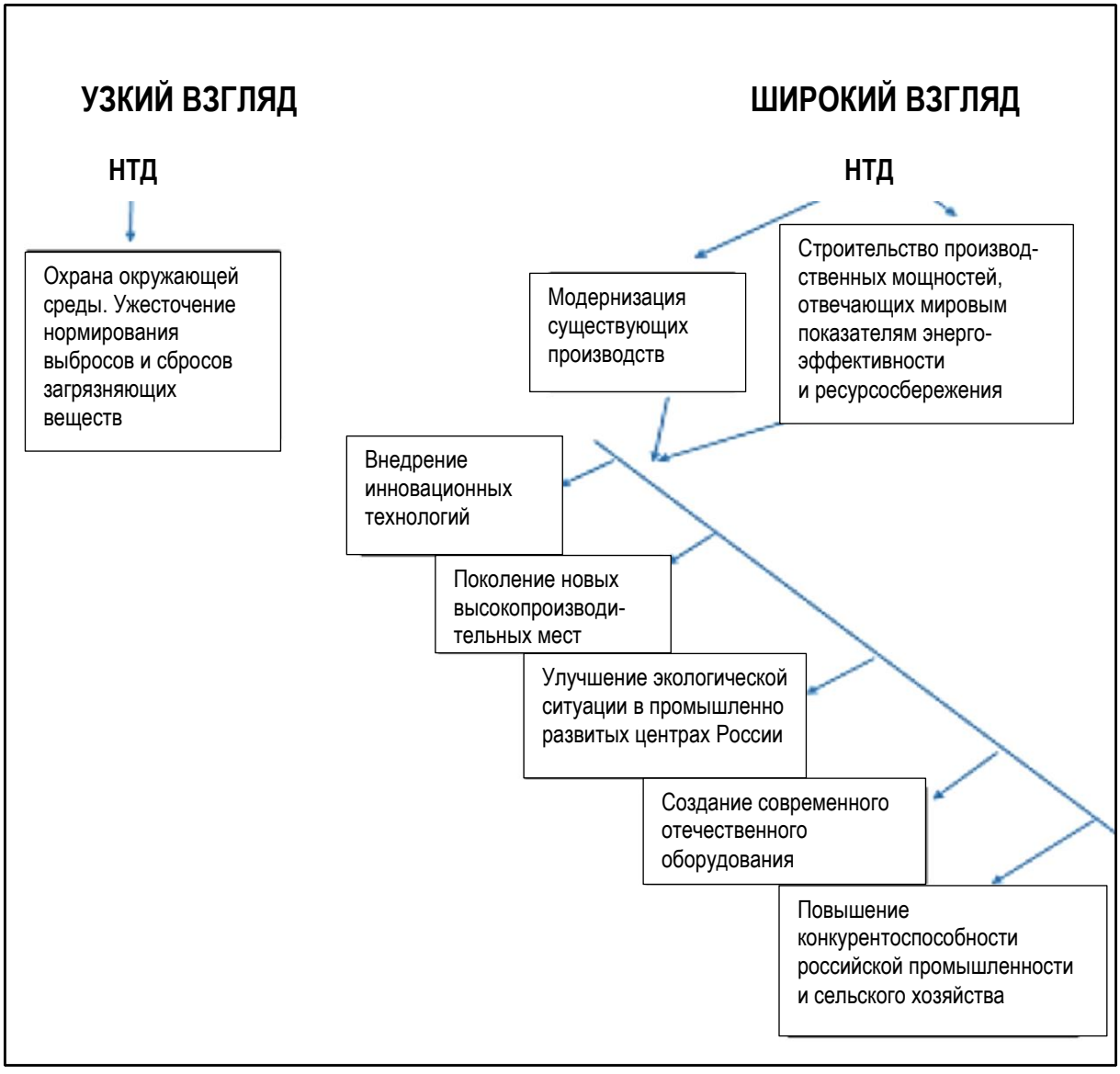


Рис. 1. Цели перехода на принципы НДТ

По данным, представленным Росинформагротех, цели перехода на принципы НДТ представлены на рис. 1 [2].

Имеются разные взгляды на разработку и реализацию НДТ, как видно из рис. 1, узкий взгляд преследует выполнение только одной, хотя и очень важной задачи – защиты окружающей среды. Широкий взгляд позволяет комплексно решать задачи роста производства продукции, охраны окружающей среды, повышения производительности труда, энергоэффективности производства.

Системы и средства энергообеспечения предприятий – необходимое и важнейшее звено функционирования производства, так как оно обеспечивает непрерывность производства и технологических процессов, снижение вредного влияния на окружающую среду, рост производства продукции, повышение производительности труда, снижение себестоимости производимой продукции.

Необходимость развития и модернизации систем энергоснабжения предприятий сельскохозяйственного производства обусловлена сегодня такими факторами, как необходимость увеличения объемов производимой продукции, согласно программам импортозамещения и Доктрине продовольственной безопасности страны, программам развития сельского хозяйства до 2020 года; постоянный рост тарифов на энергоносители; высокий уровень износа сетей и энергетического оборудования [3].

В этой связи для повышения эффективности необходимо оптимизировать энергохозяйства

Таблица 1

Потенциал энергосбережения от внедрения НДТ

Отрасль экономики	Окупаемые НДТ (рассмотренные НДТ) при сроке окупаемости 5-7 лет по данным Росстата, шт.	Снижение удельного потребления при внедрении НДТ
ЖКХ	5(5)	-22%
Электроэнергетика	18(48)	-20%
Сельское хозяйство	8(10)	-49%

предприятий. В соответствии с положениями Постановления Правительства РФ от 23 декабря 2014 года № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликовании информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» на 2017 год запланирован выпуск справочников по наиболее технологичным отраслям сельского хозяйства, к которым можно отнести [4]:

- интенсивное разведение свиней;
- интенсивное разведение сельскохозяйственной птицы;
- убой животных на мясокомбинатах, мясохладобойнях, побочные продукты животноводства;
- производство продуктов питания;
- производство напитков, молока и молочной продукции.

Для ускоренного проведения модернизации и перехода на принципы НДТ отраслям сельского хозяйства требуется государственная поддержка. Ее величина формируется за счет инвестиций, необходимых для ускорения темпов внедрения НДТ. Для экономики в целом государственная поддержка может составить 2,88 трлн. руб. до 2020 г., для сельского хозяйства может составить порядка 15%.

Проведение модернизации должно опираться на политику импортозамещения оборудования [5].

В таблице 1 представлены данные по потенциалу энергосбережения от внедрения энергоэффективных технологий НДТ по данным Министерства энергетики РФ [6].

Как видно из таблицы 1, потенциал энергосбережения от внедрения НДТ, в том числе на основе импортозамещения, достаточно большой – достигает 49%. По данным Министерства энергетики Российской Федерации [6], потенциал энергосбережения и повышения энергетической эффективности в сельскохозяйственном секторе может достигать 2 млн т у.т., потенциал снижения удельной энергоемкости составляет от 30 до 60%.

При этом на каждом предприятии необходимо помимо внедрения современного оборудования и технологий также проводить следующие мероприятия:

- учет энергетических затрат, дифференцированный по уровням организационной структуры;
- анализ фактических затрат энергоносителей и их сравнение с актуальными нормами энергопотребления;
- планирование энергетических потребностей в соответствии с плановыми объемами производства продукции;
- разработка и внедрение мероприятий по повышению энергоэффективности и охране окружающей среды [3].

Каждое хозяйство, предприятие сельскохозяйственного производства имеет свою специфику, поэтому необходимо разрабатывать конкретные мероприятия по повышению энергоэффективности и пути их решения, чтобы добиться наилучших результатов.

Надо учитывать, что использование типового, в том числе дорогостоящего импортного оборудования не всегда обеспечивает конкурентоспособность продукции предприятия. При внедрении ряда НДТ, соответствующих условиям хозяйства, даже предприятия еще советского образца могут повысить производительность своего производства, снизить его энергоемкость, выйти на более высокий уровень ведения хозяйственной деятельности. Примером этого может быть модернизация систем и средств энергообеспечения.

В помещениях с животными или птицей одним из наиболее энергозатратных процессов является поддержание микроклимата. Например, на птицефабрике «ЗАО Победа-Агро» при выращивании цыплят-бройлеров (рис. 2) использовалась система приточной вентиляции зарубежного производства. Данная система работала таким образом, что открывала жалюзи только группами и только полностью. Это привело к нежелательным последствиям: цыплята мерзли зимой, сбивались в группы и теряли

Рис. 2. Напольное содержание бройлеров

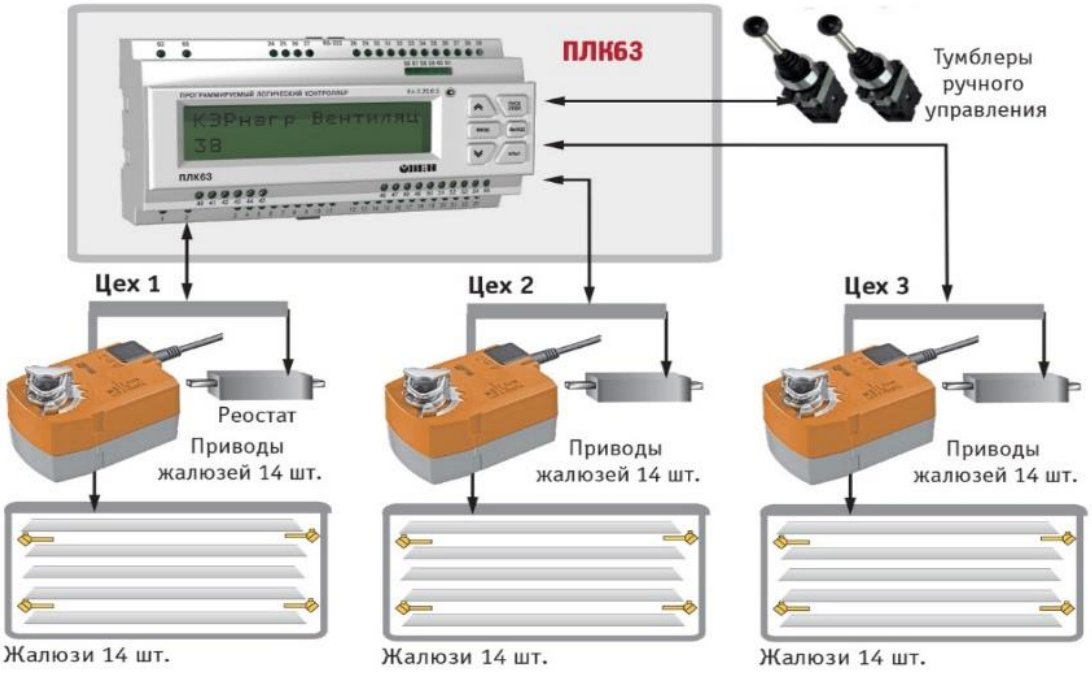


Рис. 3. Система управления жалюзи с использованием ПЛК ОВЕН

в весе. Технические специалисты фабрики доработали систему вентиляции с использованием программируемого логического контроллера производства Российской компании ОВЕН.

Теперь один контроллер управляет одновременно 42 жалюзи (по 14 в каждом цехе) (рис. 3). Каждые 4 часа ПЛК выполняет калибровку системы. Скорость и угол открытия каждой жалюзи должны отличаться. Каждые 4 часа контроллер приводит жалюзи в единое положение относительно друг друга, чтобы избежать накопления рассогласований. При необходимости можно использовать ручное управление с помощью блока управления [7].

Автоматика российских производителей применяется и на многих других технологических участках фабрики. Использование такого оборудования позволяет создавать уникальные системы управления, модернизировать уже используемые, т.е. системы управления должны отвечать требованиям конкретного производства.

Выводы

Необходимо отрабатывать пути энергосбережения, в том числе и недорогостоящие, которые должны привести хозяйства к повышению энергоэффективности, снижению уровня энергопотребления, снижению себестоимости продукции. Использование наилучших доступных технологий и оборудования российского производства – один из таких путей, который, в свою очередь, будет способствовать уменьшению зависимости от импортного оборудования, стоимость которого, в условиях санкций и высокого курса валюты, зачастую делает его просто недоступным.

Литература

1. Совещание о внедрении наилучших доступных технологий в промышленности (24 октября 2014 года, 16:30) [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://m.government.ru/news/15395/
2. *Федоренко В.Ф.* О формировании перечня наилучших доступных технологий, рекомендованных для внедрения в производство, и организация работы по подготовке справочников наилучших доступных технологий (НТС Минсельхоза Россия, 25 июня 2015 г.) [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.rosinformagrotech.ru/sites/default/files/files/prezent_ntd.pdf
3. *Кувшинов Н.М.* Пути решения проблемы энергоэффективности и электросбережения в сельскохозяйственных предприятиях // Труды Брянского государственного университета им. акад. И.Г. Петровского. – Том 3. «Экономика». – Брянск: РИО БГУ, 2014.
4. Росстандарт. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/developdirectory
5. Концепция реализации перехода на принципы НДТ и внедрения современных технологий в промышленном секторе Российской Федерации [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.gost.ru/wps/wcm/connect/f20214804743d9b0a878ef0c407bc797/Проект+Концепции+(НДТ).pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=f20214804743d9b0a878ef0c407bc797
6. Потенциал энергосбережения в отраслевом и сценарном разрезах. Наилучшие доступные и перспективные энергосберегающие технологии (Министерство энергетики Российской Федерации) [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.vce34.ru/attachments/Тема3_4%20Потенциал%20с%20НДТ%2016%2004_1.pdf
7. *Бояркин Н.* Решения автоматизации для птицеводческого комплекса // Автоматизация и производство. 2016. №1. С. 21-24.

Сведения об авторе:

Уханова Виктория Юрьевна – канд. техн. наук, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия,
e-mail: prognoz@viesh.ru

THE USE OF THE BEST AVAILABLE TECHNOLOGY OF THE RUSSIAN PRODUCTION IN THE AGRICULTURAL SECTOR – THE TOOL OF INCREASE OF EFFICIENCY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

V. Ukhanova

The article provides justification for the implementation of best available technologies (BAT) in agricultural production. The necessity of the "broad" look at the BAT from the point of view of increase agriculture efficiency, improving productivity, possible reduction of production costs, increase its competitiveness. The basic purpose of transition to the principles of BAT from the point of view of the "broad" view is described. The energy saving potential in the implementation of modern technologies is presented. The necessity of regulation of energy consumption at enterprises of agricultural production, assessing the actual costs of energy to meet current standards is described. The analysis of the reasons why many farmers are not able at the present stage to carry out the modernization of production is given. Listed activities that need to be considered when carrying out the enterprises modernization of production are presented. Possible solutions to the existing problems in the first place – government support are presented. An example of a successful implementation of modern technologies of Russian manufacture is shown. The implementation of best available technologies should be conducted including on the basis of import substitution, and taking into account the food security Doctrine of the Russian Federation. The guidelines on the best available techniques for industries: intensive rearing of pigs; the intensive breeding of farm poultry; slaughter of animals in meat plants, mesoglobular, by-products of livestock; food production; manufacture of beverages, milk and dairy products should be developed and released in 2017. The level of harmful emissions in these areas is very high. Listed areas are also the most energy intensive. The need to develop new ways of energy saving is shown.

Keywords: best available technologies in agriculture, efficiency of agricultural production.

References

1. Electronic resource. Access mode: http://m.government.ru/news/15395/
2. Electronic resource. Access mode: http://www.rosinformagrotech.ru/sites/default/files/files/prezent_ntd.pdf

3. Kuvshinov N.M. Puti resheniya problem energoeffektivnosty I elektrodberegeniya v selskohosaistvennyh predpriyatiyah [Energy efficiency problem solutions and energy-saving in the agricultural enterprises], Trudy Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014, vol. 3.
4. Electronic resource. Access mode: http://www.gost.ru/wps/portal/pages/directions?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/gost/GOSTRU/directions/ndt/developdirectory
5. Electronic resource. Access mode: http://www.gost.ru/wps/wcm/connect/f20214804743d9b0a878ef0c407bc797/Проект+Концепции+(НДТ).pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=f20214804743d9b0a878ef0c407bc797
6. Electronic resource. Access mode: http://www.vce34.ru/attachments/Тема3_4%20Потенциал%20с%20НДТ%2016%2004_1.pdf
7. Boyarkin N. Resheniya avtomatizazii dlya ptizevodcheskogo kompleksa [Automation solutions for poultry complex], J. *Avtomatisaziya I proizvodstvo*, 2016, No. 1.

Author:

V. Ukhanova – Ph. D (Enginering),
All-Russian Scientific-Reseach Institute for Electrification of Agricalture, Moscow, Russia,
e-mail: prognoz@viesh.ru

УДК 636:631.14.002.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНЫХ ПЕЧЕЙ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ПОТРЕБНОСТИ В ТЕПЛОТЕ МАЛЫХ МОЛОЧНЫХ ФЕРМ

П.А. Никитенков, Т.Н. Платохина, Л.Б. Волкова
Смоленский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Смоленск, Россия

Рассматривается возможность использования газогенераторных котлов медленного горения для покрытия потребностей в теплоте малых молочных ферм и помещений соцкультбыта. При этом в качестве энергоносителя предлагается использовать возобновляемые энергоресурсы, к которым относятся дрова, торф, навоз, отходы льнопереработки и деревообработки.

Ключевые слова: *газогенераторный котел, возобновляемые энергоресурсы, малые молочные фермы.*

Сельскохозяйственное производство, в частности животноводство, а также сельский быт, требуют значительного количества энергии, которая используются для обеспечения микроклимата, нагрева воды, отопления. Важное значение для покрытия потребностей в ней придается использованию возобновляемых источников энергии [1, с. 103-112], объем потребления которых доходит до 40% от потребляемого на фермах и учреждениях соцкультбыта. Основным источником возобновляемых энергоресурсов являются дрова.

К недостаткам сжигания дров в традиционных печах следует отнести низкий коэффициент использования топлива, потребность их частой зарядки, необходимость использования постоянного обслуживающего персонала.

Вместе с тем, к настоящему времени разработаны и выпускаются серийно так называемые газогенераторные печи (котлы) длительного горения, которые позволяют использовать для тепловых целей кроме дров подготовленные местные возобновляемые энергоресурсы (отходы ферм, дерево- и льнообработки) с повышенным КПД и большей комфортностью [2, с. 148-151].

Конструктивно печи длительного горения представляют собой цельносварную конструкцию из стали состоящую из двух камер сгорания: нижней камеры газификации и верхней – камеры дожигания газов. Вдоль торцевых и боковых поверхностей расположен ряд конвективных труб, проходящих через топку. В передних конвективных трубах имеются инжекторы – дожигатели. Печи оборудуются двумя регуляторами: на дверце регулятор мощности и на дымоходном патрубке регулятор-газификатор.

Сдерживающим фактором широкого использования котлов медленного горения на малых фермах и в помещениях соцкультбыта является отсутствие в них возможности получения горячей воды, а также передачи теплоты при наличии свободной мощности на расстояния.

На малых молочных фермах теплоту используют для отопления и получения горячей воды. Рассмотрим реализацию схемы теплоснабжения малой молочной фермы, где в качестве источника тепловой энергии применяется котел, работающий на возобновляемом твердом топливе.

Расчет мощности тепловой установки для отопления вспомогательных помещений, нагрева воды провели на примере фрагмента малой молочной фермы (рис. 1).

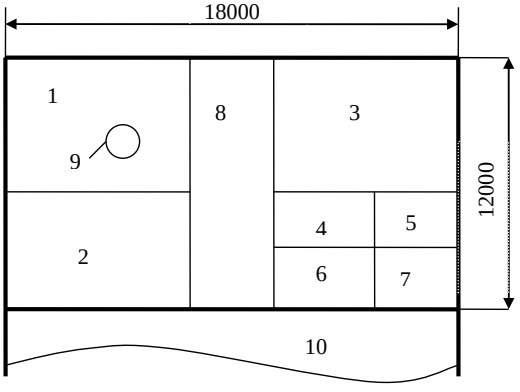


Рис. 1. Планировка подсобных помещений молочной фермы:
1 – молочный цех; 2 – доильный зал; 3 – комната персонала; 4 – помещение для дробилки кормов КДУ-4; 5 – склад зернофуража; 6 – склад концентрированных кормов; 7 – помещение резервной электростанции; 8 – центральный тамбур; 9 – газогенераторный котел; 10 – стойловое помещение

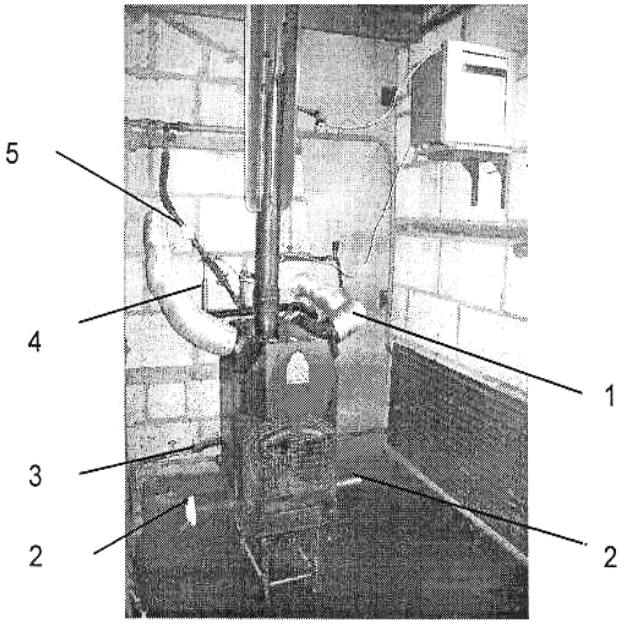


Рис. 2. Усовершенствованный теплогенерирующий блок

Отапливаемыми вспомогательными подсобными помещениями являются помещения молочной, доильного зала, комнаты для обслуживающего персонала, которые расположены в торце коровника. Расчетное значение температуры внутреннего и наружного воздуха, относительной влажности, продолжительности отопительного периода принимали для условий Смоленской области на основе СНиП [3, с. 27].

Величина расчетной мощности отопительной установки для рассматриваемых помещений составила 15 кВт.

Мощность на нагрев воды до 90˚С в течении суток на накопительную емкость составляет 3,1 кВт. Потребное количество горячей воды определяли на основании норм технологического проектирования [4, с.17]. Высокое значение температуры, до которой нагревается вода, позволило снизить объем аккумуляционной емкости.

Учитывая номенклатуру изделия, принимаем к установке котел медленного горения мощностью 25 кВт.

С целью реализации использования котла для обогрева изолированных от места его установки помещений, а также нагрева воды для технологических и санитарно-гигиенических нужд предложен и реализован ряд конструктивных доработок.

На рис. 2 представлен усовершенствованный теплогенерирующий блок.

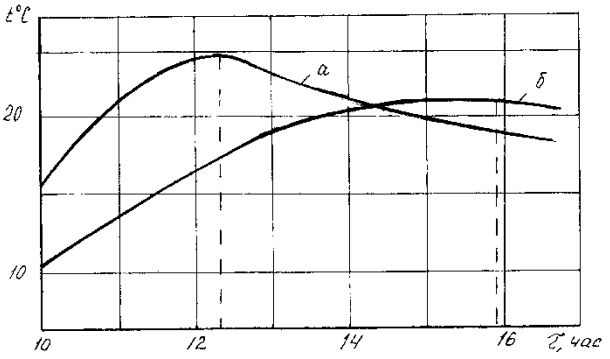


Рис. 3. Изменение температуры воздуха в помещении от мощности и продолжительности горения топлива:
а – режим полной мощности;
б – 0,25 от номинальной мощности

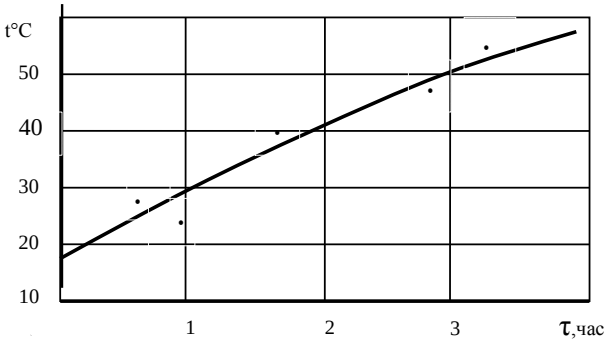


Рис. 4. Изменение температуры воды в зависимости от времени нагрева

Для передачи нагреваемого воздуха в помещения использовали сборные коллекторы 1, которыми объединили часть конвективных труб, расположенных на продольных стенках блока. К верхним коллекторам присоединяются гофрированные металлические рукава, с помощью которых теплый воздух можно подавать как на верхние этажи, так и в рядом расположенные помещения. Подача теплого воздуха может проходить более интенсивно, если использовать вентиляторы 2, которые вставляются в нижние сборные коллекторы. Всего коллекторов четыре: два верхних и два нижних.

Для нагрева воды используется оставшаяся часть боковых конвективных труб, объединенных общей обвязкой. Холодная вода подается снизу (обвязка 3) и поступает в бак-накопитель горячей воды через обвязку труб 4.

Учет проходящей через конвективные трубы воды осуществляется универсальным крыльчатым счетчиком 5 типа VLF-R.

На основании экспериментальных данных получены зависимости, отражающие изменение температуры воздуха и воды от времени нагрева (рис. 3, 4).

Как видно из графиков, воздух, поступающий в помещения, и нагреваемая вода достигают требуемых технологией параметров.

Вывод

Таким образом, как показали результаты эксперимента, возможно использование усовершенствованных газогенераторных котлов для удовлетворения потребности малых молочных ферм в теплоте, используемой на отопление вспомогательных помещений и для получения горячей воды.

Литература

1. *Тихомиров А.В.* Использование местных энергоресурсов в энергетике села // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 6-й Междунар. науч.-технич. конференции (13-14 мая 2008 г.). М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Ч. 1. – С. 103-112.
2. *Никитенков П.А., Платохина Т.Н., Волкова Л.Б.* Использование местных возобновляемых энергоресурсов на молочных фермах // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 7-й Междунар. науч.-технич. конференции (18-19 мая 2010 г.). М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – Ч. 4. – С. 148-151.
3. Строительные нормы и правила, часть II, глава 92. Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий СНиП II-92-76. М.: Стройиздат, 1977. – 32 с.
4. Нормы технологического проектирования предприятий крупного рогатого скота НТП 1-99. Дата введения 1999-10-01.

Сведения об авторах:

Никитенков Павел Афанасьевич – канд. техн. наук,

Платохина Татьяна Николаевна – канд. техн. наук,

Волкова Л.Б. – научный сотрудник,

Смоленский НИИСХ, г. Смоленск, Россия,

e-mail: smniish-mh@yandex.ru

THE USE OF GAS-GENERATORS FURNACES TO MEET DEMAND IN THE WARMTH OF THE SMALL DAIRY FARMS

P. Nikitenkov, T. Platokhina, L. Volkova

The possibilities of using solid fuel burning stoves (furnaces) to cover the needs in the warmth of the small dairy farms and welfare facilities are considered. At the same time to use renewable energy sources, which include wood, peat, manure, waste of flax processing and woodworking as are encouraged to implement as the energy carriers.

Keywords: solid fuel burning stoves, renewable energy, small dairy farms.

References

1. Tikhomirov A.V. Ispol'zovanie mestnyh ehnergoresursov v ehnergetike sela [The use of local energy resources in the energy sector of the village]. *EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve* [Power supply and energy saving in agriculture]: *Proceedings* of the 6th International Scientific and Technical Conference" (13-14 May 2008). Moscow, VIESH, 2008. Part 1. P. 103-112.
2. Nikitenkov P.A., Platokhina T.N., Volkova L.B. Ispol'zovanie mestnyh vozobnovlyaemyh ehnergoresursov na molochnyh fermah [The use of locally available renewable energy on dairy farms], *Ehnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve* [Power supply and energy saving in agriculture]: *Proceedings* of the 7th International Scientific and Technical Conference (18-19 May 2010), Moscow, VIESH, 2010. Part 4. P. 148-151.
3. Building Regulations, Part II, chapter 92. Ancillary buildings and premises of industrial enterprises SNIP II-92-76. Moscow, Stroyizdat, 1977. - 32 pp.
4. Norms of technological design of enterprises cattle NTP 1-99. Date of introduction 10.01.1999.

Authors:

P. Nikitenkov– Ph. D. (Engineering), senior research associate,

T. Platokhina – Ph. D. (Engineering),

L. Volkova – research associate,

«Smolensk NIISH», Smolensk, Russia,

e-mail: smniish-mh@yandex.ru

УДК 662.9

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОТОЛОЧНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

С.С. Трунов, С.А. Растимешин
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

В статье показана энергетическая эффективность применения потолочных вентиляторов на примере использования их в профилактории для телят. На основании теоретических и натурных испытаний установлено, что применение потолочных вентиляторов позволяет не только иметь эффект охлаждения животных в теплое время года, но и экономить тепловую энергию в отопительный период за счет выравнивания температуры воздуха по высоте помещения.

Ключевые слова: *потолочный вентилятор, профилакторий для телят, температура воздуха, экономия энергии на отопление.*

Цель и задачи исследований. Потолочные вентиляторы, как правило, не применяются на животноводческих объектах. Поэтому весьма интересно посмотреть, как они влияют на энергетику животноводческих объектов, в частности на профилакторий для телят. Эти исследования были проведены, но неоправданно забыты. Поэтому в статье, опираясь на натурные испытания, теоретически обоснована энергетическая эффективность применения потолочных вентиляторов.

Методы и результаты исследований. Температура воздуха в животноводческих помещениях распределяется, как правило, неравномерно, особенно по высоте зданий. В верхней зоне образуется тепловая подушка, которая приводит к увеличению потерь тепловой энергии. Уменьшить неравномерность температур можно при рациональной циркуляции воздушных потоков. Для этого целесообразно применять потолочные вентиляторы, причем не только в теплый период года [1], но и в холодный [2]. Потолочный вентилятор представлен на рис. 1.

Летом потолочные вентиляторы благодаря большой подаче воздуха создают циркуляцию воздушных потоков, способствующих снятию тепловой энергии с поверхности животных. Зимой они выравнивают температуру воздуха по высоте и позволяют снизить установленную мощность отопительных приборов [2], уменьшая количество энергии, расходуемое на отопление.

Ниже на основе опыта эксплуатации потолочных вентиляторов (в течение нескольких лет [3]) показана возможность экономии энергии, если они установлены в помещении, где отопительные приборы используются без снижения мощности.

Рассмотрим помещение с установленной в нем отопительно-вентиляционной системой, в которую входят постоянно работающие потолочные вентиляторы. Воздушные потоки при этом циркулируют с допустимой скоростью, ограниченной нормами технологического проектирования (не более 0,3 м/с). Устранение тепловой подушки у потолка способствует тому, что в рабочую зону вносится некоторое количество тепловой энергией. По данным, представленным в [2], в животноводческих помещениях это количество увеличивается 1,2 – 1,25 раза.

Рис. 1. Устройство потолочного вентилятора

Для поддержания температуры внутреннего воздуха в заданных пределах, как правило, применяют двухпозиционное регулирование; температура воздуха t непрерывно колеблется от t_{min} до t_{max} во время разогрева воздуха и от t_{max} до t_{min} во время остывания. Если в отопительно-вентиляционной системе не использованы потолочные вентиляторы, время разогрева воздуха определяется из выражения [4]

$$\tau_{p1=cG\Delta t/Q_n}, \quad (1)$$

где c – теплоемкость воздуха; G – масса воздуха; Δt – заданный диапазон регулирования температуры воздуха в рабочей зоне; Q_n – избыточное поступление тепловой энергии.

Если использованы потолочные вентиляторы, то время разогрева составит

$$\tau_{p2} = cG\Delta t/kQ_n, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий дополнительное получение тепловой энергии благодаря работе потолочных вентиляторов (k = 1,2 – 1,25).

Из (1) и (2) получаем

$$\tau_{p2} = \tau_{p1}/k\,, \quad (3)$$

или

$$\tau_{p2} = 0{,}8\tau_{p1}\,. \quad (4)$$

Теперь рассмотрим, как влияют потолочные вентиляторы на время охлаждения воздуха в помещении. Время охлаждения воздуха в помещении зависит от оттока теплоты и определяется по выражению

$$Q_{от} = (t_в - t_{вп})F_{вп} + Q_в\,, \quad (5)$$

где $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения; $t_в$ – температура воздуха в помещении; $t_{вп}$ и $F_{вп}$ – температура и площадь внутренней поверхности ограждения; $Q_в$ – потери тепловой энергии с удаляемым воздухом.

Коэффициент теплоотдачи включает в себя конвективную $\alpha_{вк}$ и лучистую $\alpha_{вл}$ составляющие:

$$\alpha_к = \alpha_{вк} + \alpha_{вл}\,. \quad (6)$$

При обдувании поверхностей помещения потоками воздуха наблюдается режим вынужденной и смешанной конвекции, для которого [5]

$$\alpha_{вк} = 3,38(v/x)^{0.5}\,, \quad (7)$$

где v – скорость движения потоков воздуха; x – расстояние от пола до рассматриваемого (произвольного) сечения.

Как показали исследования, при использовании потолочных вентиляторов скорость воздушных потоков, обдувающих поверхности, изменяется в среднем от 0,15 до 0,18 м/с, т. е. увеличивается в 1,2 раза. Если принять, что x~1, то коэффициент конвективного теплообмена при работе потолочных вентиляторов в 1,1 раза больше, чем без них. Коэффициент $\alpha_{вл}$ = const, так как не зависит от скорости воздушных потоков.

Используя выражения (1) и (5), после соответствующих преобразований получим выражение, связывающее время τ_{02} остывания воздуха в помещении при использовании потолочных вентиляторов и τ_{01} без них (при допущении, что $Q_в = 0$):

$$\tau_{02} = \tau_{01}\frac{\alpha_{вк} + \alpha_{вл}}{1{,}1\alpha_{вк} + \alpha_{вл}}\,, \text{ или } \tau_{02} = 0{,}95\tau_{01}. \quad (8)$$

Таким образом, период автоколебательного процесса без потолочных вентиляторов:

$$T_1 = \tau_{p1} + \tau_{01}, \quad (9)$$

при использовании потолочных вентиляторов:

$$T_2 = 0.8\tau_{p1} + 0.95\tau_{01}\,. \quad (10)$$

Из (8) и (9) определяем относительную частоту включения отопительных приборов без потолочных вентиляторов:

$$\varepsilon_1 = {\tau_{p1}}\Big/{(\tau_{p1} + \varepsilon_1\tau_{01})}\,. \quad (11)$$

При их использовании

$$\varepsilon_2 = 0{,}8\tau_{p1}/(0{,}8\tau_{p1} + 0{,}95\tau_{o1})\,. \quad (12)$$

При этом $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$. Следовательно, средний приток тепловой энергии $Q_{п1} = Q_п\varepsilon_1$ больше среднего притока $Q_{п2} = Q_п\varepsilon_2$, соответственно в первом случае расход энергии больше.

Вывод

Таким образом, применение потолочных вентиляторов улучшает качество двухпозиционного регулирования температуры воздуха в рабочей зоне, поскольку уменьшается время запаздывания, и температура воздуха чаще принимает среднее заданное значение.

Литература

1. СП 13330. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М., 2012.
2. *Быстрицкий Д.Н., Гельман Н.А., Егиазаров А.Г., Трунов С.С.* Энергоэффективность применения потолочных вентиляторов в животноводческих помещениях // Водоснабжение и санитарная техника. – 1976. – № 12.
3. *Оленев В.А., Быстрицкий Д.Н., Трунов С.С.* Микроклимат в профилакториях // Техника в сельском хозяйстве. – 1975. – № 3.
4. *Халамейзер М.Б.* Основы автоматического регулирования установок искусственного климата. М.: Машгиз, 1963.
5. *Богословский В.Н.* Строительная теплофизика. М.: Высшая школа, 1970.

Сведения об авторах:

Трунов Станислав Семенович – канд. техн. наук, доцент, ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия, e-mail: alla-rika@yandex.ru

Растимешин Сергей Андреевич – доктор техн. наук, профессор, ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия, e-mail: resurs00@mail.ru

---

SAVING ENERGY IN THE LIVESTOCK BUILDING USING CEILING FANS

S. Trunov, S. Rastimeshin

In this article the energy effectiveness of ceiling fans as an example for use in a preventorium for calves is shown. On the basis of theoretical and full-scale tests established that the use of a ceiling fan allows you not only to have the effect of cooling the animals during the warm season, but also to save heat energy during the heating period by leveling the temperature along the room height.

Keywords: ceiling fan, preventorium for calves, the air temperature, saving energy on heating.

References

1. SP 13330. Heating, ventilation and air conditioning. Moscow, 2012.
2. Bystritsky D.N., Hellmann N.A., Egiazarov A.G., Trunov S.S. EHnergoehffektivnost' primeneniya potolochnyh ventilyatorov v zhivotnovodcheskih pomeshcheniyah [Efficiency of applying ceiling fans in livestock buildings], J. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary techniques], 1976, No. 12.
3. Olenev V.A., Bystritsky D.N., Trunov S.S. Mikroklimat v profilaktoriyah [The microclimate in the dispensaries], J. *Tekhnika v sel'skom hozyajstve* [Technique in agriculture], 1975, No. 3.
4. Khalameizer M.B. Osnovy avtomaticheskogo regulirovaniya ustanovok iskusstvennogo klimata [Fundamentals of automatic control of installations of an artificial climate]. Mashgiz, 1963.
5. Bogoslovsky V.N. Stroitel'naya teplofizika [Building Thermophysics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1970.

Authors:

Trunov S. – Ph. D. (Engineering), professor,
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia.
e-mail: alla-rika@yandex.ru

Rastimeshin S. – D. Sc. (Engineering), professor,
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: resurs00@mail.ru

УДК 631.664

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

А.В. Кузьмичев
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Актуальной задачей является необходимость в разработке и внедрении новых высокоэффективных методов обеззараживания жидких пищевых продуктов и технологических линий по их переработке. Метод ультразвукового воздействия находит широкое применение для управления кинетикой протекания химических, биохимических и биологических процессов в различных средах. Накоплен значительный положительный экспериментальный и научный опыт по использованию ультразвука и ультразвуковой кавитации с целью дезинтеграции микробиологических структур. В связи с этим возникла задача распространения полученных результатов для обеззараживания жидких пищевых продуктов (молоко, соки, вода). При обработке воды этот метод получил достаточно широкое распространение и накоплен положительный опыт, позволяющий оценивать его как высокоэффективный способ. Несмотря на большое количество научных публикаций, обосновывающих возможность использования ультразвукового воздействия для обработки молока и других пищевых продуктов, не существует единого методологического подхода к описанию процессов и структурных изменений в биологической среде. В статье рассматривается влияние ультразвука и эффекта ультразвуковой кавитации для разрушения бактериальных клеток и влияние на структуру молочных мицелл. Рассматривается физическая модель и математическое описание энергетического воздействия ультразвука на микробиологические структуры. Показано, что величина импульсов давления, силы звука, необходимых для разрушения бактериальных клеток, превышает пределы агрегативной стойкости казеиновых мицелл молока.

Ключевые слова: *кавитация, ультразвук, частота, давление, сила звука, обеззараживание, разрушение, бактериальная клетка, молоко.*

Введение. В последнее время ультразвуковые методы обработки жидкостных сред приобретают все более широкое распространение. Эти методы находят применение в сельском хозяйстве при обработке жидких пищевых продуктов (молоко, соки, вода и др.) [1, 2, 3, 4]. Как правило, рассматриваемые жидкости имеют сложную структуру, содержащие в разных соотношениях белки, углеводы, жиры, витамины, ферменты, минеральные вещества, микроэлементы, и являются благоприятной средой для быстрого роста попавших в него из внешней среды микроорганизмов.

Ультразвуковое воздействие позволяет снижать бактериальную обсемененность исходного материала и при определенных условиях это воздействие имеет существенную величину. Основная причина заключается в разрушении белковых структур бактерий и микроорганизмов, но УЗ (ультразвук) также воздействует и на микробиологическую структуру обрабатываемой жидкости. В связи с этим возникает проблема выбора критерия по оценке этого воздействия, насколько внесенные энергетические возмущения позволяют сохранить исходные биологические свойства. Другой аспект проблемы возникает в объективности оценке и интерпретации существующих данных, поскольку в приводимых результатах или при проведении экспериментальных исследований, как правило, оперируют ограниченным количеством параметров, характеризующим УЗ, а также экстраполяцией полученных результатов для дальнейшего прогнозирования.

Большинство исследований по УЗ-обработке пищевых жидкостей охватывают лишь узкий аспект из всего многочисленного спектра воздействия, а именно, уничтожение бактериальной среды без анализа вносимых изменений в структуру обрабатываемой жидкости. Если рассматривать воду в качестве объекта УЗ-воздействия, то такой подход оправдан [5]. Но для других жидкостей этот способ может иметь жесткие ограничения в его применении или даже нежелателен. Поэтому способ обработки должен содержать четко выраженные цели и задачи, ко-

торые должны решаться, и в общем случае их можно сформулировать следующим образом:

- уничтожение балластной микрофлоры и бактериальной среды;

- уничтожение балластной микрофлоры и бактериальной среды при допустимых изменениях в структуре обрабатываемой жидкости в соответствии с регламентирующими технологическими нормами по безопасности применения продукта, и дальнейшей его переработке;

- уничтожение балластной микрофлоры и бактериальной среды при сохранении органолептических свойств исходного продукта и его соответствия регламентирующим технологическим нормам по безопасности применения продукта, его использования или дальнейшей переработки.

В связи с этим возникает задача выбора физической модели и в соответствующих терминах математическое описание взаимодействия.

Метод исследования. Диспергирующее и коллоидно-химическое действие ультразвука вызывает изменения в структуре обрабатываемой жидкости, образование эмульсий на границах разных по составу жидкостей, происходит диспергирование твердых тел и очистка поверхностей, расщепление высокомолекулярных соединений. На границах раздела различных жидкостей и между жидкостями и твердыми телами в ультразвуковых полях возникают особые явления, вызываемыми избыточным давлением, напряжением растяжения, а также большими скоростями и ускорениями частиц жидкости [5].

Характер взаимодействия волнового силового поля и локального элемента обусловливается его линейными размерами, критерием которого могут служить условия $L< cT$ и $L>cT$ [6], т.е. длина волны λ меньше размеров рассматриваемой системы или сопоставима с размерами системы; длина волны λ превосходит линейные размеры.

Величина воздействия УЗ волны имеет максимальное значение, если линейные размеры системы равны или близки к 1/2 длины волны или фаза воздействия силового поля приходится на максимальную разность величин, характеризующих ультразвуковую волну. Величина усилия, действующая на элементарный объем δV на участке между точками максимума и минимума звукового давления, равна $2P$, где P – амплитуда звукового давления [7]. Средний градиент давления:

$$\Delta P = 4P/\lambda\ . \qquad (1)$$

Средние значения во фронте волны градиентов смещений $_{\Delta}l$, скоростей $\boldsymbol{\upsilon}$ и ускорений $\boldsymbol{\acute{\upsilon}}$ на отрезке длиной $\lambda/2$ выражаются:

$$grad_{\Delta}l = 2_{\Delta}l/\lambda,\ grad\boldsymbol{\upsilon} = 2_{\Delta}\boldsymbol{\upsilon}/\lambda,\ grad\acute{\upsilon} = 2_{\Delta}\boldsymbol{\acute{\upsilon}}/\boldsymbol{\lambda}. \qquad (2)$$

На процесс диспергирования среды влияют физико-химические свойства жидкости и внешние условия, при которых протекает ультразвуковое воздействие. Внешнее давление, наличие в жидкости пузырьков воздуха и растворенных газов позволяют значительно ускорить диспергирование среды, кроме того, наличие третьей фазы является необходимым условием осуществления этого процесса. На характер происходящих процессов влияет интенсивность звукового давления, частота и продолжительность облучения жидкости и определенное сочетание этих факторов, причем вариации результатов воздействия могут быть различны даже при незначительных отклонениях каждого отдельного параметра и условий обработки. При воздействии на систему с частотой, близкой к частоте собственных колебаний, наблюдается явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний. Явление кавитации сопровождается возникновением кавитационного шума, спектральные линии которого обусловлены резонансными колебаниями пульсирующих пузырьков. Вследствие нелинейности колебаний, кроме интенсивного пика, соответствующей основной частоте, высокой интенсивностью обладают гармоники kf_0 (k = 1, 2, 3, …), кроме того появляются субгармоника ½ f_0 со своими обертонами. Пузырьки, собственная частота которых совпадает с частотой внешнего воздействия, дают наиболее интенсивные колебания f_0.

Для колебаний пузырьков газа в жидкости резонансная частота определяется выражением [5, 8]

$$f_r = (1/\pi d)(3\,\chi P_0/\rho)^{0.5}, \qquad (3)$$

где d – диаметр пузырька; γ – отношение теплоемкостей газа в пузырьке; P_0 –гидростатическое давление в жидкости с плотностью ρ.

Резонансная частота для пузырьков воздуха, растворенного в воде при $P_0 = 1$ атм., $\gamma = 1.14$, $\rho = 1$

$$f_r = 0.657/d\ кгц\ . \qquad (4)$$

При периодическом сжатии газового пузырька в его окрестностях создается избыточное давление.

$$P=[2P_0(R_0^3/R^3 -1)/3\beta]^{0.5}, \qquad (5)$$

где β – сжимаемость жидкости; R_0 и R – изменение радиусов исходного пузырька, P_0 – гидростатическое давление.

На графике (рис. 1) показано изменение среднего градиента давления и давления в окрестности кавитационного пузырька.

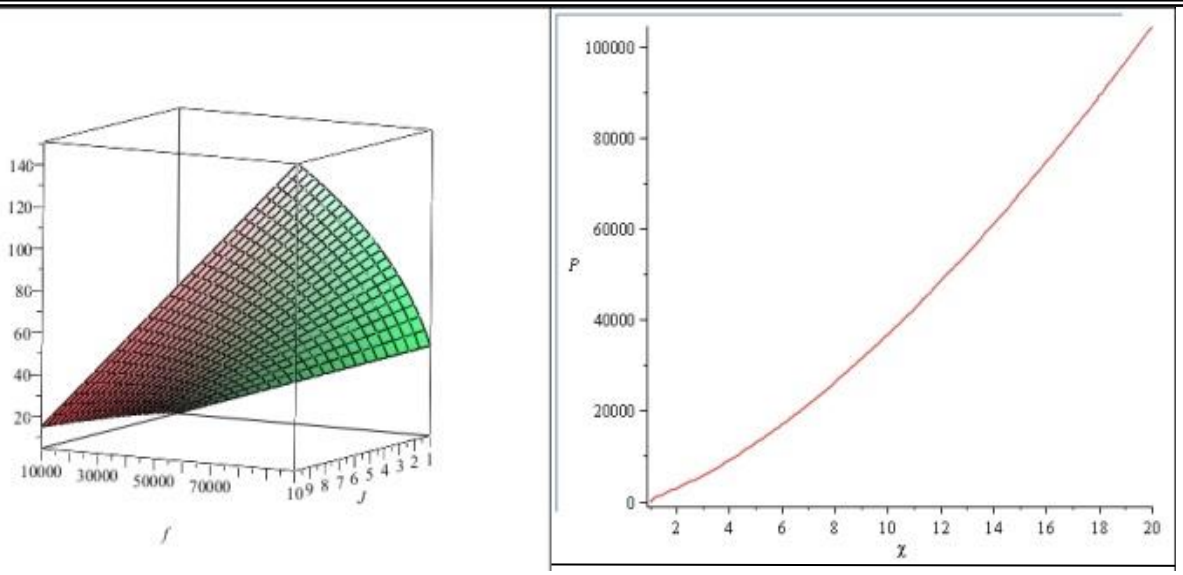


Рис. 1. Средний градиент давления ΔP (н/см^2) в зависимости от силы звука J (Вт/см^2) и частоты f (Гц). Давление P (н/см^2) при кавитации в зависимости от степени сжатия газового пузырька $\chi = R_0/R$

Условие возникновения кавитации по [5, 8] можно записать: $P_a = p_k + p_0$; где P_a – амплитуда переменного акустического давления начала наступления кавитации, p_k – давление сцепления жидкости; p_0 – гидростатическое давление. Максимально ограниченная возникновением кавитации интенсивность ультразвука определяют выражением

$$J = 0.5\, P_a^2/\rho c\,. \qquad (6)$$

Кавитация в жидкостных системах возникает при определенных сочетаниях граничных значений P_0, P, R_0 , f. и обусловлено наличием растворенных газов в жидкости, а также центров кавитации, зависит от физико-химических свойств, где имеются сильные флуктуации внутренней структуры, присутствуют локальные области с высокой энергией или наличие объектов в жидкости.

В табл. 1 приведены значения звукового давления и силы звука, вызывающие кавитацию при частотах 15 – 3300 кГц.

Таблица 1

Звуковое давление и сила звука, определяющие условия возникновения кавитации в водопроводной воде [5]

Частота, кГц	Звуковое давление, атм	Сила звука, Вт/см^2
15	0.5-2.0	0.16-2.6
175	4	10
365	7-20	33-270
500	12-25	100-400
3300	230-300	35 000-60 000

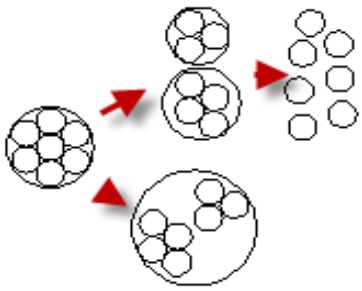


Рис. 2. Физическая модель при взаимодействии с силовым волновым полем с разрушением объекта и с нарушением внутренней структуры

Для более детального рассмотрения происходящих процессов в жидкостных средах рассмотрим абстрагированную физическую модель локального элемента в объеме среды, на который воздействует силовое волновое поле (рис. 2).

В элементарном объеме δV находится взаимосвязанная система из элементарных частиц. На рассматриваемый объем δV действуют переменные силы, оказываемые волновым полем. Система окажется устойчивой к внешнему воздействию при условии, если энергия внешнего воздействия не превысит предельных значений энергии связи. Феноменологическое описание условия разрушения связей в единице объема системы выражается [9]:

$$\Delta U \le W_p + W_b + W_c + W_s\,, \qquad (7)$$

где ΔU – увеличение поверхностной энергии Гиббса дисперсной системы в единице объема за счет возрастания поверхности некомпенсирован-

ными контактными взаимодействиями; W_p – потенциальная энергия, характеризующая интенсивность напряженного состояния системы; W_b – суммарное значение энергии теплового движения частиц в единице объема; W_c – суммарное значение кинетической энергии, сообщенной частицам дисперсных фаз в единице объема внешним источником (ультразвуковое воздействие); W_s – суммарное значение энергии воздействия электромагнитных полей (в том числе УФ- и ИК-воздействие).

По П.А. Ребиндеру [10] условие разрушение структуры:

$$\sigma_{1\,2}\,\Delta S \le \gamma P_{\Delta V1} + \gamma' kT + mv^2/2 + \sum Q\,, \qquad (8)$$

где ΔU – межфазное поверхностное натяжение на границе «дисперсная фаза – дисперсная среда»; ΔS – увеличение поверхности, соответствующей отслоению одной фазовой частицы объемом ΔV_1; $P_{\Delta V1}$ – интенсивность напряженного состояния в области ΔV; γ, γ' – безразмерные коэффициенты; $mv^2/2$ – кинетическая энергия, сообщаемая частице массой m внешним воздействием; v – скорость движения частицы относительно контактирующей с ней; $\sum Q$ – суммарное дополнительное воздействие внешних силовых полей.

Исходя из теории флуктуационных сил межмолекулярного взаимодействия [11] для макроскопических тел, разделенной вакуумной щелью толщиной d, энергия и сила сцепления для сферических частиц радиусом r выражаются зависимостями:

$$U_a = -\pi Br/3d^2\,, \qquad (9)$$

$$F_a = 2\pi Br/3d^3, \qquad (10)$$

где $B = \pi\mu q^2\mu$ - постоянные межмолекулярного взаимодействия изолированных молекул и конденсированных тел с учетом электромагнитного запаздывания.

Для малых расстояний $d<\lambda_0$, где λ_0 – длина волны, имеет существенное поглощение, условия взаимодействия выражаются [12]:

$$U_a = -Ar/12d\,, \qquad (11)$$

$$F_a = Ar/12d^2\,, \qquad (12)$$

где A – константа молекулярного взаимодействия без учета электромагнитного запаздывания.

По данным источников [12, 13] электромагнитное запаздывание необходимо учитывать в расчетных значениях U_a, F_a на расстоянии $d>10^{-9}$м.

Для взаимодействующих тел, разделенных средой с частотной дисперсией и поглощением, обобщающие результаты получены в работах [14, 15].

Совокупность энергетических связей, определяющих устойчивость контактов между частицами дисперсной фазы через равновесную по толщине прослойку жидкой дисперсной среды в зависимости от их расстояния, рассматривается в теории ДЛФО (Дерягин-Ландау-Фервей-Овербек). Согласно ДЛФО устойчивость и коагуляция коллоидных растворов зависит от соотношения межмолекулярных сил притяжения (12) и электростатических сил отталкивания между частицами.

Энергия взаимодействия U:

$$U = Ce^{-kd} - Ar/12d^2\,. \qquad (13)$$

Для расчета взаимодействия сферических частиц применяют уравнения, графики и таблицы [16, 17].

Многочисленные модели и получаемые результаты взаимодействия ультразвука с облучаемой средой обусловливаются физико-химической природой жидкости, внешними физическими условиями, интенсивностью облучения, частотой, продолжительностью облучения и геометрией.

Если рассматривать жидкие пищевые продукты в качестве объектов воздействия УЗ, то необходимо учитывать структурные особенности конкретной жидкости и возможные изменения в структуре продукта. Так для молока характерна сложная полидисперсная система, в которой представлены ион-молекулярные растворы, высокодисперсные гетерогенные системы, растворы высокомолекулярных соединений и коллоидные растворы поверхностно-активных веществ [17]. Для определения целесообразности использования УЗ в процессе обработки молока необходимы исследования структурных особенностей казеиновых мицелл. Известно [17, 18] строение и свойства мицелл казеина (молочного белка) оказывает решающее влияние на качество и технологические свойства молока. На рис. 3. показана форма мицелл. Модели мицелл разделяют на две группы: первая модель «ядро – оболочка» из гидрофобных компактных субмицелл и защитной гидрофильной оболочки, вторая модель субмицелярного строения рыхлых мицелл из сферических субъединиц. Указанные модели представляются казеиновыми мицеллами и плотно упакованными

сферическими субмицеллами по типу «ядро – оболочка». Субмицеллы состоят из 25-30 мономеров четырех фракций казеина, молекулярная масса составляет $(2.5\text{-}6)10^{-5}$, диаметр 10-20 нм (см. рис. 3) [19]. Рассматриваемый структурный состав мицелл молока и условия взаимодействия субмицелл могут быть описаны моделью, представленной на рис. 3. Расчетные значения энергии взаимодействия представлены на графике рис. 4.

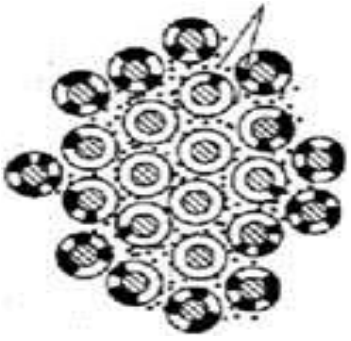


Рис. 3. Модель мицеллы казеина

Характер воздействия на бактериальную среду обусловливается размерами и строением оболочек бактерий. Размеры бактерицидных клеток в зависимости от вида: длина палочкообразных до 10-15 мкм, средняя длина составляет 2-5 мкм, диаметр клетки от 0,5 до 1 мкм; шарообразные бактерии – диаметр 0,5-1,2 мкм. Масса клетки составляет приблизительно $4\cdot10^{-13}$ г. Механизм разрушения клеточной оболочки обусловлен воздействием внешних динамических факторов и характеризуется совокупностью причин:

- осмотический шок, при этом оболочка клеток вирусов разрывается под давлением воды, проникающей через оболочку;
- температурный шок - воздействие резко контрастных температур на клетки;
- механические и термомеханические шоки, при этом происходит механическое деформирование клеточной оболочки и разрушение за счет интенсивных механических воздействий.

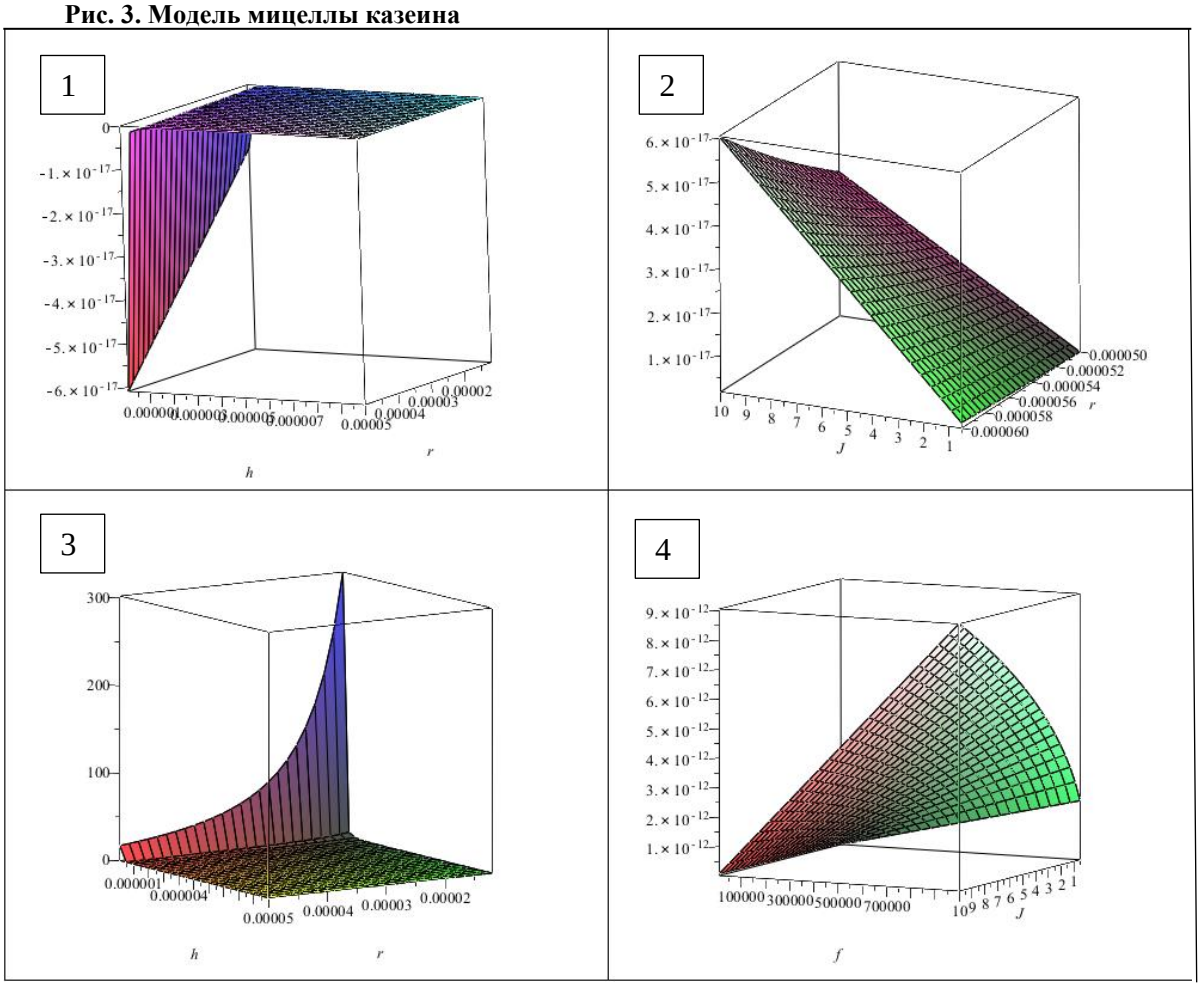


Рис. 4. График зависимости:
1 - энергии взаимодействия (связи) *U* (Дж) сферических частиц от радиуса *r* (см) и расстояния *h* (см) между ними; 2 - энергии звуковой волны *U* (Дж) в элементарном объеме дисперсной среды радиусом *r* (см) от силы звука *J* (Вт/см^2); 3 - силы звука *J* (Вт/см^2), определяющей область устойчивости и разрушения структуры от ее размеров *r* (см) и расстояния *h* (см) между элементами системы; 4 - напряжения σ (н/см^2) на оболочке клетки от силы звука *J* (Вт/см^2) и частоты *f* (Гц)

Осмотический шок и гибель микроорганизмов связаны с разрывом клеточной оболочки от ударного динамического воздействия импульса давления. Бактериальная клетка находится в равновесном состоянии с окружающей средой с давлением p_0. Осмотическое давление $\pi_o > p_0$ действует на внутреннюю поверхность клеточной стенки, вследствие чего в структуре стенки возникает растягивающее напряжение σ. При увеличении давления на величину $\Delta p = p_{max} - \pi_o$ происходит сжатие клеточной оболочки и, как следствие, к возрастанию потенциальной энергии, и после резкого снижения внешнего давления потенциальная энергия преобразуется в кинетическую в виде ударного действия на внутреннюю поверхность клеточной оболочки. При условии если амплитуда импульса давления превысит пределы критического значения $p_{max} > p_{кр}$, ударный импульс может привести к разрушению клетки.

В случае возникновения температурного шока при обработке клеток малоинтенсивным УЗ до возникновения кавитации прирост температуры протоплазмы выражается [21]:

$$\Delta T = (kJt\pi r^2)/ m_n c_n , \qquad (14)$$

где ΔT – прирост температуры протоплазмы; k – термический эквивалент работы; J – сила звука; t – время обработки; r – радиус клетки; m_n – масса протоплазмы; c_n – теплоемкость протоплазмы.

Стойкость клеток оценивается по пределу прочности вещества клеточных оболочек (табл. 2) [20, 21].

Таблица 2

Предел прочности клеточных оболочек

Клетка	Предел прочности, дин/см^2
Растительное волокно	$3\cdot10^{11}$-10^{12}
Мышечное волокно	$5\cdot10^{3}$-10^{4}
S. pombe	(19-37)$\cdot10^{6}$(при 93^{o}C)
E. coli	(19-37)$\cdot10^{6}$(при 93^{o}C)

Оценка напряжений в оболочке клетки определяется [22]:

$$\sigma = \Delta P \delta , \qquad (15)$$

где $\delta = r/2h$, r – средний радиус, h – толщина оболочки; $\Delta P = dP2r$; $dP = 0.185\ f\ (J\rho/c)^{0.5}$ – средний градиент давления на участке между точками максимума звукового давления (н/см^3).

Таблица 3

Средний радиус δ для микробных клеток

Клетка	$\delta = r/2h$
Кишечная палочка	10-30
Кокки	2-10
Животная клетка	100-3000
Растительная клетка	50-300

Напряжение на оболочке клетки составит:

$$\sigma = 0{,}185 f (J\rho/c)^{0.5} 2r\delta . \qquad (16)$$

Ориентировочные значения величины δ для микробных клеток приведены в табл. 3 [21]

На графике рис. 4 представлены расчетные значения возникающих напряжений на оболочке клетки.

Анализ полученных зависимостей (см. графики 3 и 4 на рис. 4) показывает, что разрушение бактериальной среды значительно превосходит энергию связи мицеллярной структуры молока. При этом эффективное разрушение балластной микрофлоры происходит при значениях силы звука и частотах, превосходящих пороговые значения возникновения кавитации в водной среде. Учитывая, что жидкие пищевые продукты имеют значительные флуктуации внутренней структуры, то процесс возникновения нелинейных явлений наиболее вероятен даже при значениях ниже, приведенных в табл. 1. Поэтому применение УЗ для высокоструктурированных жидкостей (молоко, соки) возможно лишь в ограниченных случаях и при сочетании иных методов энергетического воздействия, с проведением анализа происходящих изменений самой структуры продукта.

Заключение

Механизм бактерицидного действия УЗ в литературе объясняется кавитационно-механической и кавитационно-электрохимической гипотезами [23, 24]. Согласно первой считают, что ультразвуковые волны, распространяясь в упругой среде, вызывают в ней попеременные сжатия и разряжения. В клетке создаются огромные давления, достигающие десятков и сотней мПа, что вызывает механическое разрушение цитоплазматических структур и гибель клетки. Кавитационно-электрохимический механизм объясняет ионизацию паров жидкостей и присутствующих в ней газов при образовании кавитационного пузырька. При разрыве пузырька происходит электрический разряд, сопровожда-

ющийся резким повышением температуры и образованием в кавитационной полости электрического поля высокого напряжения. При этом пары жидкости и высокомолекулярные соединения в полости расщепляются на водород и гидроксильную группу с образованием активного кислорода, перекиси водорода, азотистой и азотной кислот, в результате чего происходят инактивация ферментов и коагуляция белков. Все это обусловливает гибель микробной клетки [24, 25]. Наиболее опасен для жизнедеятельности микробов низкочастотный УЗ (от 20 кГц до 100 кГц), приводящий в первую очередь к их дезинтеграции [5, 26, 27]. Однако эффективность действия УЗ при одной и той же интенсивности и частоте колебаний также зависит от продолжительности воздействия, химического состава облучаемой среды, ее вязкости, температуры, pH и исходной степени обсемененности микроорганизмами [5, 28].

Многочисленные исследования показывают, что дезактивирующее звуковых волн проявляется в жидкостях, содержащих газ, т.е. условие возникновение кавитации является необходимым для разрушения микроорганизмов, температура среды усиливает эффект воздействия УЗ.

Одной из основных особенностей воздействия УЗ на микроорганизмы можно считать его влияние на клеточные мембраны. Действие УЗ может приводить к существенному изменению механических, электрических и иных свойств клеточных мембран, а также к нарушению внутреннего состава клеток и изменению концентраций веществ, растворенных в цитоплазме [26, 29, 30, 31].

При длительном воздействии УЗ последствия остаются в течение некоторого времени после прекращения облучения, и нормальная жизнедеятельность клетки может не восстановиться в течении минут, часов или даже дней [31]. Разрыв клеточных мембран и нарушение механической целостности клеток — наиболее очевидное из возможных последствий ультразвукового облучения [29].

Установлено, что особенно опасен для микроорганизмов низкочастотный УЗ, т.к. мощный низкочастотный ультразвук способен механически разрывать клеточные мембраны, что приводит к нарушению целостности и гибели клеток [26, 32]. Однако даже при низких частотах механическое повреждение и гибель клеток происходят только при достаточно высоких интенсивностях УЗ, существенно превышающих физиологические дозы [30]. Изменение свойств мембраны под действием УЗ обусловлено по большей части «отрыванием» мощным излучением макромолекул и молекулярных комплексов с внешней поверхности мембраны.

Оторванные соединения растворяются в окружающей среде и могут снова «вернуться» на свое прежнее место через некоторое время после прекращения ультразвукового воздействия. Оставшись без определенных составляющих, мембранные каналы меняют свою проводимость и иные свойства, в результате чего мембрана начинает аномально функционировать.

У некоторых бактерий под действием УЗ наблюдается генерация мембраной электрического потенциала действия. Это вынужденное возбуждение связано с описанным выше изменением электрических свойств мембраны [31, 33]. Решение ряда задач, связанных с практическим применением УЗ, предполагает изучение характера акустического поля, т. е. распределения в пространстве звукового давления или интенсивности [5, 28].

В последующие годы было опубликовано большое число работ о действии акустических волн на бактерии и вирусы. При этом выяснилось, что результаты могут быть очень разнообразные: с одной стороны, исследователи наблюдали повышение агглютинации, потерю вирулентности, или полную гибель бактерий, с другой стороны, отмечался обратный эффект – увеличение числа жизнеспособных особей. Последнее особенно часто имело место после кратковременного облучения. Очевидно, кратковременное действие УЗ способствует механическому разделению скоплений бактериальных клеток, благодаря чему каждая отдельная клетка дает начало новой колонии [5, 30, 34, 35].

Известно, что применение ультразвуковых волн малых интенсивностей (до 2 Вт/см^2) обычно вызывает положительные биологические эффекты [35, 36]. В опытах многих исследователей после обработки микроорганизмов ультразвуком малой интенсивности наблюдалось увеличение их чувствительности к лекарственным, противомикробным препаратам и дезинфицирующим средствам вследствие повышения проницаемости оболочки микробных клеток [37, 38].

Применение сравнительно больших интенсивностей (3-10 Вт/см^2) и длительное облучение, как правило, вызывают необратимые повреждения клеток, УЗ способствует разрыву клеточных стенок и мембран, повреждению флагеллина у подвижных форм микроорганизмов в результате возникновения высокого давления внутри клетки или появлении гидрок-

сильных радикалов и атомарного кислорода в водной среде цитоплазмы. Известно, что при превышении определенной пороговой интенсивности УЗ, соответствующей возникновению в среде кавитации, происходит разрушение различных бактерий и вирусов; при этом имеет место прямо пропорциональная зависимость между интенсивностью ультразвука и разрушающим эффектом. Ниже такого порога интенсивности УЗ не только не наступает разрушение жизнеспособных микроорганизмов, но при определенных условиях происходит стимуляция их роста и, как следствие, увеличение их числа [5, 30].

Ультразвуковое воздействие на жидкие пищевые продукты с целью уничтожения балластной микрофлоры возможно при условии больших значений интенсивности УЗ волн или развитой в среде кавитацией, что приводит к разрушению не только клеточных оболочек микроорганизмов, но и к распаду межмолекулярных связей в биологической структуре и изменению качественных показателей исходного продукта. Указанные недостатки ограничивают область возможного применения УЗ воздействия, поэтому наиболее целесообразно использовать УЗ для очистки и обеззараживания технологического оборудования по переработки жидких пищевых продуктов [39].

Литература

1. Обработка молока УЗ излучением // Молочная промышленность. – 2000. – № 8.
2. *Хмелев В.Н., Попова О.В.* Многофункциональные ультразвуковые стерилизации и их применение в фермерских хозяйствах: монография. Барнаул: Алтайский ГТУ, 1997. – 160 с.
3. *Сниба Е.А., Хмелев В.Н.* Стерилизация молока с помощью ультразвука. Бийск: БТИ, 2001.
4. *Сукиасян С.М., Шилин В.А.* Устройство для обработки молока ультразвуком // Сельский механизатор. – 2009. – №11.
5. *Бергман Л.* Ультразвук и его применения в науке и технике: пер. с нем. / Под ред. В.С. Григорьева и Л.Д. Розенберга. М.: Изд-во иностранной литературы, 1957. – 726 с.
6. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.И.* Теория волн: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 432 с.
7. *Акопян В.Б., Ершов Ю.А.* Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 206 с.
8. *Промтов М.А.* Кавитация: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3
9. *Урьев Н.Б.* Высококонцентрированные равновесные дисперсные системы. М.: Химия, 1980. – 320 с.
10. *Ребиндер П.А.* Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979.
11. *Лифшиц Е.М.* // Журнал экспериментальной и теоретической физики (ЖЭТФ). – 1955. – Том 29. – С. 94.
12. HamakerH.C. – Physica, 1937, v.4, №10, p. 1058-1079.
13. *Зимон А.Д.* Адгезия пыли и порошков. М.: Химия, 1976. – 432 с.
14. *Дзялошинский И.Е, Питаевский Л.П.* // Журнал экспериментальной и теоретической физики (ЖЭТФ). – 1959. – Том 36. – С. 1797.
15. *Дзялошинский И.Е., Лившиц Е.М., Питаевский Л.П.* // Успехи физических наук (УФН). – 1961. Том 73. – С. 381-422.
16. Ребиндер П.А., Влодавец И.Н. Проблемы физической химии молока // Молочная промышленность. – 1967. – №12. – С. 1-3.
17. *Твердохлеб Г.В., Рамаускас Р.И.* Химия и физика молока и молочных продуктов. М.: Дели принт, 2006-360 с ,
18. *Тепел А.* Химия и физика молока и молочных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1979 – 379 с.
19. Электронный ресурс: Режим доступа: http://molokoportal.ru/kolloidnaya-sistema-moloka/
20. *Фихте Б.А., Гуревич Г.А.* Ультразвуковая дезинтеграция микроорганизмов. Пущино, 1984. – 400 с.
21. *Шапкаев Э.Г., Цыренов В.Ж., Чебунина Е.И.* Дезинтеграция клеток в биотехнологии: Учеб. пособие. Улан-Удэ: ВСГТУ, 2001. – С. 96.
22. *Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.В.* Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим заполнителем. М.: Наука, 1977. – 184 с.
23. *Антушева Т.И.* Некоторые особенности влияния ультразвука на микроорганизмы // Живые и биокосные системы. 2013. №4; URL: http:// www.jbks.ru/archive/issue- 4/article-11
24. *Перельман М.И., Моисеев В.С.* Бактерицидное действие ультразвука // В кн.: Проблемы техники в медицине. Таганрог, 1980. С. 38-41.
25. *Weissler A.* Formation of hydrogen peroxide by ultrasonik waves: free radicals // J. Am. Chem. Soc. 1959. Vol. 81. - P. 1077-1081.
26. *Исаенко Е.Ю.* Применение ультразвука для дезинтеграции микробных клеток. [Электронный ресурс] // Annals of Mechnicov Institute. – 2008. №1. – С. 5-9. URL: http://www.imiamn.org/journal.htm .
27. *Шиляев А.С.* Ультразвук в науке, технике и технологии. Гомель: Институт радиологии, 2007. – 412 с.
28. Физические основы применения ультразвука в медицине и экологии: учеб.-методич. пособие / Под ред. С.П. Кундаса. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 110 с.
29. *Мошашвили И.Я., Селезнева С.Н., Сандулова С.Л.* Электронно-микроскопическое изучение морфологии коклюшных микробов, обработанных ультразвуком // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1969. – № 6. – С. 126-128.
30. *Сидоров М.А.* О действии ультразвука на некоторые патогенные анаэробные и аэробные микроорганизмы: Автореф. дис. … канд. вет. наук. М., 1964. – 24 с.
31. *Сорока С.А.* Влияние акустических колебаний на биологические объекты // Вибрация в технике и технологиях. – 2005. – № 1. – С. 39-41.

32. *Шапхаев Э.Г., Цыренов В.Ж., Чебунина Е.И.* Основы биотехнологии. Дезинтеграция микробных клеток. Улан-Уде, 2005. С. 53–65.
33. *Перельман М.И., Моисеев В.С.* Бактерицидное действие ультразвука // В кн.: Проблемы техники в медицине. Таганрог, 1980. – С. 38-41.
34. *Перс И.Ф., Жданова Л.Г.* Действие ультразвука на биологические свойства бактерий кишечной группы. Сообщение IT. Изменение биохимических свойств и антигенной структуры шигелл и сальмонелл под влиянием ультразвука // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1964. – №3. – С. 27.
35. *Harvey E.N., Loomis A.L.* High Frequency Sound Waves of Small Intensity and Their Biological Effects // Nature. – 1928. – №121. – P. 622.
36. *Dison M., Pond J.* The effect of pulsed ultrasound on tissue regeneration // Physiotherapy. – 1978. – Vol. 64. – №4. – С. 105-108.
37. *Кирющенкова С.В.* Сравнительная микробиологическая оценка эффективности физических методов лечения гнойных ран [Электронный ресурс] //ГОУ ВПО «Смоленская государственная медицинская Академия МЗ и СР РФ», Смоленск, 2005. Режим доступа: http://www.dissercat.com/.
38. *Сабельникова Т.М., Черкашин В.В., Половой А.М.* Совместное воздействие ультразвука и антисептиков на гноеродные бактерии // Труды МВТУ им. Н.Э. Баумана. – 1980. – №319. Ультразвук и другие виды энергии в хирургии. – С. 59-63.
39. *Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А.* Модульная установка с использованием ИК- и УФ-излучателей // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – №3(20). – С. 38-43.

Сведения об авторе:

Кузьмичев Алексей Васильевич – научный сотрудник, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия, e-mail: alkumkuzm@mail.ru

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF ULTRASOUND FOR HANDLING OF LIQUID FOOD

A. Kuz'michev

An urgent task is the need to develop and implement new efficient methods of disinfecting liquid food products and technological lines for recycling. The method of ultrasonic affecting finds wide application for management of kinetics of a leakage of chemical, biochemical and biological processes in various medium. Considerable positive experimental and scientific experience on use of ultrasound and ultrasonic cavitation for the purpose of decomposition of microbiological structures is accumulated. In this connection there was a problem in extending of the gained results for a decontamination of liquid foodstuff (milk, juice, water). At a water treatment this method gained enough wide circulation and the positive experience is accumulated, allowing to size up it as a highly effective way. Despite a considerable quantity of the scientific publications proving possibility of use of ultrasonic affecting for machining of milk and other foodstuff, there is no uniform methodological approach to the description of processes and structural changes in biological medium. The paper discusses the effect of ultrasound and ultrasonic cavitation effect to the destruction of bacterial cells and the effect on the structure of milk micelles. The physical model and the mathematical description of power affecting of ultrasound on microbiological structures is considered. It is shown that the magnitude of pressure pulses, the sound intensity required to break the bacterial cell aggregate resistance exceeds the limits of milk casein micelles.

Keywords: cavitation, ultrasound, frequency, pressure, sound intensity, decontamination, destruction, the bacterial cage, milk.

References

1. Obrabotka moloka UZ izlucheniem [Handling of milk of BONDS radiation], J. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry]. 2000. No. 8.
2. Khmelev V.N., Popova O.V. Mnogofunkcional'nye ul'trazvukovye sterilizacii i ih primenenie v fermerskih hozyajstvah [Multipurpose ultrasonic sterilizations and their application in farms]: the monograph, Barnaul: Altai GTU, 1997. 160 ps.
3. Sniba E.A., Hmelev V. N. Sterilizaciya moloka s pomoshch'yu ul'trazvuka [Sterilization of milk by means of ultrasound] – Biysk: BTI, 2001.
4. Sukiasyan S.M., Shilin V.A. Ustrojstvo dlya obrabotki moloka ul'trazvukom [Ustroystvo for milk handling by ultrasound], J. *Sel'skij mekhanizator* [The Rural machine operator], 2009, No. 11.
5. Bergman L. Ul'trazvuk i ego primeneniya v nauke i tekhnike [Ultrasound and its applications in the science and technology] / Lane with it., under the editorship of V. S. Grigoriev and L. D. Rosenberg. – Moscow, Publishing house of foreign literature, 1957, 726 ps.
6. Vinogradova M.B., Rudenko O.V., Sukhorukov A.I. Teoriya voln [Theory of waves]: Education guidance. 2nd prod., reslave. and additional. – Moscow, Nauka, Main edition physical. - mat. literatures, 1990, 432 ps.
7. Akopyan V. B., Yershov Yu.A. Bases of interaction of ultrasound with biological objects. – Moscow, MSTU Publishing house of N. E. Bauman, 2005, 206 ps.
8. Promtov M.A. Kavitaciya [Cavitation]: [Electronic resource]. Access mode: http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort= &id=3
9. Uryev N.B. Vysokokoncentrirovannye ravnovesnye dispersnye sistemy [The high-concentrated equilibrium disperse systems]. – M.: Khimija, 1980, 320 ps.
10. Rehbinder P. A. Izbrannye trudy. Poverhnostnye yavleniya v dispersnyh sistemah. Fiziko- himicheskaya mekhanika [Chosen works. The superficial phenomena in disperse systems. Physical and chemical mechanics], Moscow, Nauka, 1979.
11. Lifshits E.M., *Zhurnal jeksperimental'noj i teoreticheskoj fiziki* (J.ETF), 1955, No.29, p. 94.

12. Hamaker H.C. J. *Physica* [Physica], 1937, vol. 4, No.10, p. 1058-1079.
13. Zimon A.D. Adgeziya pyli i poroshkov [Adhesion of dust and powders]. Moscow, Khimija, 1976, 432 ps.
14. Dzyaloshinsky I.E., Pitayevsky L.P., *Zhurnal jeksperimental'noj i teoreticheskoj fiziki* (J.ETF), 1959, No. 36, p. 1797.
15. Dzyaloshinsky I.E, Livshits E.M., Pitayevsky L.P., J. *Uspehi fizicheskih nauk*, 1961, No 73, p. 378.
16. Rebinder P.A., Vlodavec I.N. Problemy fizicheskoj himii moloka [Problems of physical chemistry of milk], J. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 1967, No. 12, p. 1-3.
17. Tverdokhleb G.V., Ramauskas R.I. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov [Chemistry and physicist of milk and dairy products], Moscow, Delhi print, 2006, 360 ps.
18. Tepel A. Himiya i fizika moloka i molochnyh produktov [Himiya and the physicist of milk and dairy products], Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1979, 379 ps.
19. http://molokoportal.ru/kolloidnaya-sistema-moloka/
20. Fichte B.A., Gurevich G.A. Ul'trazvukovaya dezintegraciya mikroorganizmov [Ultrasonic disintegration of microorganisms]. Pushchino, 1984. 400 ps.
21. Shapkayev E.G., Tsyrenov V.Zh., Chebunina E.I. Dezintegraciya kletok v biotekhnologii: Uchebnoe posobie [Disintegration of cages in biotechnology]: Educational benefit, VSGTU, Ulan-Ude., 2001, p. 96.
22. Ilgamov M.A., Ivanov V.A., Revellers B.V. Prochnost', ustojchivost' i dinamika obolochek s uprugim zapolnitelem [Durability, stability and dynamics of covers with elastic filler], Moscow, Nauka, 1977, 184 ps.
23. Antusheva T.I. Nekotorye osobennosti vliyaniya ul'trazvuka na mikroorganizmy // Some features of influence of ultrasound on microorganisms//J. «Zhivye i biokosnye sistemy [Live and bioinert systems], 2013, No. 4; URL: http://www.jbks.ru/archive/issue - 4/article-11
24. Perelman M.I., Moiseyev B.C. Baktericidnoe dejstvie ul'trazvuka [Bactericidal action of ultrasound], J. *Problemy tekhniki v medicine* [Equipment Problems in medicine]. - Taganrog, 1980. P. 38-41.
25. Weissler A. Formation of hydrogen peroxide by ultrasonik waves: free radicals. J. *Am. Chem. Soc.*, 1959. Vol. 81. P. 1077-1081.
26. Isayenko E.Yu. Primenenie ul'trazvuka dlya dezintegracii mikrobnyh kletok [Application of ultrasound for disintegration of microbic cages]. [Electronic resource], Annals of Mechnicov Institute. 2008. No. 1. P. 5-9, URL: http://www.imiamn.org/journal.htm.
27. Shilyaev A.S. Ul'trazvuk v nauke, tekhnike i tekhnologii [Ultrasound in science, the equipment and technology]. Gomel: Institute of radiology, 2007. 412 ps.
28. Fizicheskie osnovy primeneniya ul'trazvuka v medicine i ehkologii [Physical bases of application of ultrasound in medicine and ecology]: educational and methodical benefit / Under a gen. edition of professor S.P. Kundas. Minsk: MGEU of A.D. Sakharov, 2009. 110 ps.
29. Moshiashvili I.Ya., Seleznyova S.N., Sandulov S.L. Ehlektronnomikroskopicheskoe izuchenie morfologii koklyushnyh mikrobov, obrabotannyh ul'trazvukom [Electronic and microscopic studying of morphology the koklyushnykh of the microbes processed by ultrasound]. Journal of microbiology, epidemiology and immunobiology. 1969. No. 6. P. 126-128.
30. Sidorov M.A. O dejstvii ul'trazvuka na nekotorye patogennye anaehrobnye i aehrobnye mikroorganizmy [About action of ultrasound on some pathogenic anaerobic and aerobic microorganisms]: Abstract of the thesis. Moscow, 1964. 24 ps.
31. Soroka S.A. Vliyanie akusticheskih kolebanij na biologicheskie ob"ekty [Influence of acoustic vibrations on biological objects], J. *Vibraciya v tekhnike i tekhnologiyah* [Vibration in the equipment and technologies]. 2005. No. 1. P. 39-41.
32. Shapkhayev E.G., Tsyrenov V.Zh., Chebunina E.I. Osnovy biotekhnologii. Dezintegraciya mikrobnyh kletok. [Biotechnology bases. Disintegration of microbic cages]. Ulan-Ude, 2005. P. 53-65.
33. Perelman M.I., Moiseyev B.C. Baktericidnoe dejstvie ul'trazvuka [Bactericidal action of ultrasound], In the book: Equipment problems in medicine. Taganrog, 1980. P. 38-41.
34. Perce I.F., Zhdanova L.G. Dejstvie ul'trazvuka na biologicheskie svojstva bakterij kishechnoj gruppy [Action of ultrasound on biological properties of bacteria of intestinal group]. Message IT. Change of biochemical properties and anti-gene structure of shigellas and salmonellas under the influence of ultrasound, J. *Zhurnal mikrobiologii, jepidemiologii i immunobiologii,* 1964. No. 3. P. 27.
35. Harvey E.N., Loomis A.L. High Frequency Sound Waves of Small Intensity and Their Bio-logical Effects, J. *Nature.* 1928. No. 121. P. 622.
36. Dison M., Pond J. The effect of pulsed ultrasound on tissue regeneration, J. P*hysiotherapy*. 1978. Vol. 64. No. 4. P. 105-108.
37. Kiryushchenkova S.V. Sravnitel'naya mikrobiologicheskaya ocenka ehffektivnosti fizicheskih metodov lecheniya gnojnyh ran [Comparative microbiological efficiency evaluation of physical methods of treatment of purulent wounds]: An electronic resource, Public Educational Institution of Higher Professional Training MZ and SR Russian Federation Smolensk State Medical Academy, Smolensk, 2005. Mode of a dotstup: http://www.dissercat.com
38. Sabelnikova T.M., Cherkashin V.V., Sexual A.M. Sovmestnoe vozdejstvie ul'trazvuka i antiseptikov na gnoerodnye bakterii [Joint impact of ultrasound and antiseptic tanks on gnoyerodny bacteria], *Works of MVTU of N. E. Bauman*. 1980. No. 319. Ultrasound and other types of energy in surgery. P. 59-63.
39. Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A. Modul'naya ustanovka s ispol'zovaniem IK- i UF- izluchatelej [Modular installation with use of IK - and UF-of radiators], J. *Vestnik VIESH*. 2015. No. 3(20). P. 38-43.

Author:
A. Kuz'michev – research associate,
e-mail: alkumkuzm@mail.ru
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia

УДК 631.234:628.8/.9

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СВЕТОДИОДНЫЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Н.П. Кондратьева, Р.Г. Большин, М.Г. Краснолуцкая
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия», г. Ижевск, Россия

Рассмотрены вопросы, связанные с разработкой энергоэффективных энергосберегающих разноцветных светодиодных установок для выращивания меристемных растений картофеля. Выращивание растений in vitro позволяет получить здоровый посадочный материал, из которого вырастают растения с высокой урожайностью. Рост меристемных растений сильно зависит от доз спектральных составляющих зоны фотосинтетически активной радиации (ФАР). Предложен алгоритм работы программируемого логического контроллера (ПЛК), позволяющий имитировать необходимые дозы спектральных составляющих зоны ФАР, что способствует рациональному использованию электрической энергии на цели облучения растений и повышению продуктивности растений.

Ключевые слова: *энергосбережение, энергоэффективность, светодиоды, интеллектуальные фитоустановки, электрооборудование, электротехнологии, защищенный грунт, фотосинтетически активная радиация (ФАР).*

Введение. Наращивание производства сельскохозяйственной продукции, обеспечивающее стратегическую безопасность и устойчивое снабжение населения страны продовольствием является одной из важнейших народнохозяйственных задач России, что способствует реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 – 2020 годы (Постановление Правительства РФ № 717 от 14 июля 2012 г.). В нашей стране одной из основных продовольственных культур является картофель. Семенной материал картофеля подвержен различным заболеваниям. Используя меристемное размножение картофеля, можно получить здоровый посадочный материал [1, 2, 3, 4].

При выращивании растений заграничного происхождения в сооружениях защищенного грунта необходимо принять во внимание, что до 95% урожая формируется за счет фотосинтетически активной радиации (ФАР) и что для получения наибольшей урожайности необходимо, используя светодиоды различных цветов, сымитировать дозы спектральных составляющих зоны ФАР генетической родины культуры. Для управления работой светодиодов одного цвета необходимо разработать соответствующий алгоритм для программируемого логического контроллера (ПЛК) [5, 6, 7, 8].

Метод исследования. Для получения максимальной урожайности культуры для ПЛК 63 была написана программа, позволяющая поддерживать требуемые научно обоснованные дозы спектральных составляющих зоны ФАР генетической родины картофеля государства Перу (рис. 1) [9, 10, 11].

При включении системы управления светодиодной фитоустановкой с разными по цвету светодиодами ПЛК начинает обзор данных с фотодатчиков, реагирующих на различную длину излучения зоны ФАР. При включении фитоустановки доза облучения не превышает заданного значения. Далее проверяется каждое последующее значение дозы при каждом опросе датчиков до тех пор, пока ее значение не достигнет заданного уровня. Как только это произойдет, ПЛК подает команду на отключение группы светодиодов соответствующего цвета. Мы разработали для ПЛК 63 фирмы «Овен» программу в среде программирования CoDeSys, в которой заложили данные по дозам спектрального состава зоны ФАР государства Перу.

Результаты экспериментов. Производственные испытания проводились в меристемной лаборатории ФГБНУ Удмуртского НИИСХ с 2009 по 2015 гг. (рис. 2).

В опытах 2012 г. исследовали влияние сине-красной LED фитоустановки с соотношением синих и красных светодиодов как 37% и 63%;

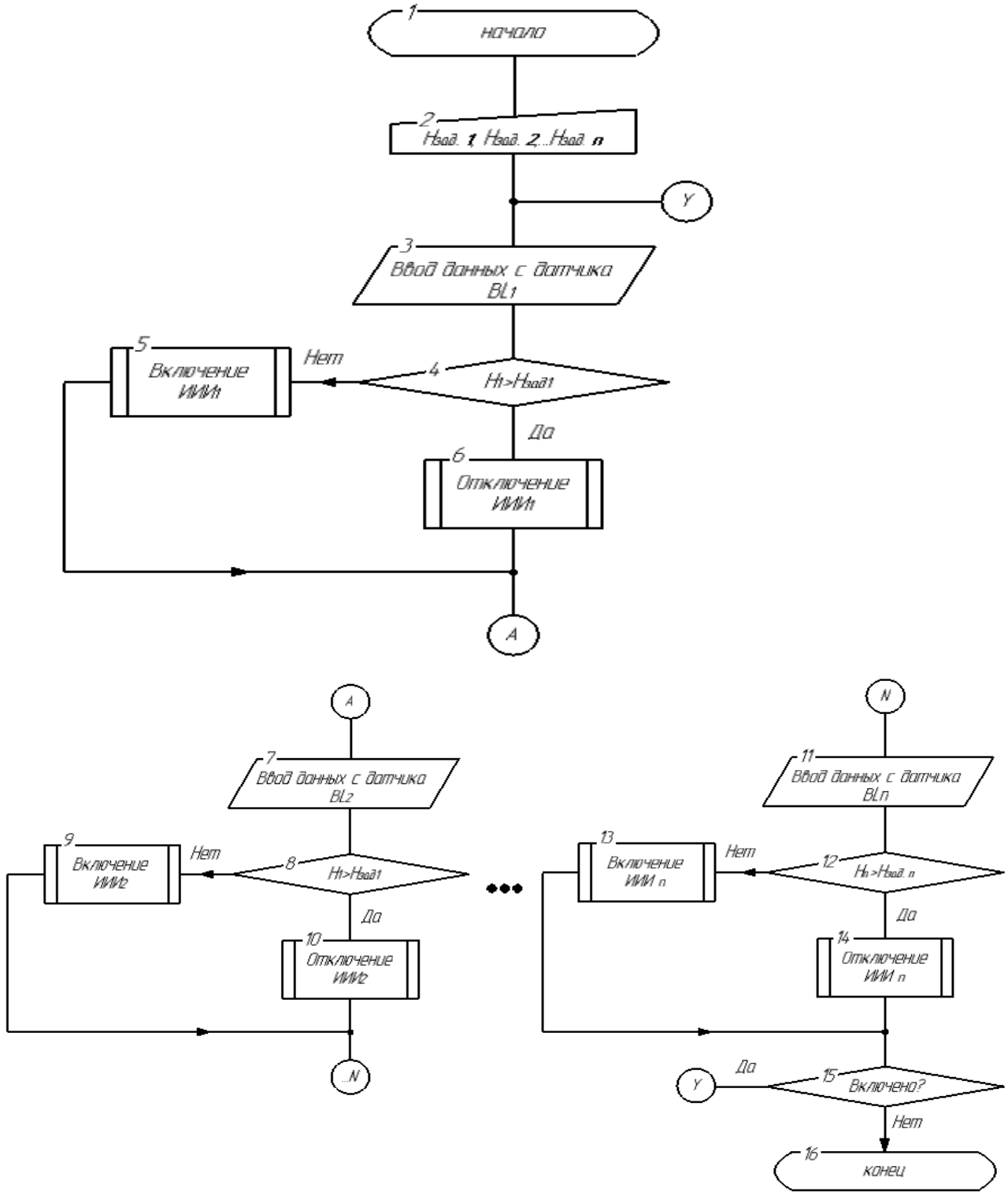


Рис. 1. Алгоритм управления ПЛК для светодиодных фитоустановок

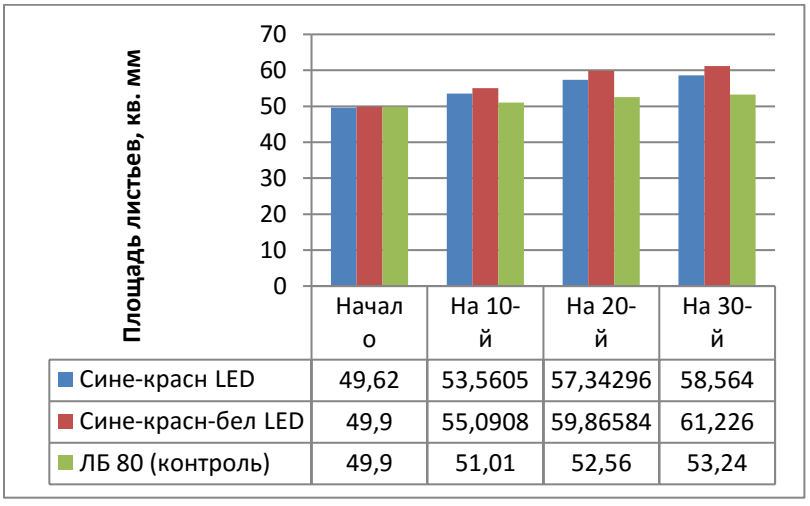
сине-красно-белой LED фитоустановки с соотношением синих, красных и белых светодиодов соответственно как 25%, 50 и 25%; контроль – люминесцентный светильник с лампами ЛБ 80.

Результаты по изменению площади листьев растений показаны на рис. 3.

Для измерения освещенности использовался люксметр ТКА, для измерения площади листьев – прибор-проектор (рис. 4).

В последующих опытах 2014 – 2015 гг. исследовалось влияние дозы отдельных составляющих ФАР на рост и развитие меристемных

Рис. 2. Общий вид меристемной лаборатории и одного стеллажа УНИИСХ



	Начало	На 10-й	На 20-й	На 30-й
Сине-красн LED	49,62	53,5605	57,34296	58,564
Сине-красн-бел LED	49,9	55,0908	59,86584	61,226
ЛБ 80 (контроль)	49,9	51,01	52,56	53,24

Рис. 3. Динамика изменения площади листьев при облучении разными по спектру источниками

а **б** **в**

Рис. 4. Люксметр ТКА (а), прибор-проектор для определения площади листьев меристемных растений (б), схема прибора-проектора (в):
1 – отражатель; 2 – источник излучения; 3 – матовое стекло; 4 – пробирка; 5– растение; 6 – мостик для закрепления растения; 7 – селеновый фотоэлемент; 8 – люксметр Ю-16

Таблица 1

Результаты исследований влияния доз спектральных составляющих зоны ФАР от излучения фитоустановок на развитие меристемного картофеля

Параметр	Облучательная установка		
	Схема Перу	Схема Краснодар	ЛБ 80 (контроль)
Действительное время работы облучательной установки, ч	480	480	480
Расход электроэнергии, %	56,84	56,84	100
Изменение площади листьев, %	121,35	116,78	100
Удельные затраты электроэнергии, %	43,52	48,2	100

а **б**

Рис. 5. Расположение меристемных растений на ленте с грунтом (а), клубни картофеля (посадочный материал) с меристемных растений (б)

растений картофеля. С помощью ПЛК 63, работающего по алгоритму, приведенному на рис. 1, поддерживались требуемые дозы составляющих зоны ФАР. В каждом опыте было по 60-90 растений.

Результаты расчетов показаны в табл. 1.

Анализ изменения площади листьев показал, что наибольшая площадь оказалась при выращивании растений под светодиодной фитоустановкой, имитирующей дозы зоны ФАР генетической родины картофеля – государства Перу.

В мае – июне меристемные растения высаживаются частично в горшочки, частично в грунт (рис. 5).

При высадке меристемных растений картофеля в грунт с одного куста собирают 10-12 клубеньков, стоимость каждого до 35 руб. С обычного куста собирают 7-9 клубеньков.

Выводы

1. Применение энергоэффективной энергосберегающей светодиодной фитоустановки с возможностью реализации научно обоснованных доз отдельных составляющих зоны ФАР позволило получить наибольшую продуктивность меристемных растений картофеля.

2. С одного куста меристемного картофеля впоследствии собирают по 10-12 клубеньков стоимостью каждого по 25-35 руб. С обычного растения картофеля собирают 7-9 клубеньков.

3. Разработанная система управления на базе ПЛК 63 для светодиодной фитоустановки позволяет имитировать спектральный состав излучения для любой конкретной местности в течение дня и на протяжении требуемого времени.

Литература

1. *Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Лебедев Л.Я.* Энергосберегающие электротехнологии облучения меристемных растений LED фитоустановками // В сб.: Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: Материалы XII Всероссий-

ской науч.-технич. конференции с международным участием в рамках III Всероссийского светотехнического форума с международным участием. Ижевск: Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева, 2015. – С. 252-255.
2. *Kondratieva N., Litvinova V., Bolshin R., Krasnolutskaya M.* Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet leds for protected soil // Yale review of education and science. – 2015. – Т. V. – № 1 (16). – С. 758-761.
3. *Kondrateva N.P., Filatova O.M., Bolshin R.G., Krasnolutskaya M.G.* Energesparende elektrotechnologie mit Nutzung von RGB-LEDS für die meristem Pflanzen // В сборнике: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer. 2015. С. 50-52.
4. *Кондратьева Н.П.* Прогрессивные электротехнологии и электрооборудование / *Кондратьева Н.П., Юран С.И., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Козырева Е.А., Баженов В.А.* // Вестник НГИЭИ. – 2016. – № 2 (57). – С. 49-57.
5. *Kondrateva N.P., Krasnolutskaya M.G., Bolshin R.G.* Progressive electric equiment and electro technologies for the protected soil // Asian Journal of Scientific and Educational Research. – 2015. – Т. II. – № 1 (17). – С. 848-852.
6. *Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г.* Энергосберегающее электрооборудование с использованием светодиодных технологий в защищенном грунте // Инновации в сельском хозяйстве: электронный журнал ВИЭСХ. – 2015. – № 4 (14). – С. 26-28.
7. *Шичков Л.П., Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р.* Особенности построения взаимосвязанных систем контроля и управления параметрами микроклимата // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды межд. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – Ч. 2. – С. 147-152.
8. *Глухов Д.А., Кондратьева Н.П.* Автоматизация расчетов освещения и облучения в сельском хозяйстве: В сб. Инновационные электротехнологии и электрооборудование – предприятиям АПК. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвященной 35-летию факультета электрификации и автоматизации сельского хозяйства (20 апреля 2012 г.). Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С. 76-79.
9. *Кондратьева Н.П., Коломиец А.П., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г.* Информационно-управляющие системы в электроэнергетике с использованием инструментального программируемого комплекса промышленной автоматизации "CODESYS" и "ZELIO SOFT": Учеб. пособие. Ижевск, 2015.
10. *Кондратьева Н.П., Широбокова Т.А., Ильясов И.Р.* Разработка программы управления ПЛК для регулирования параметров микроклимата на предприятиях АПК // В сб.: Роль молодых ученых-инноваторов в решении задач по ускоренному импортозамещению сельскохозяйственной продукции. Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. 2015. – С. 197-199.
11. *Кондратьева Н.П., Коломиец А.П., Владыкин И.Р., Баранова И.А.* Микропроцессорные системы управления: Учеб. пособие. Ижевск, 2015.

Сведения об авторах:

Кондратьева Надежда Петровна – д-р техн. наук, профессор.

Большин Роман Геннадьевич – аспирант.

Краснолуцкая Мария Геннадьевна – аспирант.

ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА», г. Ижевск, Россия, e-mail: aep_isha@mail.ru

---

ENERGY-EFFICIENT LED IRRADIATION FACILITY

N. Kondratyeva, R. Bolshin, M. Krasnolutskaya

The problems associated with the development of energy-efficient energy-saving multi-colored LED systems for growing meristem potato plants are considered. Cultivation of plants of in vitro allows to receive healthy landing material from which plants with high productivity grow. The growth of meristem plant strongly depends on the dose of the spectral components of photosynthetcally active radiation (PAR). The algorithm of programmable logic controller (PLC) work allowing to imitate necessary doses of spectral components of PAR zones that promotes rational use of electrical energy on the purpose of radiation of plants and to increase of productivity of plants is offered.

Keywords: energy saving, energy efficiency, light-emitting diodes, intellectual phytoinstallations, electric equipment, electrotechnologies, the protected soil, the photosynthetcally active radiation (FAR)

References

1. Kondratyeva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutskaya M.G., Lebedev L.Ya. EHnergosberegayushchie ehlektrotekhnologii oblucheniya meristemnyh rastenij LED fito-ustanovkami [Energy saving electrotechnologies of radiation the meristemnykh of plants of LED Phytoinstallations], In the collection: Problems and prospects of development of domestic lighting engineering, electrical equipment and power materials XII of the All-Russian scientific and technical conference with the international participation within the III All-Russian lighting forum with the international participation. Izhevsk, Mordovian state uni-

versity of N. P. Ogaryov. 2015. P. 252-255. (Russian)
2. Kondratieva N., Litvinova V., Bolshin R., Krasnolutskaya M. Energy-saving equipment: RGB technologies and ultra-violet leds for protected soil, *Yale review of education and science*. 2015. Vol. V. № 1 (16). P. 758-761
3. Kondrateva N.P., Filatova O.M., Bolshin R.G., Krasnolutskaya M.G. Energesparende elektrotechnologie mit Nutzung von RGB-LEDS für die meristem Pflanzen, In the collection: Applied Sciences and technologies in the United States and Europe papers of the 1st International Scientific Conference. Edited by Ludwig Siebenberg; technical editor: Peter Meyer. 2015. P. 50-52.
4. Kondratyeva N.P., Yuran S.I., Vladykin I.R., Baranova I.A., Kozyreva E.A., Bazhenov V.A. Progressivnye ehlektrotekhnologii i ehlektrooborudovanie [Progressive elektrotkhnologiya and electric equipment], J. *NGIEI bulletin*. 2016. No. 2 (57). P. 49-57. (Russian)
5. Kondrateva N.P., Krasnolutskaya M.G., Bolshin R.G. Progressive electric equiment and electro technologies for the protected soil, *Asian Journal of Scientific and Educational Research*. 2015. Vol. II. № 1 (17). P. 848-852
6. Kondratyeva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutskaya M.G. EHnergosberegayushchee ehlektrooborudovanie s ispol'zovaniem svetodiodnyh tekhnologij v zashchishchennom grunte [Energy saving electric equipment with use of LED technologies in the protected soil], J. *Innovacii v sel'skom hozyajstve* [Innovations in agriculture]. 2015. No. 4(14). P. 26-28. (Russian)
7. Shichkov L.P., Kondratyeva N. P., Vladykin I.R. Osobennosti postroeniya vzaimosvyazannyh sistem kontrolya i upravleniya parametrami mikroklimata [Features of creation of the interconnected control and management systems for microclimate parameters], Works of the international scientific and technical "*EHnergoobespechenie i ehnergosberezhenie v sel'skom hozyajstve"* [Power supply conference and energy saving in agriculture]. 2006. Part 2. P. 147-152. (Russian)
8. Glukhov D.A., Kondratyeva N.P. Avtomatizaciya raschetov osveshcheniya i oblucheniya v sel'skom hozyajstve [Automation of calculations of lighting and radiation in agriculture], In the collection: Innovative electrotechnologies and electric equipment - to the enterprises of agrarian and industrial complex materials of the All-Russian scientific and practical conference devoted to the 35 anniversary of faculty of electrification and automation of agriculture, on April 20, 2012. FGBOU VPO Izhevsk GSHA, 2012. P. 76-79. (Russian).
9. Kondratyeva N.P., Kolomiyets A.P., Vladykin I.R., Baranova I.A., Krasnolutskaya M.G., Bolshin R.G. Informacionno-upravlyayushchie sistemy v ehlektroehnergetike s ispol'zovaniem in-strumental'nogo programmiruemogo kompleksa promyshlennoj avtomatizacii "CODESYS" i "ZELIO SOFT" [Tool program complex of industrial automation "CoDeSys" and "Zelio Soft"], Manual. UMO of higher education institutions of the Russian Federation on agroengineering education as the manual for the students mastering programs of a magistracy for the direction of preparation of "Agroengineering" No. 07-08a/60 9/4/2015 is recommended. – Izhevsk, FGBOOU WAUGH the Izhevsk GSHA, 2015. 62 pp. (Russian)
10. Kondratyeva N. P., Shirobokov T.A., Ilyasov I.R. Razrabotka programmy upravleniya PLK dlya regulirovaniya parametrov mikroklimata na predpriyatiyah APK [Development of the program of management of PLK for regulation of parameters of a microclimate at the enterprises of agrarian and industrial complex], In the collection: A role of young scientists-innovators in the solution of tasks of the accelerated import substitution of agricultural production Materials of the All-Russian scientific and practical conference. 2015. P. 197-199. (Russian)
11. Kondratyeva N.P., Colomiyets A.P., Vladykin I.R., Baranova I.A. Mikroprocessornye sistemy upravleniya [Microprocessor control systems]: Manual. UMO of higher education institutions of the Russian Federation on agroengineering education as the manual for the students mastering programs of a bachelor degree for the direction of preparation of "Agroengineering" No. 07-08a/60 9/4/2015 is recommended. - Izhevsk: FGBOOU WAUGH the Izhevsk GSHA, 2015, 131 pp. (Russian)

Authors:

N. Kondratyeva – D. Sc. **(**Engineering), professor of The Automated Electric Drive chair FSBEI of HPE "Izhevsk State Agricultural Academy";
R. Bolshin – graduate student of department of the automated electric drive FSBEI of HPE "Izhevsk State Agricultural Academy";
M. Krasnolutskaya– graduate student of department of the automated electric drive FSBEI of HPE "Izhevsk State Agricultural Academy",
Izhevsk, Russia,
e-mail: aep_isha@mail.ru

УДК 658.513:004.85:614.8

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПОРТФОЛИО РАБОТНИКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.В. Халин[1,2], Е.Е. Михайлова[1]
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ),
[2]Научно-исследовательская и производственная фирма ТЕХИНТЕЛЛ (НИИПФ ТЕХИНТЕЛЛ), г. Москва, Россия

Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства формируется как персонифицированный электронный ресурс, содержащий детальные персональные профессиональные сведения о работнике, пополняемый и развиваемый ответственным за электробезопасное производство работ при обязательном участии самого работника с соблюдением всех требований конфиденциальности персонифицированной информации. Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства представляет собой единую гибкую сетевую информационную модель профессиональных и производственных характеристик в виде информационной среды, пополняемой актуальными персонифицированными профессиональными сведениями, причем при формировании электронного портфолио работника, используют основные персональные профессиональные сведения, необходимые для формирования рабочей и отчетной документации по обучению, дополнительные персональные профессиональные сведения для однозначного взаимосвязанного фиксирования сведений о производственном травматизме, производственно обусловленной заболеваемости и условиях труда на рабочем месте, а также об опасных и вредных производственных факторах, о средствах индивидуальной защиты и медицинских осмотрах и сведения об образовании, инструктажах и аттестации в течение трудовой деятельности конкретного работника. Сформированное электронное портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства, содержащее совокупность взаимосвязанных основных и дополнительных персональных и профессиональных сведений, а также сведений о знаниях и навыках работника используют при формировании индивидуально ориентированных программ обучения и аттестации по электробезопасности сельскохозяйственного производства данного работника, а также при выборе или переводе его на новое место работы.

Ключевые слова: *электронный портфолио, электронное обучение, электробезопасность сельскохозяйственного производства, профессиональные и производственные характеристики работника.*

Общие положения. Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства (ЭПР ЭСХ) рассматривается как совокупность электронных сведений, включающих информацию о результатах подготовки, инструктажей и аттестации работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства, о вредных и опасных производственных факторах и иных факторах условий труда, воздействовавших на работника, о производственном травматизме, производственно обусловленной заболеваемости, применяемых средствах индивидуальной защиты за весь (или любой учитываемый) период трудовой деятельности работника. ЭПР ЭБ создается в виде гибкой сетевой информационной модели профессиональных и производственных характеристик работника для обеспечения электробезопасности производства, а также для повышения эффективности электронного обучения работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства формируется как персонифицированный электронный ресурс, содержащий детальные персональные профессиональные сведения о работнике, пополняемый и развиваемый ответственным за электробезопасное производство работ при обязательном участии самого работника с соблюдением всех требований конфиденциальности персонифицированной информации.

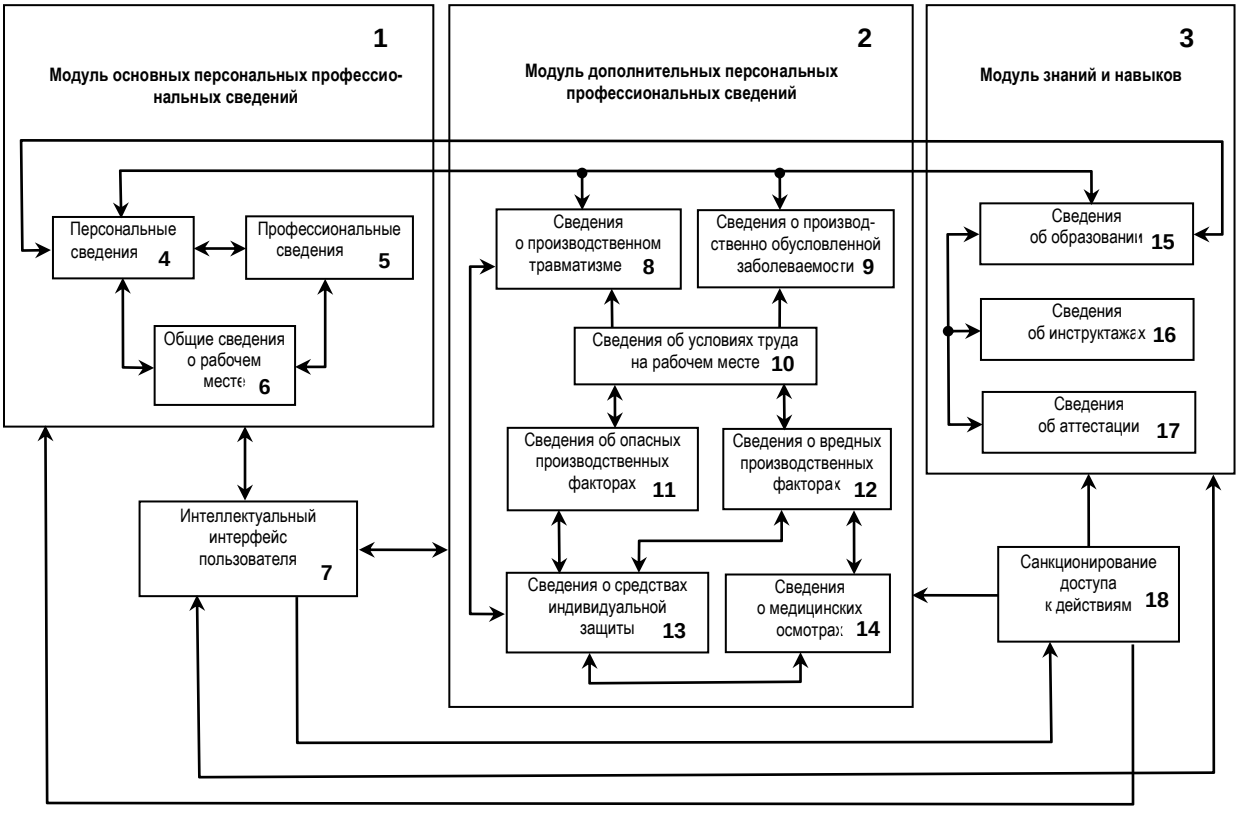


Рис. 1. Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства: 1 – модуль основных персональных профессиональных сведений о работнике; 2 – модуль дополнительных персональных профессиональных сведений о работнике; 3 – модуль сведений о знаниях и навыках работника; 4 – блок персональных сведений; 5 – блок профессиональных сведений; 6 – блок общих сведений о рабочем месте; 7 – блок интеллектуального интерфейса пользователя; 8 – блок сведений о производственном травматизме; 9 – блок сведений о производственно обусловленной заболеваемости; 10 – блок сведений об условиях труда на рабочем месте; 11 – блок сведений об опасных производственных факторах; 12 – блок сведений о вредных производственных факторах; 13 – блок сведений о средствах индивидуальной защиты; 14 – блок сведений о медицинских осмотрах; 15 – блок сведений об образовании; 16 – блок сведений об инструктажах; 17 – блок сведений об аттестации; 18 – блок санкционирования доступа к действиям

Принципы построения. Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства должен представлять собой единую гибкую сетевую информационную модель профессиональных и производственных характеристик в виде информационной среды, пополняемой актуальными персонифицированными профессиональными сведениями, причем при изготовлении (формировании, составлении) электронного портфолио работника, используют основные персональные профессиональные сведения, необходимые для формирования рабочей и отчетной документации по обучению, дополнительные персональные профессиональные сведения для однозначного взаимосвязанного фиксирования сведений о производственном травматизме, производственно обусловленной заболеваемости и условиях труда на рабочем месте, а также об опасных и вредных производственных факторах, о средствах индивидуальной защиты и медицинских осмотрах и сведения об образовании, инструктажах и аттестации в течение трудовой деятельности конкретного работника.

В ЭПР ЭСХ должны взаимосвязано накапливаться и постоянно пополняться при необходимости формализованные основные и дополнительные персональные профессиональные сведения и сведения о знаниях и навыках работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства, включая сведения об образовании, с применением интеллектуального интерфейса пользователя и санкционирования доступа к действиям по составлению

электронного портфолио для достижения необходимого уровня конфиденциальности сведений промышленного и корпоративного предназначения и персонифицированного характера.

Сведения, накапливаемые в ЭПР ЭСХ, должны обеспечивать формирование программ обучения для повышения эффективности и качества обучения персонала по электробезопасности сельскохозяйственного производства, для приобретения и формирования устойчивых и надежных электробезопасных производственных и профессиональных навыков персонала, для организации электробезопасной и эффективной трудовой деятельности конкретного работника в течение всего цикла производственной деятельности, включая перспективные рабочие места, для снижения производственного травматизма и производственно обусловленной заболеваемости по причинам некачественного обучения. Накапливаемая профессиональная информация о работнике по электробезопасности сельскохозяйственного производства, о его участии в производственных процессах, должна также обеспечивать принятие эффективных решений по трудоустройству и при смене вида деятельности, наиболее приемлемых и выгодных как работодателю, так и работнику.

Структура портфолио. В качестве модуля (обобщенного блока) электронного портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства рассматривается группа блоков, обеспечивающих реализацию завершенного цикла операций и действий со сведениями о работнике (данными и знаниями) для обеспечения электробезопасности сельскохозяйственного производства и электронного обучения персонала (рис. 1). ЭПР ЭБ включает три модуля – модуль основных персональных профессиональных сведений о работнике 1, модуль дополнительных персональных профессиональных сведений о работнике 2, модуль знаний и навыков работника 3, взаимосвязанные через блок интеллектуального интерфейса пользователя **7** при санкционировании доступа в блоке 18, при этом модули 1, 2 и 3 и блоки 7 и 18 образуют электронное портфолио работника по электробезопасности производства (см. рис.).

Модуль основных персональных профессиональных сведений о работнике 1 содержит взаимосвязанные блок персональных сведений 4, блок профессиональных сведений 5 и блок общих сведений о работнике 6.

Модуль дополнительных персональных профессиональных сведений о работнике 2 содержит взаимосвязанные блоки сведений о производственном травматизме 8, о производственно обусловленной заболеваемости 9, об условиях труда на рабочем месте 10, об опасных производственных факторах 11, о вредных производственных факторах 12, о средствах индивидуальной зашиты 13 и о медицинских осмотрах 14, причем блок сведений о производственном травматизме 8 и блок сведений о производственно обусловленной заболеваемости 9 взаимосвязаны с блоком персональных сведений 4 модуля основных персональных профессиональных сведений о работнике 1.

Модуль знаний и навыков работника 3 содержит взаимосвязанные блок сведений об образовании 15, который взаимосвязан с блоком персональных сведений 4 модуля основных персональных профессиональных сведений 1, блок сведений об инструктажах 16 и блок сведений об аттестации 17.

Порядок формирования и использования портфолио. На рабочем месте телекоммуникационной сети организации, используют прикладное программное обеспечение в режиме диалога с применением интеллектуального интерфейса пользователя при санкционировании доступа к действиям накапливают и пополняют основные и дополнительные персональные профессиональные сведения о работнике в модулях 1 и 2 и сведения о знаниях и навыках работника в модуле 3 с использованием интерактивных шаблонов и поэтапной оценки результатов сопоставления между содержанием сведений и знаний, выделенных в процессе диалога, и текущим наполнением модулей 1, 2 и 3 сведениями и знаниями о работнике, образующих электронное портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства.

В модуле основных персональных профессиональных сведений о работнике 1 взаимосвязано заносят в блоке 4 персональные сведения о работнике, включающие фамилию, имя, отчество работника, пол, дату рождения, номер страхового полиса, общий стаж работы, в блоке 5 профессиональные сведения о работнике, включающие наименования профессий, стаж работы по каждой профессии, в блоке 6 общие сведения о работнике, включающие наименование организации по месту работы, наименование подразделения организации, дату поступления на работу, табельный номер.

В модуле дополнительных персональных профессиональных сведений о работнике 2 заносят в блоке 8 сведения о производственном травматизме, включающие дату несчастного случая, характеристику последствий несчастно-

го случая, число дней нетрудоспособности, в блоке 9 сведения о производственно обусловленной заболеваемости, включающие вид заболевания, дату установления заболевания, исход нетрудоспособности, число дней нетрудоспособности, данные по диспансерному учету, в блоке 10 сведения об условиях труда на рабочем месте, включающие наименование рабочего места, вид технологического процесса, наименование опасных и вредных факторов рабочего места, в блоке 11 сведения об опасных производственных факторах, воздействовавших на работника в течение трудовой деятельности (например, сведения о работе на высоте, под водой, в электроустановках, при наличии различных видов движущихся машин и механизмов), в блоке 12 сведения о вредных производственных факторах, воздействовавших на работника в течение трудовой деятельности (например, сведения о неблагоприятных метеорологических условиях, запыленности, загазованности, шуме, вибрации, электромагнитных полях), в блоке 13 сведения о средствах индивидуальной защиты, применяемых работником в течение трудовой деятельности, включающие дату выдачи, норму выдачи, сроки носки, основание для выдачи, в блоке 14 сведения о медицинских осмотрах, включающие дату осмотра в лечебно профилактическом учреждении, дату осмотра в центре профессиональной патологии, периодичность осмотров, дату следующего медицинского осмотра. Сведения об условиях труда на рабочем месте, об опасных производственных факторах, о вредных производственных факторах, о средствах индивидуальной защиты и о медицинских осмотрах заносят взаимосвязано.

В модуле знаний и навыков работника 3 взаимосвязано заносят сведения об образовании работника в блоке 15, включающие сведения об общем образовании работника, профессиональном первом образовании, профессиональном втором образовании и другом профессиональном образовании работника при его наличии, об инструктажах работника в блоке 16, содержащие дату вводного инструктажа, дату внепланового инструктажа, дату первичного инструктажа, дату повторного инструктажа, дату целевого инструктажа, и об аттестации работника в блоке 17, включающие сведения по аттестации за весь период трудовой деятельности работника, в том числе дату аттестации, вид аттестации (первичная, очередная, внеочередная), характеристику предметной области аттестации (объем и содержание материала, предъявляемого работнику при аттестации).

Основные и дополнительные персональные профессиональные сведения о работнике, а также сведения о знаниях и навыках работника из электронного портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства используют для составления актуальных индивидуальных электронных программ подготовки, инструктирования и аттестации в соответствии с информационной моделью профессиональных характеристик работника, повышения эффективности поименованных программ, формирования устойчивых навыков и знаний по электробезопасности сельскохозяйственного производства, воздействия на снижение производственного травматизма и производственно обусловленной заболеваемости, для оценки уровня электробезопасности выполнения работником производственных заданий в течение всего цикла его производственной деятельности с использованием показателей производственного травматизма, производственно обусловленной заболеваемости собственно работника или возникших по его вине, получения статистической информации о не соблюдении сроков инструктажей и аттестации по вине работника, иных показателей и характеристик, согласованных и принятых самим работником, для принятия эффективных, приемлемых как работодателю, так и работнику, решений по трудоустройству.

Пример наполнения портфолио. На сетевом рабочем месте организации, используют прикладное программное обеспечение в режиме диалога с применением интеллектуального интерфейса пользователя при санкционировании доступа к действиям заносят, дополняют или изменяют взаимосвязано основные персональные профессиональные сведения об электрослесаре высоковольтных электроустановок, включая персональные сведения, в том числе фамилию, имя, отчество работника, пол, дату рождения, номер страхового полиса, общий стаж работы, профессиональные сведения, в том числе наименование профессии (электрослесарь электроустановок напряжением выше 1000 В), стаж работы по профессии (15 лет), общие сведения о работнике, в том числе наименование организации по месту работы электрослесаря, наименование подразделения, дату поступления на работу, табельный номер, и заносят, дополняют или изменяют взаимосвязано дополнительные персональные профессиональные сведения, включая сведения об имевшем место производственном травматизме (электротравматизме) в течение производственной деятельности, в том числе дату несчастного случая, характеристику последствий несчастного случая, число дней не-

трудоспособности, сведения об имевшей место производственно обусловленной заболеваемости в течение производственной деятельности, в том числе вид заболевания, дату установления заболевания, исход нетрудоспособности, число дней нетрудоспособности, данные по диспансерному учету, сведения об условиях труда на текущем рабочем месте, в том числе наименование рабочего места, вид технологического процесса, наименование опасных и вредных факторов рабочего места – работа на высоте более 2 метров, в электроустановках напряжением выше 1000 В, в зоне воздействия электромагнитных полей, сведения об опасных производственных факторах, воздействовавших на работника в течение трудовой деятельности (например, сведения о работе под воздействием иных, помимо указанных, опасных факторов), сведения о вредных производственных факторах, воздействовавших на работника в течение трудовой деятельности (например, сведения о работе под воздействием иных, помимо указанных, вредных факторов), сведения о средствах индивидуальной защиты, применяемых работником в течение трудовой деятельности (например, диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, экранирующий комплект с указанием даты выдачи, нормы выдачи, срока носки, основания для выдачи), сведения о медицинских осмотрах с указанием даты осмотра в лечебно-профилактическом учреждении, даты осмотра в центре профессиональной патологии, периодичности осмотров, даты следующего медицинского осмотра.

Также заносят, дополняют или изменяют взаимосвязано сведения о знаниях и навыках электрослесаря высоковольтных электроустановок по электробезопасности сельскохозяйственного производства, включая сведения об образовании с указанием общего и профессионального (если имеется, то второго и третьего профессионального образования), сведения об инструктажах на последнем месте работы с указанием при наличии даты вводного инструктажа, даты внепланового инструктажа, даты первичного инструктажа, даты повторного инструктажа, даты целевого инструктажа, сведения об аттестации работника за весь период трудовой деятельности с указанием даты аттестации, вида аттестации (первичная, очередная, внеочередная), характеристики предметной области аттестации с указанием объема и содержания материала, предъявляемого работнику при аттестации.

Сформированное электронное портфолио электрослесаря по электробезопасности сельскохозяйственного производства, содержащее совокупность взаимосвязанных основных и дополнительных персональных и профессиональных сведений, а также сведений о знаниях и навыках электрослесаря используют при формировании индивидуально ориентированных программ обучения и аттестации по электробезопасности производства данного работника, а также при выборе или переводе его на новое место работы.

Выводы

1. Электронный портфолио работника по электробезопасности сельскохозяйственного производства должен содержать взаимосвязанные модуль основных персональных профессиональных сведений, модуль дополнительных персональных профессиональных сведений и модуль сведений о знаниях и навыках работника, которые образуют единую информационно среду ЭПР ЭСХ в виде гибкой сетевой информационной модели для обеспечения электробезопасности сельскохозяйственного производства и повышения эффективности электронного обучения работника по электробезопасности производства.

2. Накапливание и пополнение сведений в ЭПР ЭСХ должно выполняться с применением сетевых прикладных программных средств в режиме диалога с использованием интеллектуального интерфейса пользователя и санкционирования доступа к действиям, с формированием информационной модели профессиональных и производственных характеристик работника по электробезопасности производства с изменяемым числом учитываемых характеристик при участии самого работника.

Литература

1. *Халин Е.В.* Компьютерные обучение и аттестация по электробезопасности производства. М.: Издво НЕЛА-Информ, 2006. – 208 с.
2. *Халин Е.В., Стребков Д.С., Липантьева Н.Н., Коструба С.И.* Основы электрической электробезопасности / Под ред. Е.В. Халина. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 584 с.
3. *Халин Е.В., Позднеев Б.М.* О национальном стандарте по электронному обучению электробезопасности производства // Охрана труда и техника электробезопасности на промышленных предприятиях. – 2015. – №6. – С. 49-55.
4. *Халин Е.В., Позднеев Б.М.* Первая редакция национального стандарта по электронному обучению электробезопасности производства // Инновационный менеджмент. – 2015. – №6. – С. 39-44.
5. *Халин Е.В., Гриб О.В., Резегин О.В.* Инновационные технологии обучения и аттестации персонала по электробезопасности производства // Вестник связи. – 2015. – №7. – С. 26-29.
6. *Халин Е.В., Гриб О.В., Резегин О.В.* Многофункциональные сетевые системы электронного обу-

чения электробезопасности производства на предприятиях связи // Менеджмент качества. – 2015. – №4. – С. 250-257.
7. *Халин Е.В., Гриб О.В., Резегин О.В.* Электронные формы обучения и аттестации персонала по электробезопасности производства в организациях связи // Электросвязь. – 2015. – №12. – С. 43-48.
8. *Халин Е.В., Михайлова Е.Е.* Применение интеллектуальной графики для обеспечения электроэлектробезопасности производства // Вестник ВИЭСХ. 2016. Вып. 1(22). С. 18-24.

Сведения об авторах:

Халин Евгений Васильевич – д-р техн. наук, ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия,
e-mail: orgelectro@mail.ru

Михайлова Елена Евгеньевна – научный сотрудник, ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия,
e-mail: orgelectro@mail.ru

WORKER ELECTRONIC PORTFOLIO FOR ENSURING ELECTRICAL SAFETY OF AGRICULTURAL PRODUCTION

Eu. Khalin, Ye. Mikhaylova

Electronic portfolio of electrical worker of agricultural production is formed as a personalized electronic resource containing detailed personal information about the employee professional, to enrich and to develop responsible for electrical safety performance of work with the obligatory participation of the employee in compliance with all the requirements of confidentiality of personalized information. Electronic portfolio on electrical safety of agricultural production is a single flexible network information model professional and production characteristics of the information environment, recharged relevant personalized professional information, and the formation of an electronic employee portfolio, use basic personal professional information necessary for the formation of working and reporting documentation training, additional personal professional information to uniquely interconnected fixing information on occupational injuries, work-related illness and working conditions in the workplace, as well as dangerous and harmful production factors for personal protection and medical examinations and information about education, instruction and certification in during the work of a particular employee. The formed electronic portfolio of the worker on electrical safety of agricultural production containing set of the interconnected main and additional personal and professional data, and also data on knowledge and skills of the worker is used when forming of individually focused programs of training and certification for electrical safety of agricultural production of this worker, and also at the choice or his transfer to the new place of work.

Keywords: electronic portfolio, electronic training, electrical safety of production, professional and production characteristics of the worker.

References

1. Khalin Eu.V. Komp'yuternye obuchenie i attestaciya po ehlektrobezopasnosti proizvodstva [Computer training and certification for safety of production]. Moscow, Publishing house NELA-Inform, 2006. – 208 ps.
2. Khalin Eu.V., Strebkov D.S., Lipantyeva N.N., Kostruba S.I. Osnovy ehlektricheskoj ehlektrobezopasnosti [Fundamentals of electrical safety]. – Moscow, VIESH, 2010. – 584 ps.
3. Khalin Eu.V., Pozdneev B.M. O nacional'nom standarte po ehlektronnomu obucheniyu ehlektrobezopasnosti proizvodstva [About the national standard on electronic training of safety of production], J. *Ohrana truda i tekhnika ehlektrobezopasnosti na promyshlennyh predpriyatiyah* [Labor protection and equipment of safety at the industrial enterprises], 2015, № 6, p. 49-55.
4. Khalin Eu.V., Pozdneev B.M. Pervaya redakciya nacional'nogo standarta po ehlektronnomu obucheniyu ehlektrobezopasnosti proizvodstva [The first edition of the national standard on electronic training of electrical safety of production], J. *Innovacionnyj menedzhment* [Innovative management], 2015, № 6, p. 39-44.
5. Khalin Eu.V., Grib O.V., Rezegin O.V. Innovacionnye tekhnologii obucheniya i attestacii personala po ehlektrobezopasnosti proizvodstva [Innovative technologies of training and certification of personnel for safety of production], J. *Vestnik svyazi* [Vestnik of communication*]*, 2015, №7, p. 26-29.
6. Khalin Eu.V., Grib O.V., Rezegin O.V. Mnogofunkcional'nye setevye sistemy ehlektronnogo obucheniya ehlektrobezopasnosti proizvodstva na predpriyatiyah svyazi [Multifunction network systems of electronic training of safety of production at telecommunications agencies], J. *Menedzhment kachestva* [Quality management], 2015, № 4, p. 250-257.
7. Khalin Eu.V., Grib O.V., Rezegin O. V. EHlektronnye formy obucheniya i attestacii personala po ehlektrobezopasnosti proizvodstva v organizaciyah svyazi Electronic forms of education and certifications of personnel for electrical safety of production in the organizations of communication, J. *Ehlektrosvyaz' [Electro communication]*, 2015, № 12, p. 43-48.
8. Khalin Eu.V., Mikhaylova E.E. Application of intelligent graphics for ensuring electrical safety of production, J. *Research in Agricultural Electric Engineering*, 2016, Volume №4 (1), p. 8-14.

Authors:

Eu. Khalin – D. **Ss.** (Engineering),
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: orgelectro@mail.ru

Ye. Mikhaylova – research associate**,**
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: orgelectro@mail.ru

УДК 631.35

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ КОМБАЙНА ПРИ УБОРКЕ РИСА

Н.А. Умбаталиев[1], М.С. Тойлыбаев[1], М.С. Тургенбаев[2]
[1]Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы, Казахстан
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Основная цель исследования – определение оптимальных параметров механизмов и устройств комбайна на этапе подготовки к обмолоту и отбору зерна из рисовой биомассы. Использованы теоретико-прикладные методы, основанные на объективных и воспроизводимых признаках, входящих в многоуровневую методологическую концепцию научного познания динамики физических процессов. Оптимизированы основные параметры рабочих органов комбайна.

Ключевые слова: *комбайн; входные и выходные параметры; целевая функция; модель многоцелевой оптимизации основных параметров управляющего устройства для разравнивания валка риса; уравнение регрессии; технологический процесс обмолота риса.*

Введение. Для исследования механизма согласованной работы всех устройств комбайна, участвующих в разравнивании валка риса, используем концепцию «черного ящика» (рис. 1). Система имеет некий «вход» для ввода информации о регулируемых параметрах управляющего устройства и «выход» для отображения результатов разравнивания валка риса, характеризуемых критериями оптимизации. Состояние параметров выходов Y предположительно функционально зависит от состояния входов X. Вид зависимости $Y = f(X)$ неизвестен и ее можно установить по наблюдаемым экспериментальным данным, используя корреляционно-регрессионный анализ [1, 2].

Основная часть. Регулируемые параметры X_1, X_2, ..., X_k, где k означает их число в эксперименте, представляют собой показатели, характеризующие условия протекания процесса разравнивания валка риса, которые могут контролироваться и целенаправленно изменять ход процесса в нужном нам направлении.

Неконтролируемые возмущения являются случайными переменными, оказывающими воздействия на валок риса. Информация об их физической природе интенсивности и характере изменения во времени отсутствует.

Выходные (результирующие) параметры Y_1, Y_2, ..., Y_m оценивают качества процесса, характеризуя параметры оптимизации и экономи-

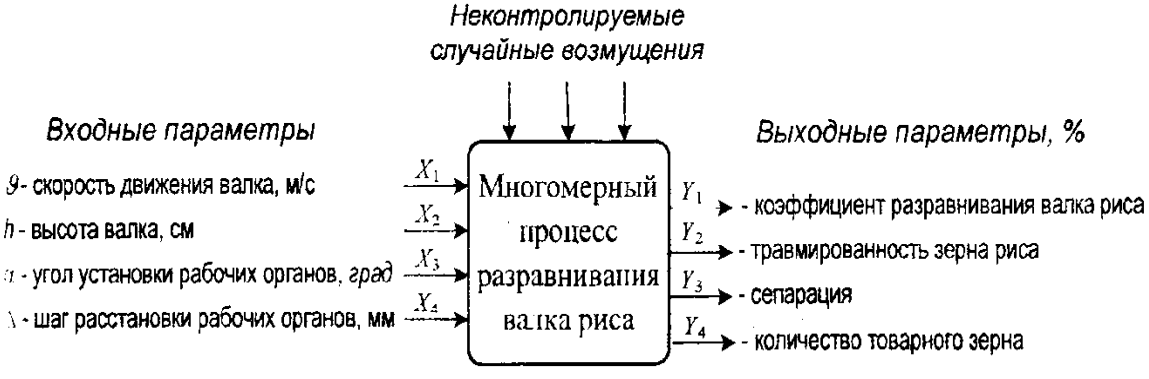


Рис. 1. Схема взаимодействия параметров разравнивания валка риса

Таблица 1

Параметры процесса разравнивания валка риса и их уровни

Контролируемый параметр: кодированный (натуральный)	Кодированный уровень				
	-α	**-1**	**0**	**+1**	**A**
x_1 - скорость движения валка в наклонной камере ($\upsilon_в$, м/с)	2,5	3	4	5	5,5
x_2 - высота валка (h, мм)		22	27	32	
x_3 - угол установки рабочих органов (a, град)		30	40	50	
x_4 - шаг расстановки рабочих органов (Δ, мм)		200	250	300	

ческие показатели эффективности разравнивания валка риса.

В эксперименте по разравниванию валка риса выходные параметры являются функциями отклика на изменяющиеся входные параметры. Каждую функцию отклика Ys, s = 1, ..., 4, зависящую от входных параметров X_1, X_2, ..., X_k , в общем виде можно представить следующим образом:

$$Ys = fs(X_1, X_2, ..., X_k),\ s = 1, ..., 4. \qquad (1)$$

Геометрическим представлением функции отклика (1) в факторном пространстве X_1, X_2, ..., X_k является поверхность отклика.

Поскольку в математическом описании процесса разравнивания валка риса могут присутствовать многие взаимосвязанные между собой качественные и количественные факторы, на практике трудно установить универсальную целевую функцию [3].

Существуют различные способы образовать обобщенную целевую функцию, и наша задача решить, каким ограничениям должны удовлетворять эти отклики и контролируемые переменные.

В качестве целевой функции может служить выход товарного зерна или коэффициент разравнивания валка риса *Кр*, а ограничениями - условия, что контролируемые переменные и регулируемые параметры процесса разравнивания должны быть положительными и удовлетворять определенным технологическим ограничениям.

Перед началом эксперимента выбранные для оптимизации параметры управляющего устройства X_1, X_2, ..., X_k кодировались, т.е. осуществлялось линейное преобразование факторного пространства. Это значительно упростило исследование поверхности отклика и его уравнения регрессии, полученные относительно кодированных переменных x_1, x_2, ..., x_k.

Параметры и режимы работы управляющего устройства для разравнивания валка риса и выбранные уровни их варьирования приведены в табл. 1.

В соответствии с выбранным планом, полученным после рандомизации, наблюдались и регистрировались значения выходных показателей, по которым рассчитывались уравнения регрессии, принятые в качестве целевых функций:

- *для коэффициента разравнивания валка риса (%)*

$$K_p = Y_1(\alpha_1, ..., \alpha_m; x_1, ..., x_k) \Rightarrow \max,$$
$$T = Y_2(\beta_1, ..., \beta_m; x_1, ..., x_k) \Rightarrow \min, \qquad (2)$$

- *для травмированности зерна риса (%),*
- *для сепарации (%),*

$$C_п = Y_3(\gamma_1, ..., \gamma_m; x_1, ..., x_k) \Rightarrow \max, \qquad (3)$$

- *для количества товарного зерна (%)*

$$M_т = Y_4(\delta_1, ..., \delta_m; x_1, ..., x_k) \Rightarrow \max . \qquad (6)$$

Как следует из (2) – (4), обоснование параметров управляющего устройства разравнивания валка риса является многоцелевой задачей нелинейного математического программирования со следующими ограничениями на область факторного пространства:

$$x_{j\ \min} \le x_j \le x_{j\ \max}, \quad j = 1, ..., k\ .$$

где Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 - квадратичные полиномы, построенные по экспериментальным данным; α, β, γ, δ – оценки коэффициентов зависимостей Y_1, Y_2, Y_3, Y_4; $x_{j\min}$, $x_{j\max}$ – двусторонние ограничения на основные параметры управляющего устройства разравнивания валка риса.

В общем виде предложена модель многоцелевой оптимизации основных параметров управляющего устройства для разравнивания валка риса (2) – (4), которая относится к классу задач математического программирования.

Экстремум (максимум или минимум) перечисленных выше целевых функций Кр, Т, Сп и Мт определялся посредством канонического преобразования квадратичных функций отклика.

Таблица 2

Основные статистические характеристики выходных показателей разравнивания валка риса

Статистическая характеристика	Условное обозначение	Выходной показатель			
		Кр = Y_1	**Т = Y_2**	**Сп = Y_3**	**Мт = Y_4**
Объем наблюдений (опытов)	*N*	18	18	18	18
Среднее арифметическое	*M*	68,34	27,03	68,39	21,74
Стандартная ошибка	*m*	1,82	1,85	2,16	1,82
Стандартная ошибка, % от М	*m, %*	2,67	6,85	3,16	8,36
Медиана	*med*	68,3	24,8	65,9	22,3
Мода	*mod*	61,0	-	-	22,3
Стандартное отклонение	*s*	7,740	7,859	9,176	7,717
Дисперсия выборки	*s2*	59,906	61,769	84,203	59,545
Эксцесс	*E*	-0,220	0,949	1,688	-0,627
Асимметрия	*A*	0,134	1,260	1,395	0,397
Размах	*R*	28,2	26,6	32,5	24,6
Минимум	min	55,0	18,9	59,3	12,0
Максимум	max	83,2	45,5	91,8	36,6
Коэффициент вариации, %	*V*	11,3	29,1	13,4	35,5

Используя перечисленные в табл. 2 статистические данные, охарактеризуем все три повторности имеющихся опытных данных по разравниванию валка риса: положение среднего, его рассеяние (разброс) и асимметрию.

Стандартные ошибки выходных показателей малы и составляют менее 10% от соответствующих средних значений. Наблюдается примерное равенство среднего, моды и медианы для коэффициента разравнивания валка риса Кр и количества товарного зерна Мт.

При этом значения эксцесса и асимметрии по абсолютной величине не превышают 2; минимальное и максимальное значения примерно равноудалены от среднего, коэффициенты вариации не превышают 33% за исключением показателя Мт (35,5%).

Это свидетельствует о схожести эмпирических распределений с нормальным, логарифмически-нормальным или обобщенно-нормальным законом распределения.

Главными предпосылками успешного применения регрессионных методов в моделировании процесса разравнивания валка риса являются следующие:

- при каждом фиксированном значении аргументов x_1, x_2, ..., x_k зависимая переменная *У* (функция отклика) распределена нормально с функцией плотности нормального распределения

$$\phi(x) = N(\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\sigma}\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right], \quad (5)$$

где параметры μ – среднее арифметическое и σ – стандартное оцениваются по экспериментальным данным процесса разравнивания валка риса;

- среднее значение $M\{Y\}$ величины *Y* является функцией x_1, x_2, ..., x_k

$$Y = f(\beta_1,...,\beta_m;\ x_1,...,x_k), \quad (6)$$

содержащей неизвестные параметры β_1, ..., β_m. Тип этой функции известен, и функция линейна относительно параметров β_1, ..., β_m.

Анализ точечных диаграмм рассеяния и взаимосвязи между выходными показателями процесса разравнивания валка риса и влияющими на них факторами во многих случаях позволил выявить их нелинейный характер относительно контролируемых параметров управляющего устройства [4].

Уравнения квадратичной регрессии в зависимости от скорости движения валка риса в наклонной камере x_1, высоты валка x_2, угла установки x_3 и шага расстановки рабочих органов x_4 имеют следующий вид:

- *для коэффициента разравнивания валка риса Кр (%)*

$$K_p = 78{,}97 + 2{,}08111\,x_1 - 3{,}37229\,X_1^2 - 3{,}71627\,x_2 - 3{,}10713\,X_2^2 + 2{,}2333\,x_3 - \\ - 3{,}47836\,X_3^2 + 2{,}14057\,x_4 - 4{,}04405\,X_4^2 + 1{,}12807\,x_1x_2 + 0{,}0625\,x_1x_3 + \\ + 2{,}32123\,x_1x_4 + 2{,}6125\,x_2x_3 + 2{,}06861\,x_2x_4 + 0{,}5625\,x_3x_4\,; \quad (7)$$

- для травмированности зерна риса Т(%)

$$T = 20{,}30 - 2{,}14057\,x_1 + 2{,}03399\,X_1^2 + 3{,}92438\,x_2 + 2{,}14006\,X_2^2 - 3{,}19985\,x_3 + \\ + 1{,}92793\,X_3^2 - 2{,}61626\,x_4 + 2{,}77645\,X_4^2 - 1{,}67876\,x_1x_2 - 0{,}0625\,x_1x_3 - \\ - 3{,}13812\,x_1x_4 - 4{,}4875\,x_2x_3 - 2{,}42807\,x_2x_4 - 0{,}2375\,x_3x_4\,; \quad (8)$$

- для сепарации Сп(%)

$$C_п = 83{,}64 + 1{,}90273\,x_1 - 5{,}00675\,X_1^2 - 3{,}71627\,x_2 - 4{,}21126\,X_2^2 + 1{,}28373\,x_3 - \\ - 5{,}23656\,X_3^2 + 1{,}72435\,x_4 - 5{,}64315\,X_4^2 + 0{,}53685\,x_1x_2 + 0{,}1625\,x_1x_3 + \\ + 1{,}59623\,x_1x_4 + 0{,}98750\,x_2x_3 + 1{,}44023\,x_2x_4 + 0{,}7875\,x_3x_4\,; \quad (9)$$

- для количества товарного зерна Мт (%)

$$M_т = 31{,}67 + 3{,}03248\,x_1 - 3{,}28348\,X_1^2 - 3{,}95411\,x_2 - 2{,}87689\,X_2^2 + 2{,}29287\,x_3 - \\ - 3{,}30116\,X_3^2 + 2{,}76491\,x_4 - 3{,}61935\,X_4^2 + 1{,}37741\,x_1x_2 + 0{,}0375\,x_1x_3 + \\ + 1{,}28339\,x_1x_4 + 1{,}4375\,x_2x_3 + 2{,}91998\,x_2x_4 + 1{,}0625\,x_3x_4\,. \quad (10)$$

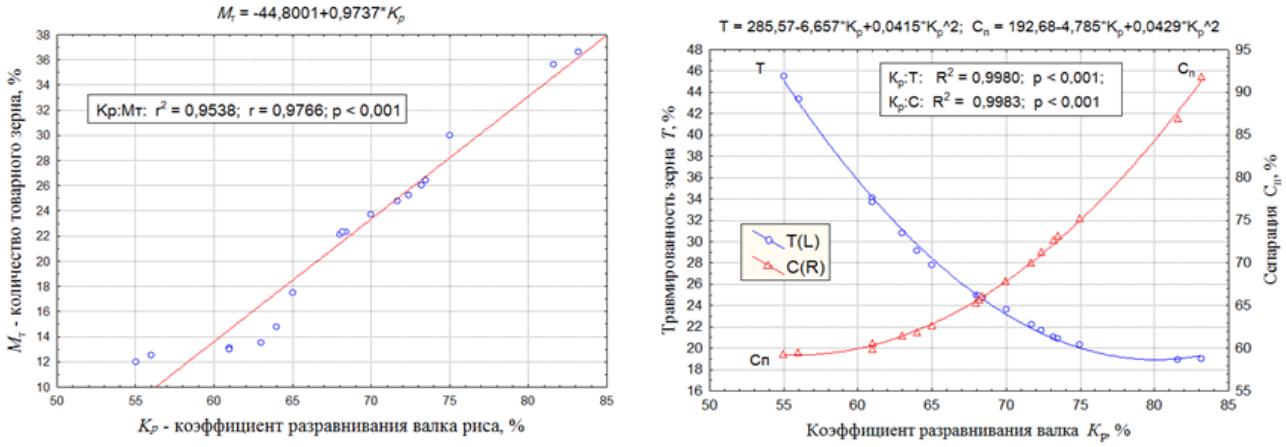


Рис. 2. Взаимосвязь между выходными показателями процесса разравнивания валка риса

Решенные уравнения регрессии (7) – (10) являются математическим описанием взаимосвязей между показателями разравнивания валка риса Кр, Т, Сп и Мт и независимыми факторами – скоростью движения валка риса в наклонной камере x_1, высотой валка x_2, углом установки x_3 и шагом расстановки рабочих органов x_4.

Из уравнений квадратичной регрессии четырех регулируемых переменных (7) – (10) можно сделать следующие выводы.

Во всех уравнениях коэффициенты регрессии при линейных членах и квадратах исследуемых переменных имеют противоположные знаки.

Это свидетельствует о том, что выходные показатели процесса разравнивания валка риса имеют оптимум [5].

Все парные взаимодействия в уравнениях регрессии (7), (9) и (10) являются положительными, а в (8) – отрицательными. Это означает, что с увеличением любого параметра разравнивающего устройства также происходит увеличение коэффициента разравнивания валка риса Кр, сепарации Сп и количества товарного зерна Мт, в то время как травмированность зерна риса Т за

счет отрицательных парных взаимодействий снижается.

Как видно из рис. 2, с увеличением коэффициента разравнивания валка риса Кр линейно растет выход товарного зерна и уменьшается его травмированность по квадратичному закону. Так, при Кр = 75% выход товарного зерна составит 28 – 30% при травмированности 20%.

Выводы

Принимая во внимание выявленные взаимосвязи между выходными показателями процесса разравнивания валка риса и по результатам канонического анализа и многоцелевой оптимизации, рекомендуем следующие параметры устройства, разравнивающего валок риса:

– скорость движения валка в наклонной камере $\upsilon = 4{,}4$ м/с;

– высота валка $h = 24{,}9$ см;

– угол установки рабочих органов $\alpha = 42{,}8$ град;

– шаг расстановки рабочих органов $\Delta = 262{,}6$ мм.

Считаем, что при этих параметрах коэффициент разравнивания валка риса Кр возрастет до 80,5%, травмированность зерна риса снизится до 18%, сепарация установится на уровне 84,3%, выход товарного зерна составит 33,9 %.

Литература

1. *Умбаталиев Н.А.* Совершенствование технологического процесса обмолота и конструкции рисоуборочного комбайна: Автореф. ... д-ра техн. наук. Алматы, 2010. – 33 с.
2. *Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
3. *Джонсон Н., Лион Ф.* Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: В 2-х т.: пер. с англ. М.: Мир, 1981. Т. 2. Методы планирования эксперимента. – 520 с.
4. *Дэниел К.* Применение статистики в промышленном эксперименте. М.: Мир, 1979. – 299 с.
5. *Мельников С.В.* Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. – 168 с.

Сведения об авторах:

Умбаталиев Нухтар Алтаевич – д-р техн. наук,

Тойлыбаев Мейрам Сейсенбаевич – канд. техн. наук, доцент, Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан, г. Алматы, e-mail: info@kaznau.kz

Тургенбаев Малик Сейсенбаевич – канд. техн. наук, старший научный сотр., ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия, e-mail: trv1000@mail.ru

OPTIMIZATION OF FUNDAMENTAL VALUES OF COMBINE-HARVESTER MECHANISMS IN RICE CLEANING

N. Umbetaliyev, M. Toilibaev, M. Turgenbaev

The main objective of the study - to determine the optimal parameters of mechanisms and devices combine-harvester, in preparation for the selection and threshing grain rice biomass. The theoretical and applied methods are used, based on objective and reproducible symptoms included in the multilevel methodological concept of scientific knowledge of the dynamics of physical processes. The basic parameters of the working bodies of the combine are optimized.

Keywords: combine; input and output parameters; multi-objective optimization model of the basic parameters of the control device for leveling cooking rice; the regression equation; technological process of the rice threshing.

References

1. Umbataliyev N.A. Sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa obmolo-ta i konstrukcii risouborochnogo kombajna [Improvement of technological process of the thresh and design of the risouborochny combine], The abstract of the thesis for degree of the Doctor of Engineering. Almaty, 2010, 33 ps.
2. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning of experiment by search of optimum conditions]. – 2nd prod., reslave. and additional. – Moscow, Nauka, 1976, 280 ps.
3. Johnson N., Lyon F. Statistika i planirovanie jeksperimenta v tehnike i nauke [Statistics and planning of experiment in equipment and science]. In 2 volumes. Vol. 2. Experiment planning methods: the lane with English. – Moscow, Mir, 1981, 520 ps.
4. Daniel K. Primenenie statistiki v promyshlennom jeksperimente [Application of statistics in industrial experiment]. Moscow, Mir, 1979. 299 ps.
5. Mel'nikov S.V. Planirovanie jeksperimenta v issledovanijah sel'skohozjajstvennyh processov [Planning of experiment in researches of agricultural processes]. Leningrad, Kolos, 1980, 168 ps.

Authors:

N. Umbetaliyev – D. Sc. (Engineering),

M. Toilibaev – Ph. D. (Engineering),

Kazakh national agrarian university. Almaty, Kazakhstan, e-mail: info@kaznau.kz

M. Turgenbaev – Ph. D. (Engineering),

All-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,

e-mail: trv1000@mail.ru

УДК 631.3:621.1

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В.Е. Василенков, М.Н. Гудзенко
Учебно-научный институт энергетики, автоматики и энергосбережения, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Подготовка грамотных специалистов невозможна без применения новых форм обучения с использованием компьютерных технологий, основанных на современных прикладных программных продуктах. В современном образовании все большую роль играют интерактивные средства обучения. Этот факт дает возможность успешно использовать их как в обычном процессе обучения, так и в дистанционном. Специфика дистанционного образования делает работу с реальными лабораторными установками невозможной или затруднительной, поэтому единственным оптимальным выходом являются виртуальные лабораторные работы. Виртуальные лаборатории представляют собой обучающие системы, моделирующие поведение объектов реального мира в компьютерной образовательной среде. В статье обоснована возможность применения имитационного моделирования по гидравлике на примере виртуальной лабораторной работы «Параметрические испытания центробежного насоса». В работе приведен пошаговый порядок выполнения работы с имитационным снятием показателей с контролирующих приборов и расписана пошагово разработанная методика обработки результатов. Данная методика включает определение следующих показателей: подачу насоса, мощность, потребляемую насосным агрегатом из сети, определение скорости движения жидкости в трубопроводах, режим движения жидкости по числу Рейнольдса, коэффициент потерь по длине трубопровода (коэффициент Дарси), общие потери напора, необходимый напор насоса, полезную мощность на перемещение воды, мощность на валу насоса (потраченная на привод насоса), коэффициент КПД насосного агрегата. Также предусмотрена возможность выбора для исследования нескольких вариантов: марок насосов, диаметра труб, плотности и вязкости жидкости. Это расширяет диапазон индивидуальных заданий учащимся, полученных от преподавателя или руководителя работы, и позволяет производить анализ результатов в зависимости от изменения тех или других параметров. Представлена форма таблицы для заполнения результатов виртуальных исследований параметрических испытаний центробежного насоса. Программное обеспечение и разработанная методика обработки результатов виртуального исследования подстроены к организации индивидуального и дистанционного обучения.

Ключевые слова: *центробежный насос, параметрические испытания, виртуальные исследования, напор, расход.*

С развитием компьютерных технологий обучения [2, 3, 4, 5, 6, 7] все больше дискутируется вопрос о необходимости создания виртуальных лабораторных работ и частичном или полном переводе практикумов из лабораторий в компьютерные классы. Разработка эффективных виртуальных лабораторных работ находится лишь в стадии становления, и поэтому задачи по их разработке применительно к техническим дисциплинам являются весьма актуальными. В большинстве разрабатываемые виртуальные лаборатории выполнены по однотипной структуре и включают необходимый теоретический материал, практическую часть в виде виртуальной лабораторной установки, а также модули мониторинга и контроля знаний [5].

В работе [1], что являет собой методические указания к электронному лабораторному комплексу «Виртуальная лаборатория гидравлики», содержатся материалы и рекомендации, необходимые при выполнении лабораторных работ, а также описания лабораторных установок. К сожалению, в этой работе отсутствует методика обработки результатов исследований к виртуальной лабораторной установке. Соответственно, такая работа является логически незавершенной, ведь учащийся не может сделать полноценные выводы о проделанной работе на виртуальных установках.

Цель работы – разработка методики обработки результатов исследований в виртуальной лабораторной установке на примере лабораторной работы «Параметрические испытания центробежного насоса» и приспособление ее к организации дистанционного обучения.

Методика проведения исследований (лабораторной работы). Виртуальная лабораторная работа по теме «Параметрические испытания центробежного насоса» выполняется при взаимодействии пользователя с компьютером посредством влияния указателя мыши на различные графические элементы, отражающие детали лабораторной установки. В окне вида лабораторной работы в правом верхнем углу имеется кнопка «помощь», которая открывает новое окно с описанием схемы лабораторной установки (рис. 1) и порядка выполнения этой работы пошагово.

В приведенной виртуальной лабораторной работе в поле «Условия опыта» предусмотрена возможность выбора для исследования нескольких вариантов: марок насосов, диаметра труб, плотности и вязкости жидкости. Это расширяет диапазон индивидуальных заданий учащимся, полученных от преподавателя или руководителя работы, и позволяет производить анализ результатов в зависимости от изменения тех или других параметров. Для проведения последующих расчетов также приведены дополнительные параметры лабораторной установки, имитирующей реальный лабораторный стенд. Специальная система виртуальных переключателей, кнопок и полей для задания параметров эксперимента и манипуляции мышью позволяют оперативно менять условия эксперимента.

Результаты исследований. Ниже приводим пошаговый порядок выполнения работы с имитационным снятием показателей с контролирующих приборов и последующей методикой для выполнения расчета (рис. 1).

Порядок выполнения работы.

1. Выберите в таблице «Условия опыта» заданные параметры.

2. Нажатием черной кнопки пускателя (1) включите электродвигатель (2). При этом насос (3) начинает работать.

3. С помощью значков (4) управляйте положением вентиля (5) для создания требуемого расхода жидкости по трубопроводу. Положение вентиля указывается справа в процентах.

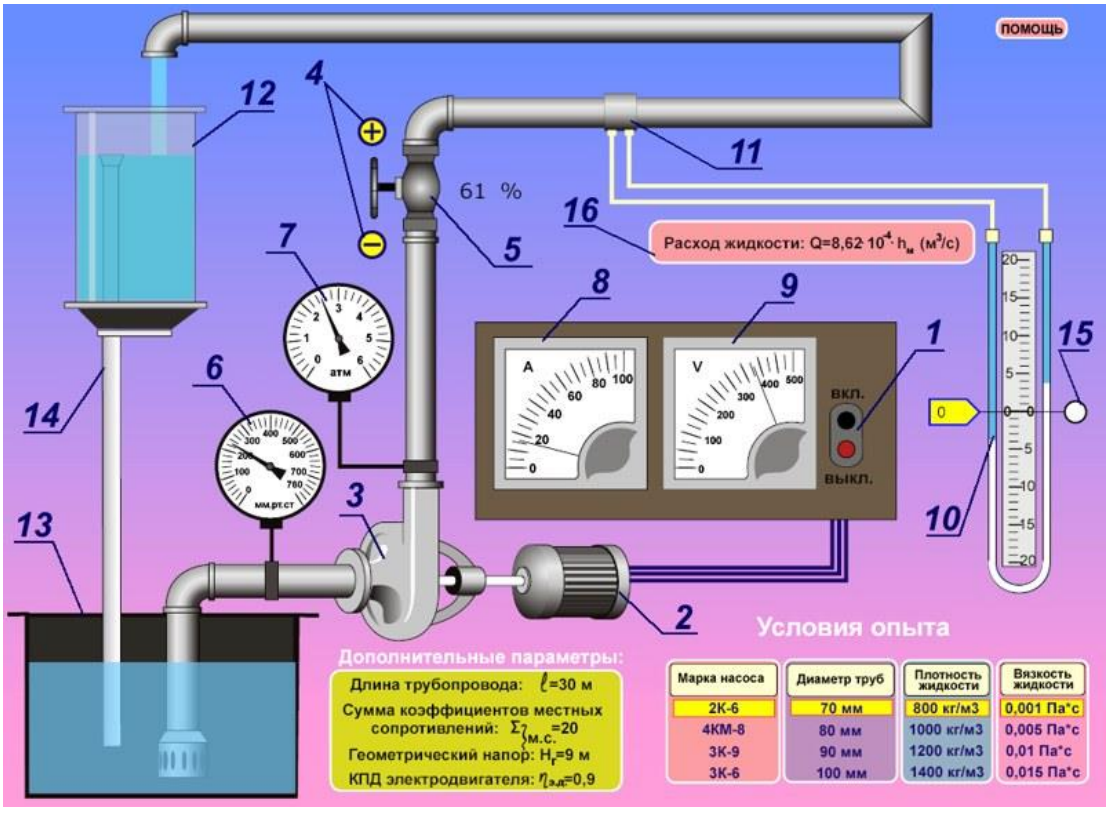


Рис. 1. Внешний вид схемы лабораторной установки окна «помощь»:
1– пускатель; 2 – электродвигатель; 3 – насос; 4 – значки вращения вентиля; 5 – вентиль; 6 – вакуумметр; 7 – манометр; 8 – амперметр; 9 – вольтметр; 10 – дифференциальный манометр; 11 – диафрагма; 12 – приемная емкость; 13 – расходная емкость; 14 – переливная труба; 15 – линейка; 16 – калибровка дифманометра

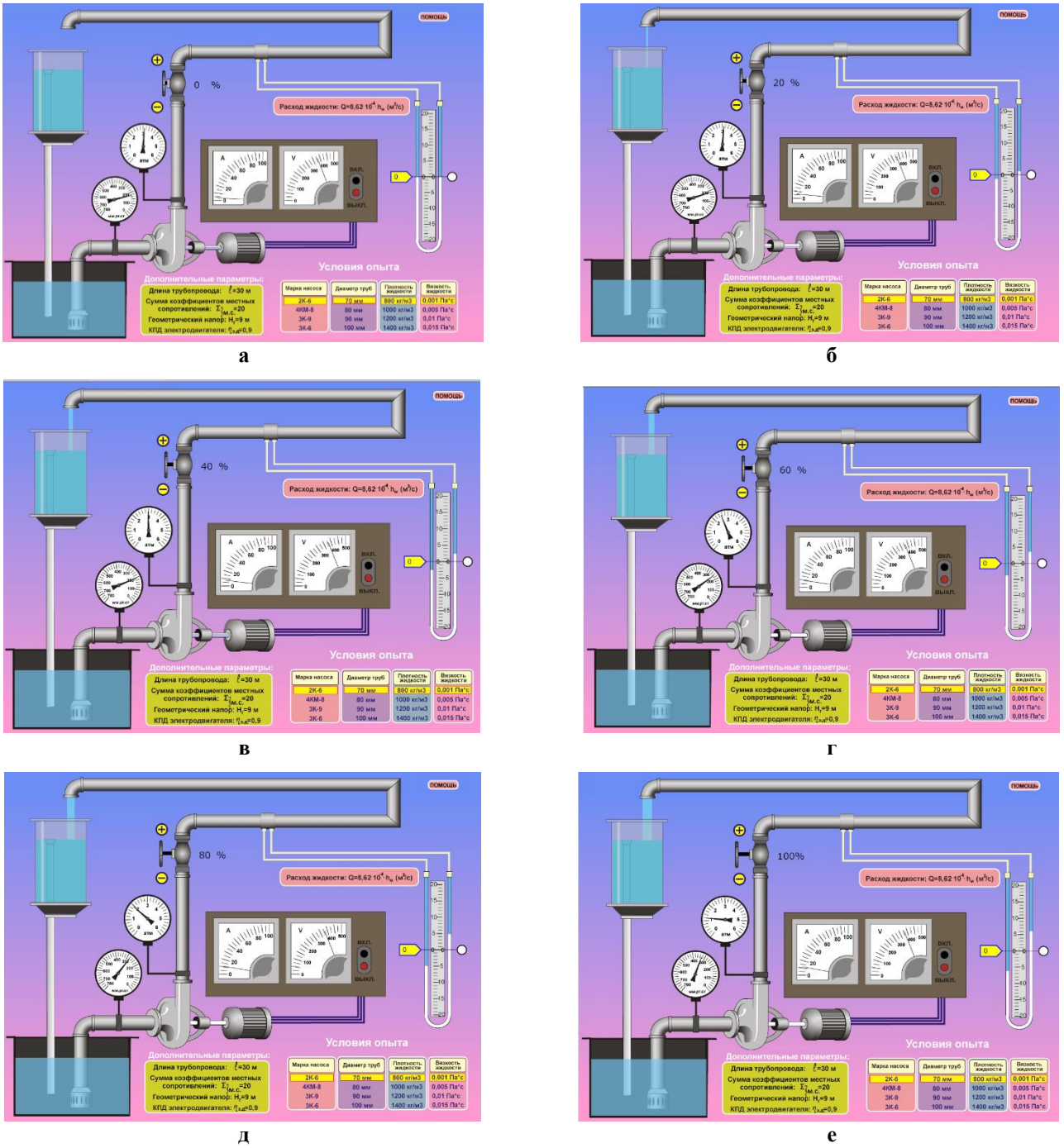


Рис. 2. Зафиксированные исходные данные:
а – при закрытой задвижке; б – 1-й режим при 20% открытой задвижке; в – 2-й режим при 40%; в – 3-й режим при 60%; г – 4-й режим при 80%; д – 5-й режим при 100% открытой задвижке

4. При каждом установленном расходе жидкости фиксируйте показания амперметра (8), вольтметра (9), разность уровней манометрической жидкости в дифференциальном манометре (10). Фиксируйте также показания вакуумметра (6) и манометра (7).

На рис. 2 приведены рабочие окна зафиксированных исходных данных при установленных затратах 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% (могут изменятся в зависимости от задания). Соответственно, на каждой картинке можно наблюдать анимацию истечения воды и работу (показания) измеряющих приборов. Форма таблицы для записи исходных данных согласно лабораторной работе приведены в табл. 1.

Обработка результатов измерений.

1. Подача (расход) определяется по формуле согласно опыту:

Таблица 1

Результаты виртуального исследования параметрических испытаний центробежного насоса К20/30

№ п/п	I, A	U, B	$h_{ман}$, атм.	$h_в$, мм рт.ст.	n, %	$h_м$
1.	3	376	3,1	180	0	0
2.	6	376	3,1	180	20	2
3.	8	376	3,0	200	40	5
4.	10	376	2,5	240	60	7
5.	11	376	1,9	280	80	10
6.	12	376	1,2	324	100	12

$$Q_{1-6} = 8{,}62 \cdot 10^{-4} \cdot h_{м1-6} (м^3/с),$$

где $h_м$ – показания дифференциального манометра (перепад давления), м.

На данной установке геодезические отметки манометра и вакуумметра отсчитываются от оси трубы.

2. Мощность (кВт), потребляемая насосным агрегатом из сети,

$$N_{e\ 1-6} = I_{1-6} \cdot U_{1-6} \cdot \cos\varphi,$$

где U – напряжение питающей сети, В; I – ток электродвигателя, А; cos φ – коэффициент мощности двигателя, характеризующий активную составляющую мощности. Принимаем cos φ = 0,85.

3. Определение скорости движения жидкости в трубопроводах.

Так как по условиям опыта диаметр всасывающего и напорного трубопровода принят одинаковый, то скорости движения жидкости тоже будут одинаковыми и определяются по формуле:

$$V_{вс} = V_н = V_{1-6} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}, \text{ м/с.}$$

4. Определяем режим движения жидкости по числу Рейнольдса:

$$Re_{1-6} = \frac{V_{1-6} \cdot d}{\nu},$$

где υ – кинематическая вязкость воды при 10° С, принимаем υ = 0,000169 м^2/с.

5. Определяем коэффициент потерь по длине трубопровода (коэффициент Дарси) по формуле:

$$\lambda_{1-6} = \frac{0{,}3164}{Re_{1-6}^{0.25}}.$$

6. Общие потери напора будут определяться по формуле:

$$\sum h_{1-6} = \frac{V_{1-6}^2}{2g}\left(\lambda_{1-6} \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta_м\right), \text{ м.}$$

7. Тогда необходимый напор насоса будет определяться по формуле:

$$H_{нас\ 1-6} = h_{ман\ 1-6} + h_{в\ 1-6}.$$

8. Мощность полезная (на перемещение воды):

$$N_{к\ 1-6} = p \cdot g \cdot Q_{1-6} \cdot H_{нас\ 1-6}, \text{ Вт.}$$

9. Мощность на валу насоса (потраченная на привод насоса):

$$N_{В\ 1-6} = \eta_д N_{e\ 1-6}, \text{ Вт,}$$

где $\eta_д$ – КПД электродвигателя (согласно условиям опыта принимаем $\eta_д$ = 0,9).

10. Определяем коэффициент КПД насосного агрегата по формуле:

$$\eta_{1-6} = \frac{N_{к\,1-6}}{N_{e\,1-6}} \cdot 100\%.$$

Результаты определенных параметров насоса подают по форме (табл. 2) и в графической форме (рис. 3).

Согласно определенным данным центробежный насос должен обеспечивать подачу в пределах от 6,21 до 37,24 м^3/ч, и напор должен быть не менее 33,45 м. Этим условиям отвечает центробежный консольный насос 2К-6 или его современные модификации К20/30, К65-50-160. Согласно его техническим данным строится график рабочей характеристики насоса (рис. 3).

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

Параметр, условное обозначение	Единица измерения	№ опыта					
		1	2	3	4	5	6
Подача насоса, Q_{1-6}	м^3/с	0	0,0017	0,0043	0,0060	0,0086	0,0103
Потребляемая мощность, Ne 1-6	Вт	958,8	1917,6	2556,8	3196,0	3515,6	3835,2
Скорость движения жидкости в трубопроводах, V_{1-6}	м/с	0	0,45	1,12	1,57	2,24	2,69
Режим движения жидкости, Re_{1-6}	–	0	185,645	464,112	649,757	928,224	1113,869
Коэффициент Дарси, λ_{1-6}	–	0	0,0857	0,0682	0,0627	0,0573	0,0548
Общие потери напора , $\sum h_{1-6}$	м	0	0,57	3,09	5,77	11,19	15,72
Необходимый напор насоса, $H_{нас}$ 1-6	м	33,45	33,45	32,72	28,26	22,80	16,40
Полезная мощность насоса, $N_к$ 1-6	Вт	0,00	461,28	1128,10	1364,21	1572,59	1357,31
Мощность на валу насоса, $N_В$ 1-6	Вт	862,92	1725,84	2301,12	2876,4	3164,04	3451,68
КПД насосного агрегата, η_{1-6}	%	0,00	24,06	44,12	42,68	44,73	35,39

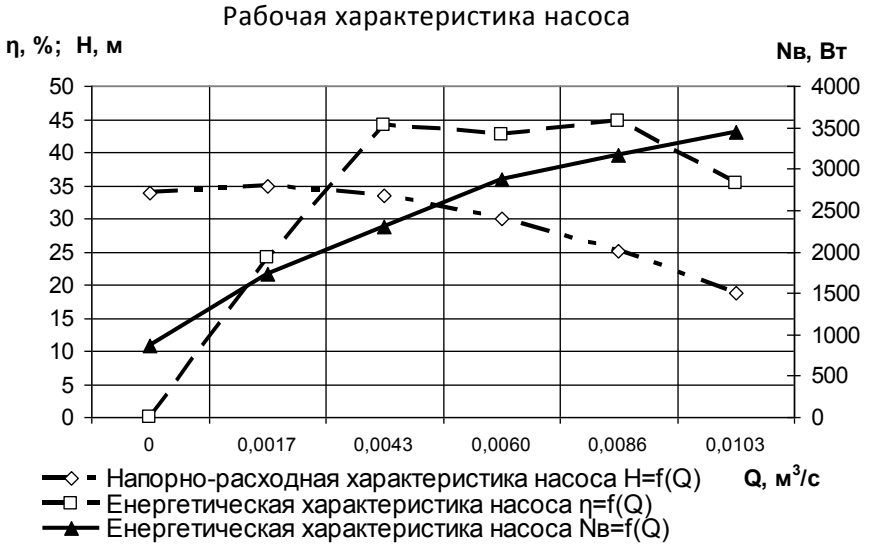


Рис. 3. Характеристики центробежного насоса

Как и в реальной лабораторной работе, в виртуальной необходимо учить навыкам исследования: выдвижению гипотез и их проверке, четкому фиксированию условий и результатов экспериментов, выбирать критерии, формат представления результатов, а затем и планировать, наконец, самостоятельную исследовательскую работу.

Выводы

1. Используя имитационное моделирование по гидравлике на примере лабораторной работы «Параметрические испытания центробежного насоса», приведены результаты виртуального исследования параметрических испытаний центробежного насоса марки К65-50-160. Построена его рабочая характеристика,

которая включает напорно-расходную и энергетические.

2. Программное обеспечение и разработанная методика обработки результатов виртуального исследования подстроены к организации дистанционного обучения.

Литература

1. *Бобровский В.В.* Методические рекомендации к лабораторным работам для студентов специальностей 151031 «Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования» и 240134 «Переработка нефти и газа». Анжеро-Судженск: ГБОУ СПО «Анжеро-Судженский политехнический колледж», 2012. – 11 с.
2. *Верховский И.А.* Виртуальные лабораторные работы в техническом университете: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/f_ dite/conf/2014/1/c1_Verkhovsky.pdf
3. *Князева Е.М.* Лабораторные работы нового поколения // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6-3. – С. 587-590.
4. *Олейник Н.Ю., Березенская С.М.* Методические аспекты реализации виртуальных лабораторных работ по техническим дисциплинам: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://lib.htei.org.ua/sites/default/files/21/2015/oliinyk_ berezenska_didaktika.pdf
5. *Сапронов Ю.Г.* Применение виртуальных лабораторных работ в целях совершенствования подготовки специалистов в области автомобильного транспорта: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gu-unpk.ru/file/chair/sirm/science/RSRSSS.__RSRyoRRRRRRyoR_RRyoSSSRRSRSS_SRRRS.pdf
6. *Троицкий Д.И.* Виртуальные лабораторные работы в инженерном образовании // Качество. Инновации. Оборудование. – 2008. – №2. – С. 69-73.
7. *Трухин А.В.* Об использовании виртуальных лабораторий в образовании // Открытое и дистанционное образование. – 2002. – № 4(8).

Сведения об авторах:

Василенков Виктор Егорович – канд. техн. наук, доцент кафедры теплоэнергетики, Учебно-научный институт энергетики, автоматики и энергосбережения, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина, e-mail: wasil14@ukr.net

Гудзенко Максим Николаевич – заведующий лабораториями кафедры «Процессы и оборудование переработки продукции АПК», Факультет пищевых технологий и управления качеством продукции АПК, соискатель, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина.
e-mail: gudzenkomax@rambler.ru

SIMULATION FOR PARAMETRIC STUDY OF CENTRIFUGAL PUMPS

V. Vasilenkov, M. Gudzenko

Preparation of qualified specialists is impossible without the use of new forms of learning using computer technology, based on modern software applications. Interactive learning tools play an important role in modern education. This fact enables them to be successfully used in a normal and in a distance course of learning. The specifics of distance education makes working with real laboratory installations impossible or difficult, so the way out is only the virtual labs. Virtual labs are learning systems that simulate the behavior of real-world objects in a computer learning environment. In the article the possibility of using simulation in hydraulics on the example of the virtual lab «Centrifugal pump parametric tests» The paper provides a step by step procedure for performing the lab work with simulation removing indicators and control instruments demonstrates incrementally developed method of processing results. This method comprises determining the following parameters: feed pump, power consumption of pump unit from the network, determining the fluid velocity in pipes, fluid flow regime of the Reynolds number, the ratio of losses along the length of the pipeline (Darcy coefficient), the total head loss required pump head, useful power to move water to the pump shaft power (spent at the pump motor), the coefficient of efficiency of the pump unit. Also, the possibility of a choice for the study of several variants pumps, pipe diameter, fluid density and viscosity. It extends the range of individual tasks the students received from the teacher or the head of the work, and allows the analysis of results depending on changes in those or other parameters. A table form to fill virtual research results of parametric tests of the centrifugal pump is presented. Software and developed method of processing of the virtual research is shown tailored to the organization of individual and distance learning.

Keywords: centrifugal pump, parametric trials, virtual research, pressure, expenditure

References

1. Bobrowski V.V. Guidelines for laboratory work for students of specialties 151031 «Installation and technical maintenance of industrial equipment» and 240134 «Oil refining and gas». – Anzhero-Sudzhensk: GBOU ACT «Anzhero-Sudzhensk Technical College", 2012. – 11p.
2. Verkhovskii I.A. Virtual'nye laboratornye raboty v tekhnicheskom universitete [Virtual laboratory works at the Technical University] [Electronic resource]. Access mode: http://portal.tpu.ru:7777/f_ dite/conf/2014/1/c1_Verkhovsky.pdf

3. Knyazeva E.M. Laboratornye raboty novogo pokoleniya [Laboratory work of the new generation], J. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research]. 2012, No. 6-3, pp. 587-590.
4. Olejnik N.Y., Berezenskaya S.M. Metodicheskie aspekty realizacii virtual'nyh laboratornyh rabot po tekhnicheskim disciplinam [Methodological aspects of the implementation of virtual laboratory works on technical subjects]: [Electronic resource]. Access mode:http://lib.htei.org.ua/sites/default/files/ 21/2015/oliinyk_berezenska_ didaktika.pdf
5. Sapronov Yu.G. Primenenie virtual'nyh laboratornyh rabot v celyah sovershenstvovaniya podgotovki specialistov v oblasti avtomobil'nogo transporta [The use of virtual labs in order to improve the training of specialists in the field of road transport]: [Electronic resource]. Access mode: http://gu-unpk.ru/file/chair/sirm/science/RSRSSS.__RSRyoRRRRRyoR _RRyoSSSRRSRSS_SRRRS.pdf
6. Troitsky D.I. Virtual'nye laboratornye raboty v inzhenernom obrazovanii [Virtual labs in engineering education], J. *Kachestvo. Innovacii. Oborudovanie* [Quality. Innovation. Equipment], 2008, No. 2, pp. 69-73.
7. Truhin A.V. Ob ispol'zovanii virtual'nyh laboratorij v obrazovanii [The use of virtual laboratories in education], J. Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie [Open and distance education], 2002, No. 4(8).

Authors:

V. Vasilenkov– Ph.D. (Engineering),
Department of Heat and Power Engineering; Education and Research Institute of Energetics, Automation and Energy Efficiency, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
e-mail: wasil14@ukr.net
M. Gudzenko – engineer, Head of laboratories of Department «Processes and equipment for processing of agricultural production department»,
Faculty food technologies and quality management of products of agricultural produkts; National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: gudzenkomax@rambler.ru

УДК 621.412

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА

Э.А. Бекиров, М.М. Асанов, А.И. Сенько
Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Крым

Работа посвящена исследованию идеального цикла двигателя Стирлинга. В результате получена математическая модель, позволяющая проанализировать зависимости таких характеристик двигателя как КПД и полезной работы от исходных параметров цикла или времени. Исходные параметры цикла задаются как в виде числа, так и в виде переменной, зависящей от времени.

Ключевые слова: *двигатель Стирлинга, идеальный цикл, КПД, полезная работа, математическая модель.*

Вопросу анализа работы двигателей Стирлинга различных моделей и модификаций посвящено значительное количество работ [1, 2, 3, 4, 5]. Возросший интерес исследователей к таким двигателям объясняется тем, что потенциально их характеристики достаточно высоки, а вредные выбросы в окружающую среду минимальны [3].

В процессе исследования работы двигателей Стирлинга возникает проблема оценки влияния исходных параметров цикла Стирлинга на их выходные характеристики. Зачастую расчеты содержат довольно громоздкие формулы с различными экспериментальными коэффициентами [5]. Целесообразно выполнять ряд предварительных расчетов для выявления закономерностей изменения основных характеристик двигателей Стирлинга в зависимости от интересующих исходных параметров.

Таким образом существует необходимость создания простой и гибкой математической модели, в которой была бы реализована возможность изменения исходных параметров цикла Стирлинга и анализа их влияния на основные характеристики двигателя.

В данной работе такая модель выполнена для проведения расчета полезной работы и КПД идеального цикла двигателя Стирлинга.

Для математической модели были выбраны следующие параметры идеального цикла Стирлинга (рис. 1):

- минимальная температура [температура на участке (1-2)], T_1;

- максимальная температура [температура на участке (3-4)], T_3;

- максимальный объем (объем в точке 1), V_1;

- минимальное давление (давление в точке 1), P_1.

Расчет КПД для идеального цикла двигателя Стирлинга проводился по формуле [6]:

$$\eta = \frac{T_3 - T_1}{T_3}.$$

Выражение для нахождения полезной работы идеального цикла двигателя Стирлинга была найдено как разность полученной работы на участке (3-4) и затраченной работы на участке (1-2) (рис. 1) [6]:

$$A = P_3V_3 \ln\frac{V_1}{V_3} - P_1V_1 \ln\frac{V_3}{V_1} =$$

$$= P_1V_1\left(\frac{T_3}{T_1}\ln\frac{T_3}{T_1} - \ln\frac{T_1}{T_3}\right) = P_1V_1\left(\ln\frac{T_3}{T_1}^{\frac{T_3}{T_1}+1}\right).$$

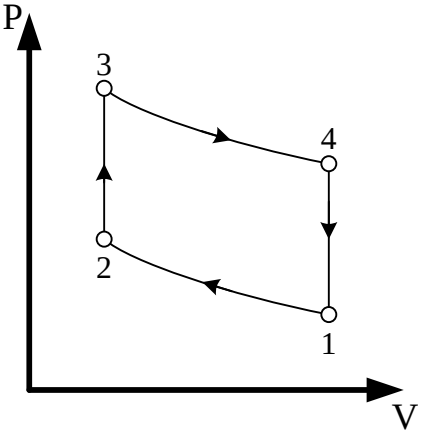


Рис. 1. Цикл Стирлинга [6]

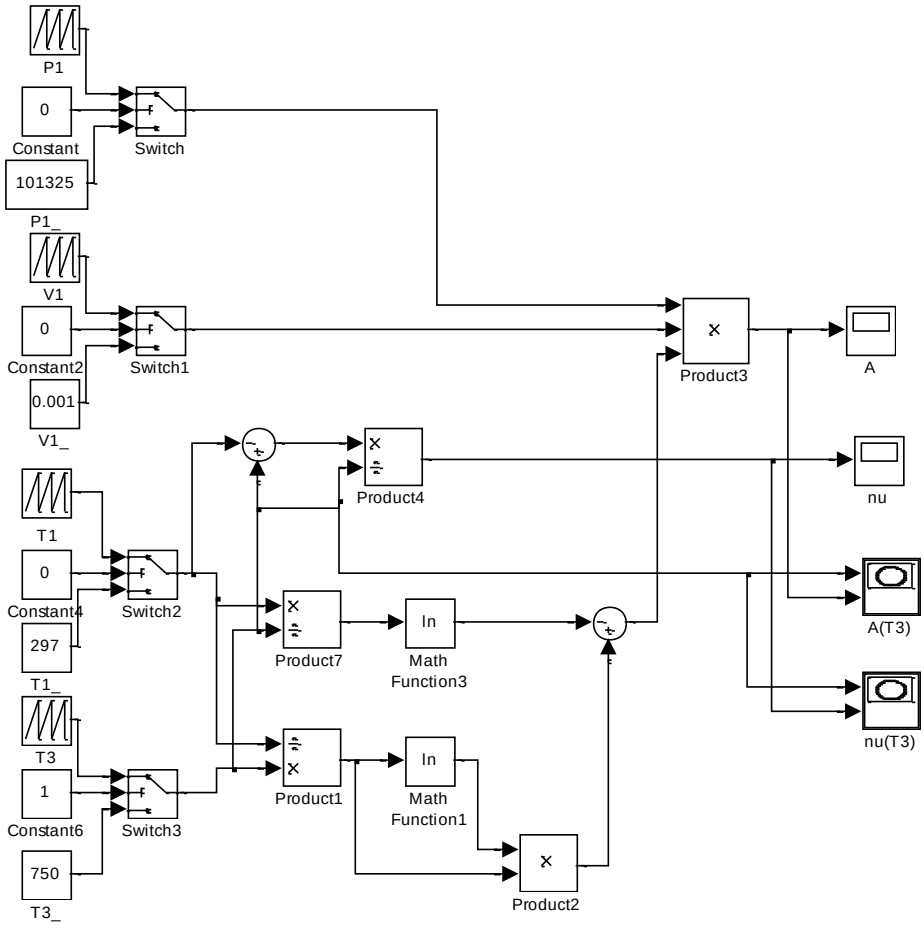


Рис. 2. Математическая модель идеального цикла двигателя Стирлинга

Условно модель разделена на три блока (рис. 2):

1) блок ввода данных;

2) блок расчетов;

3) блок вывода результатов в виде графиков.

Для моделирования выбираются исходные параметры, на основании которых проводятся расчеты всего цикла и строятся зависимости характеристик двигателя Стирлинга от исходных параметров и времени. При этом значение любого из выбранных параметров может задаваться как в виде числа, так и в виде некоторой переменной, зависящей от времени.

Если готовым объектом является уже сконструированная модель известного объема, в которой рабочее тело находится под давлением, тогда можно задать параметры следующим образом:

- максимальный объем, минимальное давление в виде параметров, которые известны для данной модели;

- максимальную или минимальную температуру в виде переменных, поскольку метод охлаждения и температура нагрева могут быть различными.

При выборе метода ввода данных используется логический оператор ИЛИ. Если на вход оператора подать 1, то данные можно вводить в виде переменной, если 0 – то в виде числа.

Например, если задать все исходные параметры в виде чисел, то все зависимости характеристик двигателя Стирлинга от времени будут прямыми, т.е. будут показаны параметры двигателя данного размера и характеристик. На рис. 3 представлены графики зависимостей $\eta(t)$ и $A(t)$ при следующих параметрах идеального цикла двигателя Стирлинга: $T_1 = 297$ °К; $T_3 = 750$ °К; $V_1 = 1$ л $= 0{,}001$ м^3; $P_1 = 1$ атм $= 101325$ Па.

Если задать максимальную температуру в виде переменной, зависящей от времени, то можно проследить изменение КПД и полезной работы с увеличением температуры. На рис. 4 показаны зависимости КПД и полезной работы от времени при изменении максимальной температуры от 600 до 1000 °К. Зависимости $\eta(T_3)$ и $A(T_3)$ показаны на рис. 5. Из рис. 4 и 5 видно, что с увеличением максимальной температуры T_3 КПД

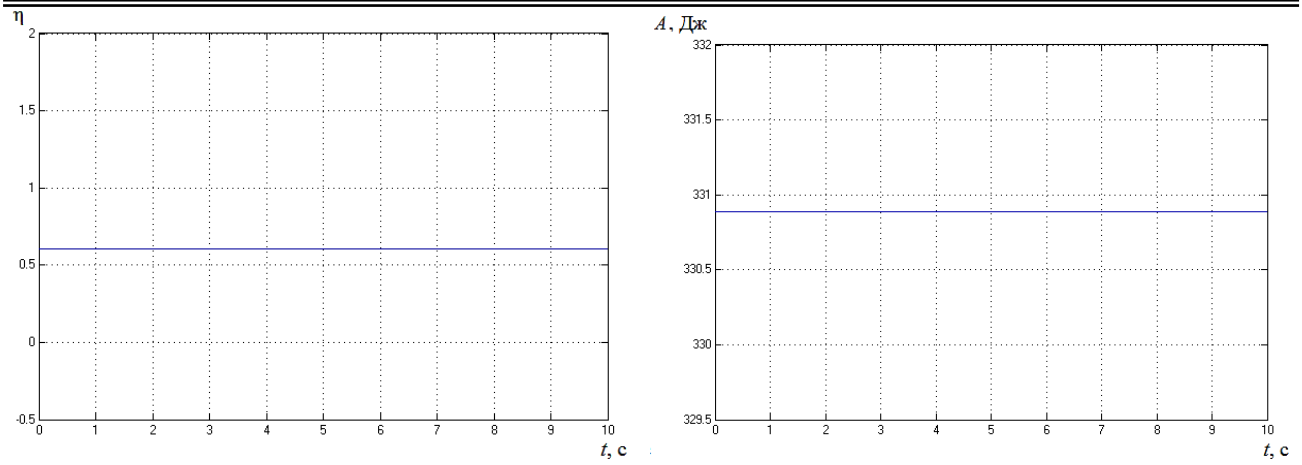


Рис. 3. Графики зависимостей КПД и полезной работы двигателя от времени симуляции при неизменной максимальной температуре цикла Стирлинга

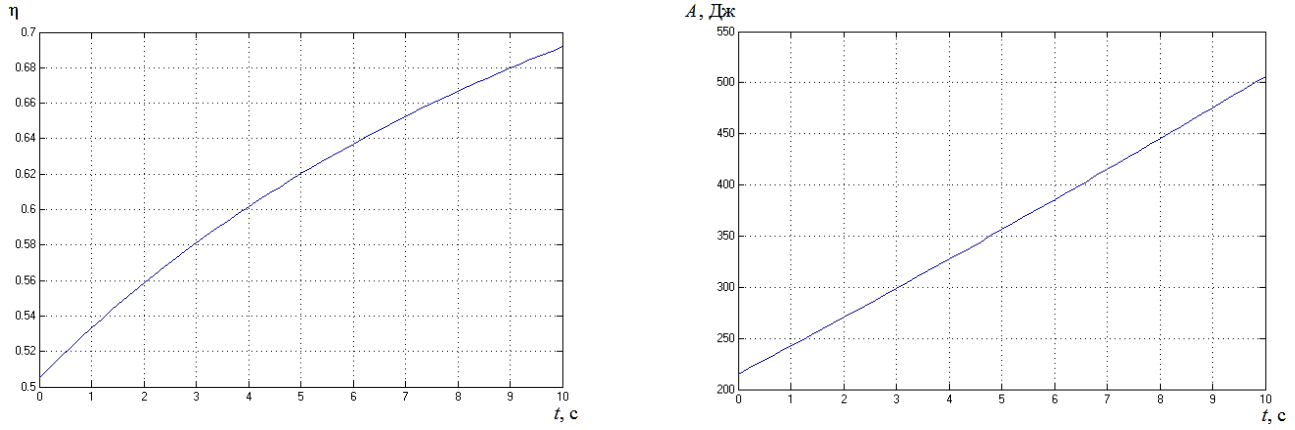


Рис. 4. Графики зависимостей КПД и полезной работы двигателя от времени симуляции при изменяющейся во времени максимальной температуре цикла Стирлинга

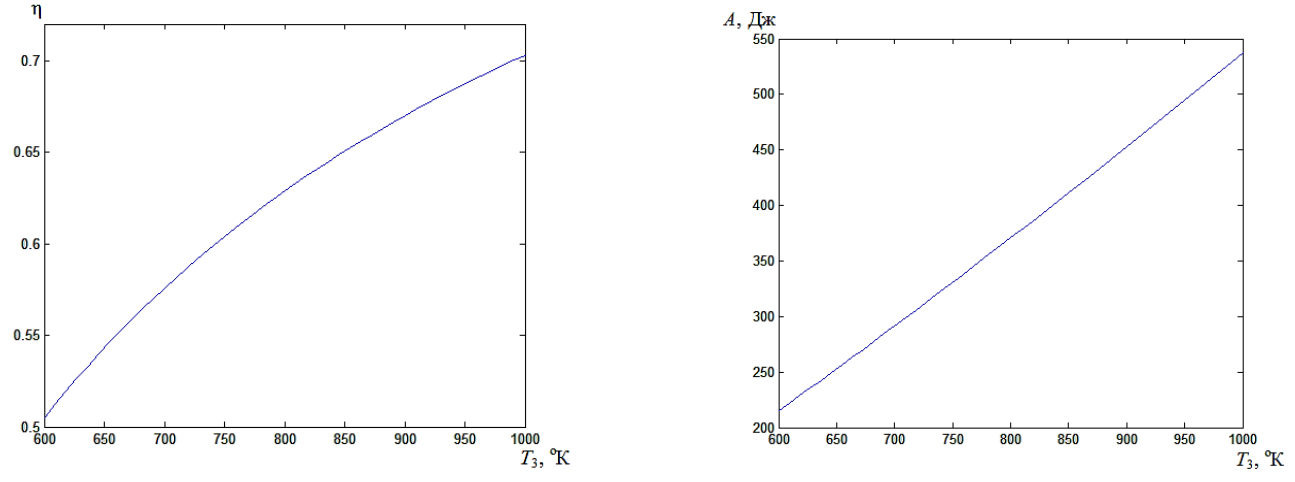


Рис. 5. Графики зависимостей КПД и полезной работы двигателя от максимальной температуры цикла Стирлинга

и полезная работа также увеличивается, что согласуется с теорией идеального цикла двигателя Стирлинга.

При построении кривых зависимостей на рис. 4 и 5 были выбраны следующие параметры идеального цикла двигателя Стирлинга: $T_1 = = 297$ ^{o}К; $V_1 = 1$ л $= 0{,}001$ м^3; $P_1 = 1$ атм $= 101325$ Па.

Выводы

Разработанная математическая модель дает возможность в режиме реального времени проследить за изменением характеристик идеального двигателя Стирлинга. Обычные методы расчета не позволяют получить подобный результат без использования больших массивов

данных. В математической модели можно задать любой исходный параметр цикла Стирлинга как в виде числа, так и в виде переменной, зависящей от времени. В результате чего на выходе модели могут быть получены характеристики какого-то определенного двигателя Стирлинга или зависимости его характеристик от исходных параметров, а также времени.

Такой способ ввода данных позволяет получить информацию, которая будет полезна для начального этапа конструирования, что может удешевить производство двигателя Стирлинга и облегчить подбор его параметров для увеличения КПД.

Литература

1. *Горожанкин С.А.* Определение параметров действительных циклов двигателей Стирлинга на основе их адиабатной модели // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 2. – № 4. – С. 187-194.
2. *Kongtragool B., Wongwises S.* Performance of low-temperature differential Stirling engines // Renewable Energy. – 2007. – №32. – С. 547-566.
3. *Козляков В.В., Соколовский Р.И.* Термодинамическая модель двигателя Стирлинга схемы Альфа // Машиностроение и инженерное образование. – 2010. – № 4. – С. 22-28.
4. *Chen Ch.L., Ho Ch.E., Yau H.T.* Performance Analysis and Optimization of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Considerations // Energies. – 2012. – №5. – С. 3573-3585.
5. *Белецкий И.Л., Сафонов В.А.* Определение мощностной характеристики низкотемпературного двигателя Стирлинга // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. – 2013. – Вып. 2. – С. 193-199.
6. *Уокер Г.* Машины, работающие по циклу Стирлинга: пер. с анг. – М.: Энергия, 1978. – 152 с.

Сведения об авторах:

Бекиров Эскендер Алимович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой энергоснабжения и физики Физико-технического института,
e-mail: bekirov.e.a@cfuv.ru

Асанов Марлен Мустафаевич – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры энергоснабжения и физики Физико-технического института,
e-mail: asanov.m.m@cfuv.ru

Сенько Александр Игоревич – магистрант кафедры энергоснабжения и физики Физико-технического института,
e-mail: kaf_energo@cfuv.ru

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Крым.

MATHEMATICAL MODEL OF IDEAL STIRLING ENGINE CYCLE

E. Bekirov, M. Asanov, A. Senko

There are large number of works that consider analysis of different models and modifications of Stirling engines. The increased interest of researchers to such engines explained by the fact that their characteristics are potentially quite high, and emissions to the environment are minimal. During research process of the Stirling engine operation, a problem of estimating the Stirling cycle initial parameters which effect on the engine output characteristics is formulated. Calculations often contain rather cumbersome formulas with different experimental coefficients. It is advisable to carry out a number of advanced calculations to identify the nature of change of Stirling engine basic characteristics depending on the required initial parameters. Thus, there is a necessity to build a simple and flexible mathematical model in which there is an ability to change the Stirling cycle initial parameters and to analyze their effect on the engine basic characteristics. In this paper, the model is built for calculating the useful work and the efficiency of the ideal Stirling cycle engine. The developed mathematical model enables tracking of the changes of the ideal Stirling engine cycle parameters in real-time mode. In the mathematical model, any Stirling cycle initial parameter can be set as a number or as a variable depending on time. As a result, the characteristics of some certain Stirling engine or its characteristics depending on the initial parameters and the time can be obtained at the output of the model. This method can provide information that is useful for the initial phase of construction.

Keywords: Stirling engine, the ideal cycle, efficiency, useful work, mathematical model.

References

1. Gorozhankin S.A. Opredelenie parametrov dejstvitel'nyh ciklov dvigatelej Stirlinga na osnove ih adiabatnoj modeli [Determination of parameters of the valid cycles of engines of Stirlinga on the basis of their adiabatic model], J. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Modern industrial and civil engineering], 2006, Vol. 2, No. 4, p. 187-194.
2. Kongtragool B., Wongwises S. Performance of low-temperature differential Stirling engines, J. *Renewable Energy*, 2007, No. 32, p. 547-566.
3. Kozlyakov V.V., Sokolovsky R.I. Termodinamicheskaya model' dvigatelya Stirlinga skhemy Al'fa

[Thermodynamic model of the engine of Stirlinga of the scheme Alpha], J. *Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie* [Mechanical engineering and engineering education], 2010, No. 4, p. 22-28.

4. Chen Ch.L, Ho Ch.E., Yau H.T. Performance Analysis and Optimization of a Solar Powered Stirling Engine with Heat Transfer Considerations, J. *Energies*, 2012, No. 5, p. 3573-3585.
5. Beletsky I.L., Safonov V.A. Opredelenie moshchnostnoj harakteristiki nizkotemperaturnogo dvigatelya Stirlinga [Determination of the power characteristic of the low-temperature engine of Stirlinga], Zbirnik naukovih prac' Sevastopol's'kogo nacional'nogo universitetu yadernoї energiї ta promislovosti [Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості], 2013, Issue 2, p. 193-199.
6. Walker G. Mashiny, rabotayushchie po ciklu Stirlinga [The machines working on a cycle of Stirlinga]; the translation with English, Moscow, Energy, 1978, 152 ps.

Authors:
E. Bekirov– Prof., e-mail: bekirov.e.a@cfuv.ru
M. Asanov– PhD, e-mail: asanov.m.m@cfuv.ru
A. Senko– student, e-mail: kaf_energo@cfuv.ru
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Krym.

УДК 644.112

ПЕРСПЕКТИВЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

В.А. Гусаров
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Рассматриваются вопросы новой технологии в энергетике – микросети. Микросеть – это автономная интеллектуальная электросеть низкого напряжения, с распределенной генерацией, включающей в свой состав возобновляемые источники энергии и источник опорного напряжения, обеспечивающая улучшенную прозрачность функционирования энергосистемы, качественное обслуживание потребителей и предоставляющая экологические преимущества. Представлен прогноз развития микросетей в мире, показана ее структурная схема, объяснена работа. Рассматриваются аспекты снижения себестоимости электроэнергии. Широко распространяющиеся по всему миру микросети в своем составе имеют генераторы солнечной, ветровой, гидро- и биотопливной энергии. Солнечная и ветряная энергия не стабильна во времени, использование энергии малых рек при помощи бесплотинных микроГЭС зависит от наличия рек на данной территории и скорости течения, биотопливные станции сложны и затратны в эксплуатации. Генераторы, работающие от этих источников энергии, как правило, небольшой мощности и вполне приемлемы для работы в составе микросетей. Рассматривается технология использования энергии глубинных сухих слоев земли. Этот метод значительно дешевле традиционного, что подтверждается ростом числа петротермальных электростанций во всем мире. Появляется уникальная возможность замены энергии реакторов атомных электростанций на энергию глубинных слоев земли.

Ключевые слова: *микросети, возобновляемые источники энергии, петротермальная энергетика.*

Введение. В энергетике России начиная с 1990 г. из-за снижения сельскохозяйственного производства произошли значительные изменения в структуре, темпе и характере электрификации сельского хозяйства. Существенно сократился спрос на электроэнергию. Снижение энергопотребления на селе в 1990-е годы и начале 2000-х было следствием снижения производства сельскохозяйственной продукции за счет резко возросших зарубежных поставок более дешевых продуктов питания.

На рис. 1 показано распределение энергетической системы по территории России [1]. В подавляющем большинстве у автономных (распределенных) сетей источниками генерации электроэнергии являются дизельные генераторы, из 50 тысяч генераторов 49 тысяч дизельные. К тому же население численностью 15 млн. человек, проживающее на 70% территории, вообще не присоединено к энергосистемам, и оно использует свою собственную автономную систему энергоснабжения. Эти системы, как правило, создаются в индивидуальном порядке, с использованием дизельных или бензиновых генераторов различной мощности. Такое электроснабжение нестабильно, неудобно и дорого.

Для таких потребителей предлагается создание микросети – одной на небольшое поселение. Термин «микросети» впервые был озвучен в 2006 г. заслуженным профессором Висконсинского университета в Медисоне (США) Робертом Лассетером. Профессора считают автором термина «microgrid» (микросеть, микроэнергетическая система). Так называют устройства, образующие маленькие, умные, автономные электрические сети, объединяющие несколько локальных потребителей и источников энергии.

Работая автономно в режиме «энергетического острова», такие микросети мощностью менее 10 МВт способны надежно обеспечивать энергией сельскохозяйственные центры, промышленные объекты, жилые кварталы, военные базы и др. Более того, микросети способны полностью обойтись без подключения к общей системе энергоснабжения, легко интегрируя местные возобновляемые источники энергии – СЭС, ВЭС, микроГЭС, биогазовые комплексы и др.

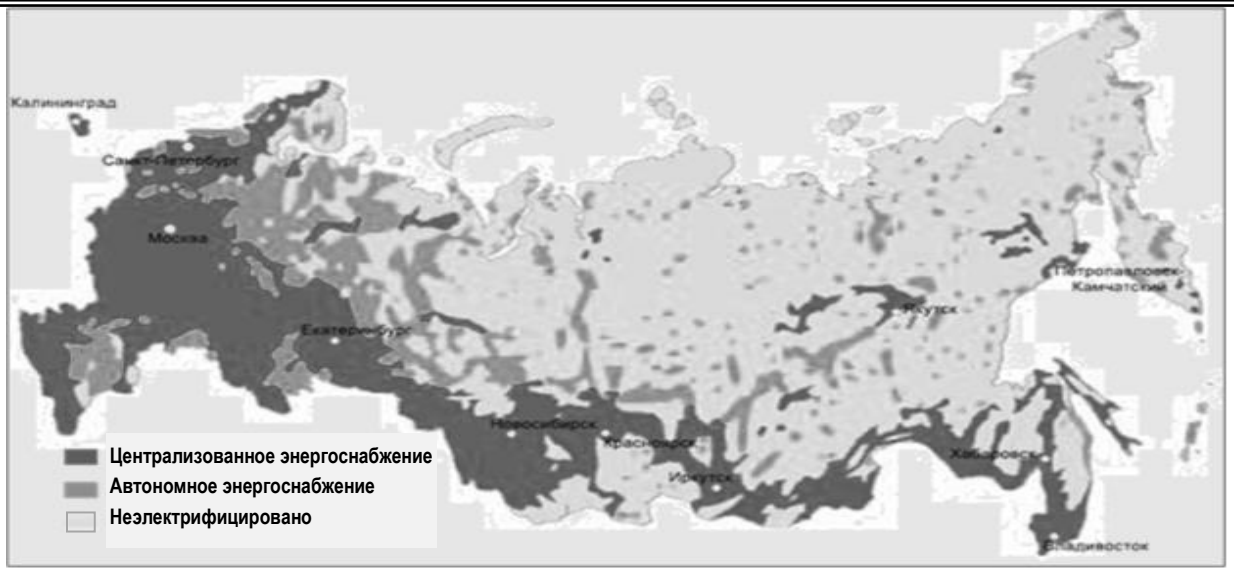


Рис. 1. Карта централизованных и распределенных сетей

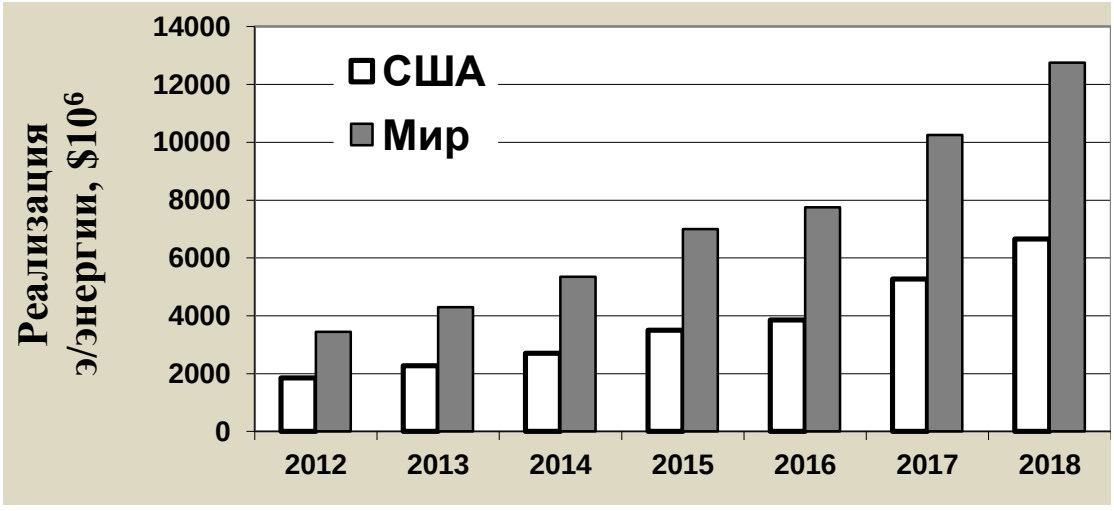


Рис. 2. Прогноз роста реализации электроэнергии микросетями в США и в мире (*Источник: Pike research*)

Поэтому использование микросетей в районах, где нет централизованного электроснабжения, неминуемо. Как показывает мировой опыт, микросети с успехом завоевывают весомую часть энергетического рынка.

Рост тарифов на электроэнергию заставляет потребителей всего мира объединяться в микросети, где для удешевления ее стоимости устанавливают различные генераторы, преимущественно использующие энергию возобновляемых источников.

На рис. 2 показан прогноз роста реализации энергии микросетями, как видно из графика, предполагается рост к 2018 г. в 3 – 4 раза. Средняя годовая выработка электроэнергии к 2014 г. на одного жителя США составит 5,7 кВт•ч в сутки, а к 2018 году 35 кВт•ч в сутки.

Что собою представляет автономная (распределенная) сеть? По своей структуре она состоит из энергетических компаний и распределительных сетей, а по составу – это энергетический центр, имеющий электрогенератор, воздушные или кабельные линии электропередач, трансформаторные подстанции, распределительные узлы и приборы учета, посредством которых вырабатывается и передается на реализацию электроэнергия потребителям. Эта сеть охватывает определенный территориальный район с одним или несколькими населенными пунктами. Мощность сети разнообразная: от нескольких сот киловатт, до нескольких мегаватт.

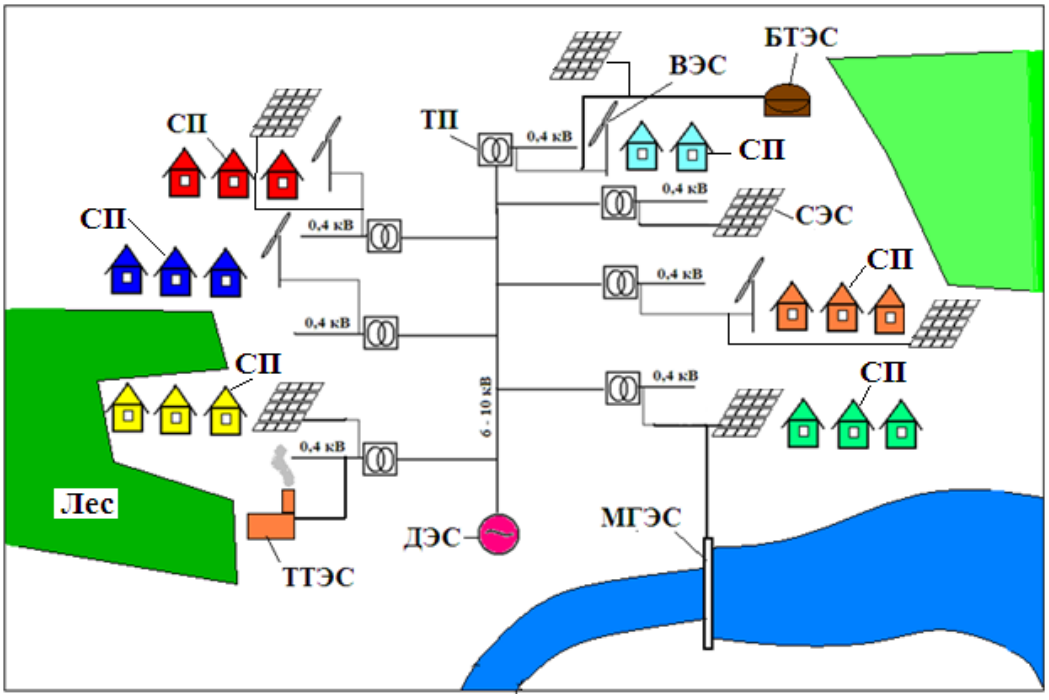


Рис. 3. Схема электроснабжения распределенной сети в сельских районах: СП – сельское поселение; ВЭС – ветроэлектростанция; СЭС – солнечная электростанция; ДЭС – дизельная электростанция; МГЭС – микрогидроэлектростанция; ТТЭС – твердотопливная электростанция; БТЭС – биотопливная электростанция; ТП – трансформаторная подстанция

Россия в техническом отношении на несколько лет отстает от передовых стран мира, но неуклонно двигается в этом же направлении. Следовательно, можно предположить, что настанет время бурного развития микросетей и у нас. В сельских поселениях, где будут организованы микросети, появится огромное количество «солнечных крыш», ветроагрегатов небольшой мощности, на фермах агропромышленных комплексов и фермерских хозяйств появятся биогазовые установки, в лесах заработают парогенераторы, на малых реках построят микроГЭС. Микросети перейдут в режим самодостаточности и будут полностью обеспечивать своих потребителей.

На рис. 3 представлена схема распределенной сети с подключенными к ней микросетями. Сельское поселение для снижения тарифов на электроэнергию, а также для обеспечения собственной энергетической безопасности включает в свою сеть после понижающего трансформатора 6-10/0,4 кВт свои собственные генераторы энергии. Эти генераторы для обеспечения наибольшей прибыли должны использовать бесплатную энергию природы: солнце, ветер, биомассу, энергию малых рек и т.д. и вырабатывать тепловую и электрическую энергию, т.е. должны быть когенерационными источниками.

Если первоначально затраты на установку генерирующего оборудования могут быть незначительны и растянуты во времени, то по мере увеличения мощности и уровня замещения централизованной электроэнергии собственной снижение реализации электроэнергии энергетической компанией будет все более заметно и будет выражаться в снижении прибыли компании.

Если доля реализации ВИЭ превысит 25 – 30%, то рентабельность всей распределенной сети достигнет критического уровня, что повлечет увеличение тарифов, в результате чего потребление электроэнергии потребителями сведется к минимуму. Генерирующий центр по стоимости электроэнергии не сможет конкурировать с почти бесплатной энергией микросетей. Наступит момент, когда микросети еще не достигнут уровня энергетической безопасности, а сети из-за низкой реализации перейдут уровень критической эффективности.

Последствия малоутешительны. Невозможность энергетическими компаниями эксплуатировать энергетическое хозяйство приведет к тому, что генерирующий центр, линии электропередач, трансформаторные подстанции и остальное электротехническое оборудование могут стать бесхозными и со временем самоликвидируются. А тем временем подключенные

к этим сетям потребители, неся непомерные затраты, будут вынуждены приобретать для замещения централизованной электроэнергии в ускоренном порядке собственное генерирующее оборудование.

Как избежать подобного сценария? Уже сегодня необходимо подумать о надвигающейся угрозе. Рост тарифов на электроэнергию, несмотря на государственные дотации, делает нашу продукцию неконкурентоспособной. В настоящее время дизельная электростанция из 1 литра топлива вырабатывает 2 – 3 кВт•ч электроэнергии. Стоимость дизельного топлива (на март 2016 г.) составляет около 35 руб./л. Отсюда, стоимость электроэнергии только по топливу составляет 12 – 16 руб /кВт•ч. Естественно, что такая стоимость электроэнергии губительна и для сельскохозяйственного производителя, и для большинства сельского населения. Генерирующим предприятиям необходимо отказаться от дорогого и удобного углеводородного сырья и изыскать возможность перейти на другие, более дешевые энергоносители.

Широко распространяющиеся по всему миру микросети в своем составе имеют генераторы солнечной, ветровой, гидро- и биотопливной энергии. Солнечная и ветровая энергия нестабильны во времени, использование энергии малых рек при помощи бесплотинных микроГЭС зависит от наличия рек на данной территории и скорости их течения, биотопливные станции сложны и затратны в эксплуатации. Генераторы, работающие от этих источников энергии, как правило, небольшой мощности и вполне приемлемы для работы в составе микросетей. Но внедрять эти источники в большую энергосистему России, устраивая ветропарки, крупные солнечные фермы, нерентабельно. Чтобы обеспечить надежное круглогодичное электроснабжение от таких источников энергии, как солнце, ветер и малые реки, необходимо реальную мощность этих генераторов увеличить относительно их установленной мощности в различных районах России от 4 до 7 раз. В последнее время в науке появилось новое направление солнечной энергетики – использование концентраторов солнечного излучения [2], но скорость падения мировых цен на солнечные преобразователи так велика, что экономически их использование не выгодно.

Что же может конкурировать с такими возобновляемыми источниками энергии? Тоже возобновляемые источники, тоже бесплатные, но более надежные, работающие постоянно в любое время суток, в любое время года и на всей территории России.

К таким возобновляемой источникам энергии относится петротермальная энергия, т.е. тепло, заключенное в сухих глубинных слоях земной коры. Идею использования энергии Земли высказывал Э.К. Циолковский в 1914 г. [3]. Опыт многих странах мира по использованию петротермальных теплоносителей показывает, что в благоприятных условиях он оказывается в 2-5 раз выгоднее тепловых и атомных электростанций. По существующей технологии используемое углеводородное сырье проходит процессы разведки, добычи (бурение скважин), транспортировки (строительство газонефтепроводов), переработки и доставки на электростанцию. Развитие атомной энергетики в России, где имеется огромное количество природных энергетических ресурсов, преждевременно, так как еще не полностью решены вопросы безопасности, а череда аварий с трагическими последствиями за шестидесятилетнюю историю довольно велика.

Технология использования энергии глубинных сухих слоев земли заключается в следующем: бурятся скважины до глубины с нужной температурой в непосредственной близости от электростанции, в них опускается теплообменное оборудование, в которое закачивается вода, а полученный перегретый пар используется для привода турбин генераторов. Этот метод значительно дешевле традиционного, что подтверждается ростом числа петротермальных электростанций во всем мире. Так во Франции существует более 60 станций, в США 224 станции [4], а также такие станции строятся в Германии, Англии, Австралии и других странах [5]. Появляется уникальная возможность замены энергии реакторов атомных электростанций на энергию глубинных слоев земли.

В России экономической составляющей петротермальных электростанций занимаются академик Академии технологических наук Н.А. Гнатусь и А.С. Некрасов. По их утверждению, объем инвестиций в бурение скважин можно оценить в 1,2 млрд. руб., а петротермальной станции – в пересчете на 1 кВт установленной мощности сейчас порядка 1,6-4 тыс. долларов. Это немало, но, в принципе, сопоставимо с затратами на строительство солнечных или атомных электростанций [6].

Петротермальная энергия – это стабильный, энергоемкий, чистый и неисчерпаемый источник тепловой энергии. На глубине до 4-6 км породы с температурой 300-400ºС можно встретить лишь вблизи молодых вулканов, породы с температурой 100-150°С распространены на этих глубинах повсеместно, а с температурой 180-200°С – на довольно значительной части

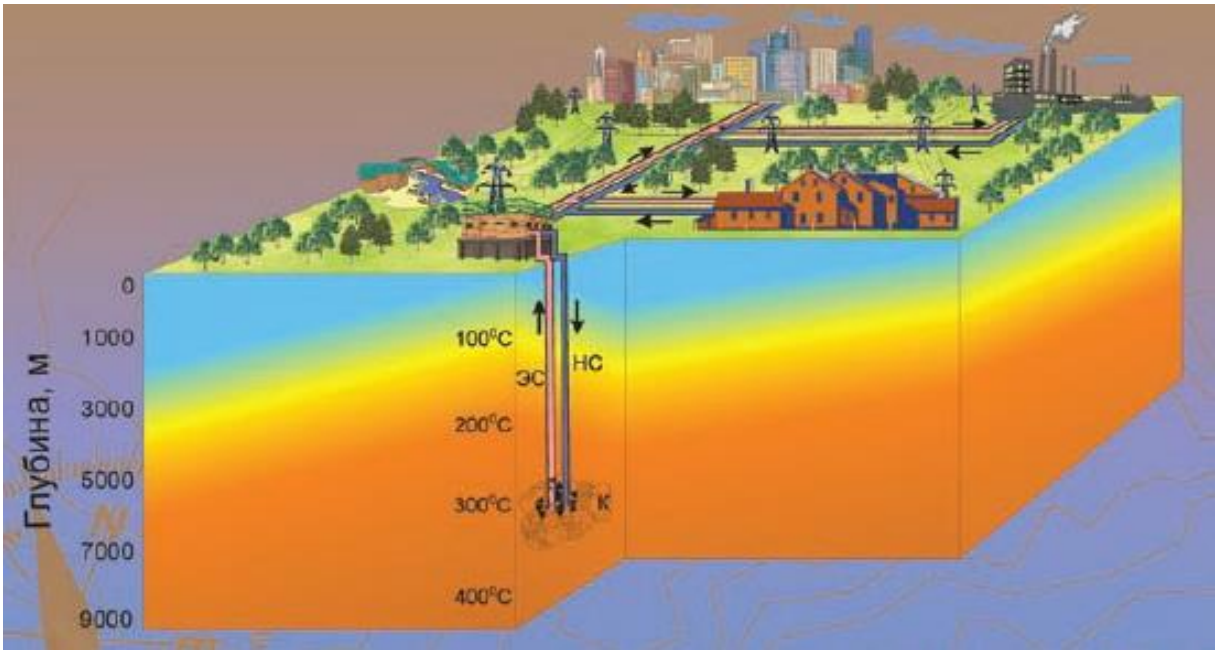


Рис. 4. Схема выработки электроэнергии, тепла и их поставки потребителю. (Источник:http://www.holidays.aterix.ru/netradicionnye_istochniki_energii/geotermalnaya_energiya)

России, и это составляет около 99% общих ресурсов внутриземного тепла [7].

Технологии извлечения теплоты из горячих сухих подземных коллекторов получили название «Hot Dry Rock (HDR) технологии». Для надежного обеспечения турбин ПетроЭС паром необходима температура пород 250ºС и выше. При градиенте температур 2,5ºС/100 м для этого должны быть сооружены скважины глубиной до 10 км.

Однако применительно ко всей территории нашей страны глубина скважин для нужд теплоснабжения ЖКХ лежит в пределах 3-4,5 км и не превышает 5-6 км, а для электроэнергии в широких масштабах потребуется создание циркуляционных систем со скважинами глубиной 7-9 км.

Современная технология добычи тепла следующая: бурятся две соединяющиеся внизу между собою скважины, как показано на рис. 4. В одну закачивается вода, на глубине она нагревается, превращаясь в пар, который по другой скважине поднимается на поверхность и используется для отопления, а при достаточной температуре – для привода турбин электрогенераторов. Однако такой метод добычи теплоносителя не всегда эффективен, так как подаваемая вода при перетекании из одной скважины в другую напрямую контактирует с глубинными породами. Из-за этого срок службы скважин может не превышать 10 лет. К тому же вымываемые минеральные соли могут достигать высокой концентрации, что затруднит дальнейшее использование теплоносителя.

В отделе возобновляемых источников энергии ФГБНУ ВИЭСХ разработан метод бесконтактного отбора теплоты теплоносителем. Предлагается до глубины 2,5 – 3 км разрабатывать технологический туннель наклонного исполнения. На глубине 2,5 – 3,0 км устраивается машинный зал и устанавливается генерирующее оборудование. Предположительная температура породы на этой глубине составляет 80 – 100 ºС. С учетом устройства теплоизоляции контура зала и подачи необходимой порции охлаждающего воздуха температура в машинном зале и туннеле не должна превышать 20 – 25ºС. В машинном зале устраиваются скважины до слоев с температурой породы 150ºС для подогрева теплоносителя на нужды теплоснабжения ЖКХ и до слоев с температурой породы 250ºС для привода электрогенераторов. В скважины опускаются подающий и обратный трубопроводы с теплообменниками в нижней точке. Затем скважина заливается раствором, имеющим высокую теплопроводность (рис. 5).

Современные методы разработки породы позволяют пройти буровым снарядам диаметром 100 см расстояние 4,5 – 5,0 км за несколько недель.

В машинном зале расположены парогенераторы для выработки электроэнергии, коллек-

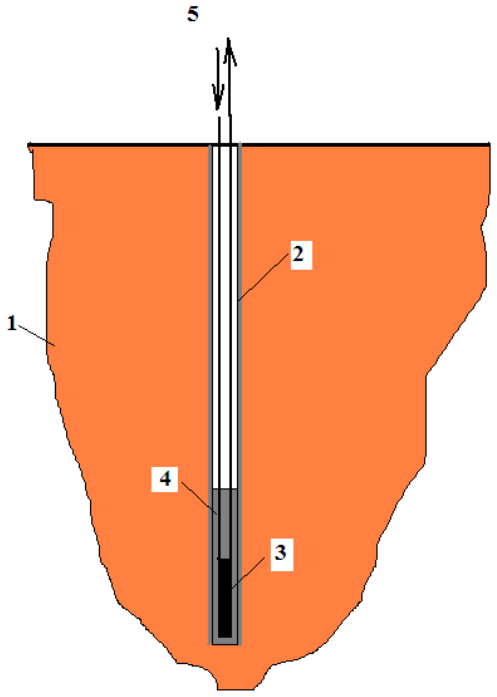


Рис. 5. Бесконтактный метод теплообмена:
1 – порода; 2 – скважина; 3 – теплообменник;
4 – теплопроводящий раствор; 5 – подающий и обратный трубопроводы

торы сбора и подачи теплоносителя для теплоснабжения ЖКХ и транспортировки пара для электрогенераторов, помещения для персонала.

Наклонный тоннель обеспечивает более легкий доступ в машинный зал. В нем расположены вентиляционные воздуховоды – подающие и обратные, трубопроводы для подачи и отвода технологической воды, транспортная магистраль, кабели различного назначения. При строительстве станции через туннель легче вывозить породу.

В распределительном зале расположены вентиляционные системы, транспортные механизмы, системы распределения теплоносителя и электроэнергии (рис. 6).

Из распределительного зала в машинный зал подается вода, которая распределяется на два потока, один нагревается до перегретого состояния 150ºС скважинами, расположенными на глубине 4 – 5 км, и поднимается на поверхность для нужд ЖКХ, другой подается в скважины глубиной 7 – 8 км для получения перегретого пара с температурой 250ºС, необходимого для привода турбин электрогенераторов. Отработанный пар тоже может использоваться для нужд промышленности и ЖКХ.

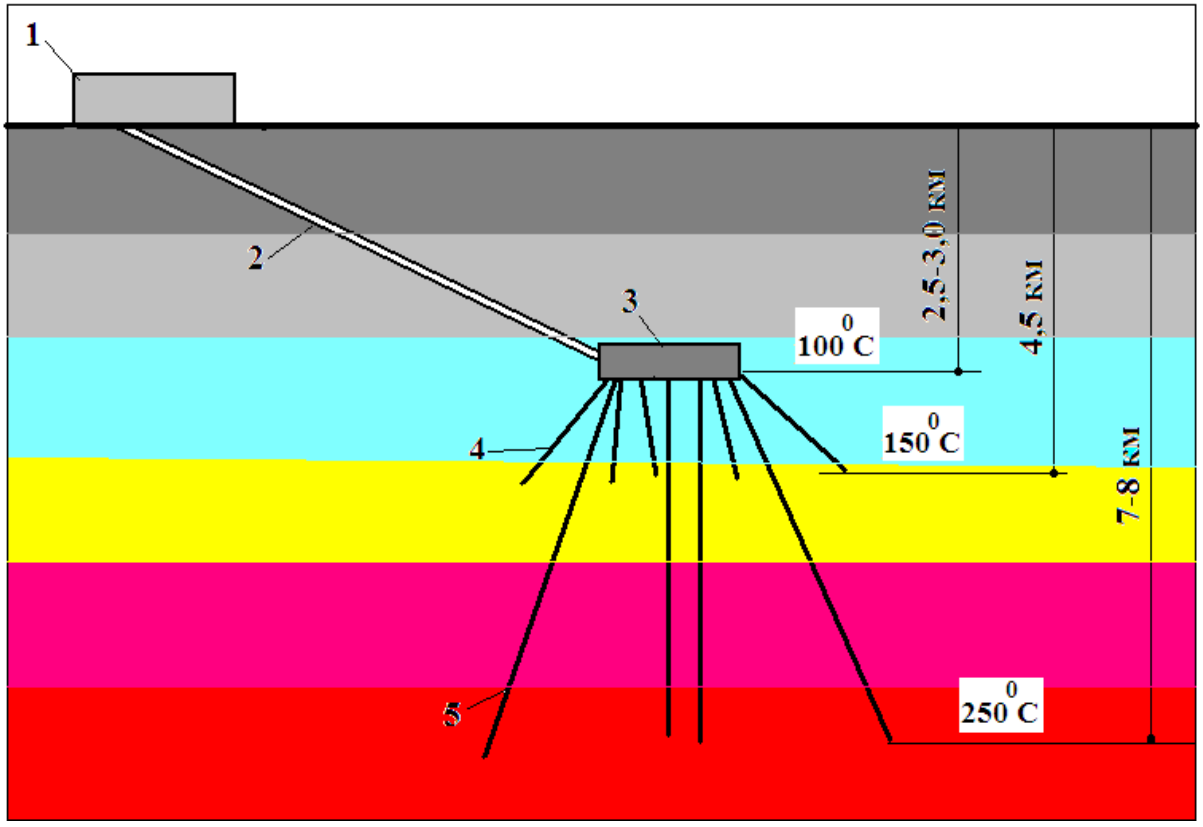


Рис. 6. Предлагаемая схема устройства ПТЭС:
1 – распределительный зал; 2 – туннель; 3 – машинный зал; 4 – скважины теплоснабжения;
5 – скважины для электрогенераторов

Выводы

1. Петротермальная энергия – это неисчерпаемый возобновляемый источник тепловой энергии, способный заменить углеводородное топливо.

2. Петротермальные электростанции (ПТЭС) – это когенерационные системы с высоким КПД.

3. Размещение ПТЭС возможно в любой точке России.

4. Замена ДЭС на ПТЭС – это самый эффективный вариант для сохранения и развития распределенной энергетики.

5. Появляется возможность замены энергии атомных реакторов АЭС на петротермальную энергию Земли.

Литература

1. *Фортов В.Е., Попель О.С.* Энергетика в современном мире. М.: Издательский дом «Интеллект», 2011. – С. 59.
2. *Майоров В.А.* Энергетические характеристики солнечных батарей различных типов и режимов работ // «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Труды 6-й Межд. науч.-техн. конф. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Ч. 4. – С. 112-118.
3. *Циолковский К.Э.* Второе начало термодинамики. Калуга: Типография С.А. Семенова, 1914.
4. *Дядькин Ю.Д.* Геотермальная теплофизика. С.-Пб., 1993. – С. 255.
5. Электронный ресурс. Режим доступа: http://knowledge.allbest.ru/physics/3c0b65625b2bd68b5c43a 89421316d36_0.html
6. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.moderniz.ru/news/petrotermalnaja_ehnergetika_start_v_rossii/2011-02-22-641
7. Минерально-сырьевая база топливно-энергетического комплекса России.

Сведения об авторе:

Гусаров Валентин Александрович – канд. техн. наук, ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия,
e-mail: cosinys50@mail.ru

PROSPECTS FOR DISTRIBUTED ENERGY

V. Gusarov

The problems of new technology in power engineering – microgrid are considered. The microgrid is an independent intelligent energy supply network of a low voltage, with the distributed generation including renewables and a reference voltage source, providing the improved transparency of functioning of a power supply system, high-quality service of consumers and providing ecological advantages. The forecast of development of micronetworks in the world is submitted, her block diagram is shown, and work is explained. The aspects of reducing the cost of electricity are considered. The microgrids, which are widely extending worldwide, incorporate generators of solar, wind, hydro, and biofuel energy. Solar and wind energy are not stable over time, the use of small rivers energy with the help the damless micro hydroelectric power station, depends on existence of the rivers in this territory and speed of a current, biofuel stations are difficult and expensive in operation. The generators working from these power sources, as a rule, are quite small and acceptable for work as a part of microgrids. The technology of energy use of deep dry layers of the earth is considered. Since 1990 there were considerable changes in structure, speed and nature of electrification of agriculture in power industry of Russia, because of decrease in agricultural production. Demand for the electric power was significantly reduced. Decrease in energy consumption in the villages, in the 1990th years and at the beginning of the 2000th, was a consequence of decrease in production of agricultural production due to sharply increased foreign deliveries of cheaper food. We consider the use of energy technology of deep layers of dry land. This method is much cheaper than the traditional, as evidenced by the growing number of petrotermal power plants around the world. There is a unique possibility of replacement of energy of nuclear power plants reactors to energy of deep layers of the earth.

Keywords: microgrid, renewables, petrotermalny power.

References

1. Fortov V. E., Popel O. S. Ehnergetika v sovremennom mire [Power industry in the modern world]. Moscow, Publishing house «Intellekt», 2011. P. 59.
2. Majorov V.A. Ehnergeticheskie harakteristiki solnechnyh batarej razlichnyh tipov i rezhimov rabot [Energetic characteristics of solar batteries of different types and modes of operations], "Power supply and energy saving in agriculture": Proceedings of the 6th International scientific and technical conference. Moscow, VIESH, 2008. Part 4. P. 112-118.
3. Tsiolkovsky K.E. Vtoroe nachalo termodinamiki [Second beginning of thermodynamics]. Kaluga: S.A. Semyonov's printing house, 1914.
4. Dyadkin Yu. D. Geotermal'naya teplofizika [Geothermal thermophysics]. St. Petersburg, 1993. P. 255.
5. Electronic resource. Access mode: http://knowledge.allbest.ru/physics/3c0b65625b2bd68b5c43a 89421316d36_0.html
6. Electronic resource. Access mode: http://www.moderniz.ru/news/petrotermalnaja_ehnergetika_start_v_rossii/2011-02-22-641
7. Mineral resources of fuel and energy complex of Russia.

Author:

Gusarov V. - Ph. D. (Engineering),
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: cosinys50@mail.ru

УДК 621.383

ПРОГРАММА «ОДИН МИЛЛИОН СОЛНЕЧНЫХ КРЫШ» В РОССИИ

Д.С. Стребков[1], Н.Ю. Бобовников[1], А.Е. Иродионов[1], А.И. Кирсанов[2], В.А. Панченко[1], Н.С. Филиппченкова[1]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия
[2]ООО «Инноватикс», г. Анапа, Россия

Разработана гибридная кровельная панель для производства электрической энергии и горячего водоснабжения зданий. Приведены результаты испытаний гибридной кровельной солнечной панели. Годовое производство электрической энергии в условиях г. Анапы составит 1682 кВт·ч/кВт, для средней полосы России (г. Москва) 1100 кВт·ч/кВт. Предложена программа «Один миллион солнечных крыш в России», в которой, в отличие от зарубежных программ, не предусматриваются субсидии государства для владельцев солнечных домов. Минэнерго РФ необходимо разработать с использованием опыта законодательства европейских стран, США и Японии процедуру разрешения для владельцев солнечных домов поставлять электрическую энергию в сеть по цене, по которой владелец солнечного дома покупает электрическую энергию от сетевой компании. Реализация программы позволит снизить энергоемкость ВВП России на 1,5%, приведет к увеличению ВВП России на 0,3%, снижению выбросов парниковых газов на 2,84 млн тонн в год и созданию 100 тысяч новых рабочих мест.

Ключевые слова: *солнечный дом, солнечная панель, солнечная крыша, программа.*

Программы «Один миллион солнечных крыш» реализуются в странах Европы, в США и Японии. Программы включают субсидии государства на установку солнечных модулей на крышах зданий общей электрической мощностью до 3,5 кВт на одну семью и присоединение к электрической сети через инвертор и электрический счетчик.

Преимущества программы заключаются в следующем.

1. Объединение функции солнечного модуля и крыши здания снижает их общую стоимость по сравнению с вариантом, когда сначала делается крыша, а потом устанавливаются солнечные модули.

2. Солнечные модули не занимают площадь на земле и не требуют платы за землю.

3. Владельцы солнечной крыши продают дорогую электроэнергию в часы дневного пикового энергопотребления в сеть, а покупают из сети дешевую внепиковую электроэнергию.

В 2013-2015 гг. в ВИЭСХе разработана солнечная кровельная панель (солнечная черепица) (рис. 1), в которой совмещены функции крыши и солнечного модуля [1, 2].

В отличие от зарубежных образцов, в солнечной черепице используют встроенные стационарные солнечные концентраторы, что позволило снизить площадь кремниевых солнечных элементов в 4 раза и получать от солнечной крыши электрическую энергию и горячую воду. Солнечная черепица имеет защитное антивандальное покрытие из закаленного стекла и кабель для соединения с соседней солнечной черепицей (рис. 2) [3].

Рабочее напряжение 1-1,2 В, пиковая электрическая мощность 5-7 Вт в зависимости от КПД солнечных элементов. На 1 м^2 крыши размещается 14 солнечных черепиц пиковой электрической мощностью 70-100 Вт. Солнечная черепица пиковой мощностью 3,5 кВт занимает 30-40% площади крыши.

Стоимость одной солнечной черепицы составляет 12 долл. США по сравнению со стоимостью китайской солнечной черепицы в Китае 14 долл. США, а в России с учетом транспортировки и таможенных пошлин 20-24 долл. США.

На рис. 3 представлена зависимость выработки электроэнергии от угла наклона солнечной крыши для г. Анапы, из которой следует, что

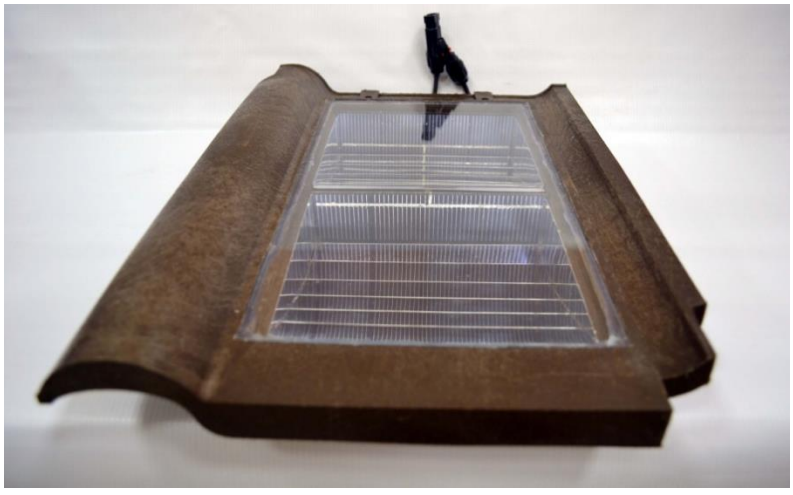


Рис. 1. Кровельная солнечная панель разработки ВИЭСХ (содержит встроенные стационарные зеркальные концентраторы с концентрацией 4 и солнечные элементы из кремния)

Рис. 2. «Солнечный дом» в г. Анапе жилой площадью 150 м^2 с крышей из солнечной черепицы электрической мощностью 2 кВт

при оптимальном угле наклона 30-40^o годовая выработка электроэнергии составит 1682 кВт·ч на 1 кВт пиковой мощности солнечной крыши. Для широты г. Москвы годовое производство электроэнергии составит 1100 кВт·ч/кВт.

Покажем, что, если известно годовое количество солнечной энергии, поступающей на 1 м^2 южного ската крыши дома $Э_0$, (кВт·ч/м^{2}год), можно определить количество электроэнергии, вырабатываемой за год солнечной электростанцией на крыше дома пиковой электрической мощностью 1 кВт, $N_{СЭС}$ = 1 кВт (рис. 3).

Количество электроэнергии, вырабатываемой солнечной электростанцией площадью $S_{СЭС}$ за год, составляет:

$$Э = Э_0 \cdot S_{СЭС} \cdot \eta_{СЭС} \text{ кВт·ч}, \qquad (1)$$

где $\eta_{СЭС}$ – КПД СЭС.

Электрическая мощность солнечной электростанции:

$$N_{СЭС} = R_0 \cdot S_{СЭС} \cdot \eta_{СЭС} \text{ кВт}, \qquad (2)$$

где R_0 – мощность солнечного излучения на 1 м^2 СЭС.

Разделив (1) на (2), получим количество электроэнергии, вырабатываемой солнечной электростанцией пиковой мощностью 1 кВт за год:

$$\frac{Э}{N_{СЭС}} = \frac{Э_0 \cdot S_{СЭС} \cdot \eta_{СЭС}}{N_{СЭС}}, \quad \frac{кВт \cdot ч \cdot год}{кВт}. \qquad (3)$$

Подставляя $N_{СЭС}$ в правую часть (3), получим:

$$\frac{Э}{N_{СЭС}} = \frac{Э_0 \cdot S_{СЭС} \cdot \eta_{СЭС}}{R_0 \cdot S_{СЭС} \cdot \eta_{СЭС}} = \frac{Э_0}{R_0}, \quad \frac{кВт \cdot ч / год}{кВт}.$$

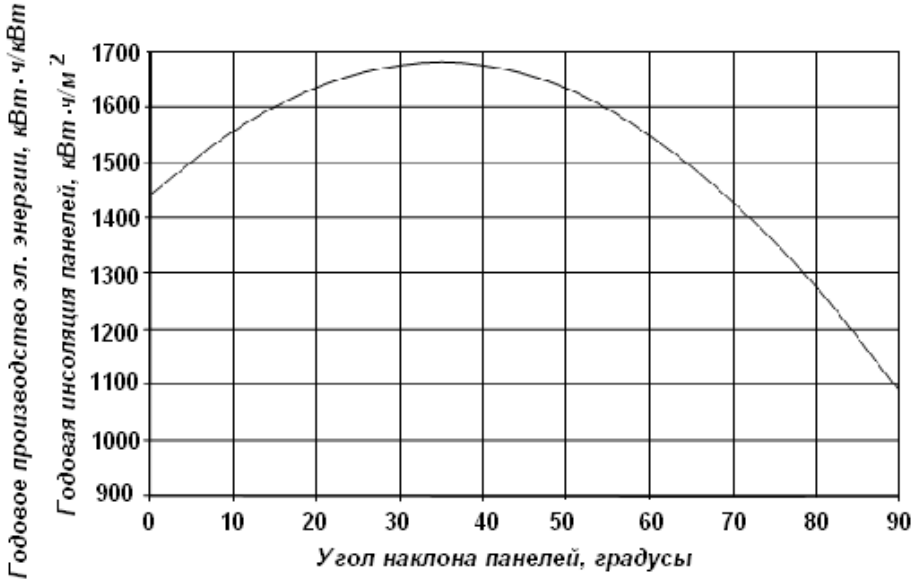


Рис. 3. Результаты расчета годовой производительности солнечной кровли зданий, расположенных в окрестностях Анапы

Поскольку пиковая электрическая мощность СЭС определяется при стандартной мощности солнечного излучения R_0 = 1 кВт/м^2, получаем, что количество электроэнергии, вырабатываемой СЭС пиковой электрической мощностью 1 кВт в $\frac{кВт \cdot ч / год}{кВт}$, численно равно годовому количеству солнечной энергии, поступающей на 1 м^2 поверхности СЭС и не зависит от КПД и площади солнечной электростанции.

Программа «Один миллион солнечных крыш в России» при пиковой электрической мощности одной солнечной крыши 3,5 кВт дает годовую экономию пиковой электроэнергии 5,887 млрд кВт·ч в южных регионах России или 3,85 млрд кВт·ч в средней полосе России. За счет когенерации экономия затрат на электроэнергию и горячее водоснабжение составит 17,774 млрд кВт·ч в год в южных районах России и 11,55 млрд кВт·ч в год в средней полосе России. Суммарная установленная пиковая мощность солнечных крыш по программе составит 3,5 ГВт, или около 2,8% от установленной мощности электростанций в энергосистеме России.

Ранее считалось, что энергосистема остается устойчивой и выполняет функции аккумулирования энергии СЭС, если установленная мощность СЭС не превышает 15% мощности электростанций в энергосистеме. В связи с развитием умных сетей («Smart grid») доля распределенной солнечной генерации может быть увеличена. Например, в Германии в июле 2015 г. доля электроэнергии, вырабатываемая электростанциями, использующими возобновляемые источники энергии, составляла 78%.

Программа «Один миллион солнечных крыш в России» не потребует субсидий от государства. Единственное, что должно сделать Минэнерго РФ – разрешить поставлять электроэнергию от солнечной крыши в сеть по цене, по которой владелец дома покупает электрическую энергию от сети. За рубежом это делается с помощью двух электрических счетчиков: один фиксирует стоимость купленной, а второй – стоимость проданной электроэнергии. При равенстве стоимостей купленной и проданной электроэнергии за месяц или год владелец солнечного дома и сетевая компания ничего не платят друг другу.

Реализация программы позволит снизить энергоемкость ВВП России на 1,5%, приведет к увеличению ВВП России на 0,3%, снижению выбросов парниковых газов на 2,84 млн т в год и созданию 100 тыс. новых рабочих мест.

Выводы

1. Разработана гибридная кровельная панель для производства электрической энергии и горячего водоснабжения зданий. Приведены результаты испытаний гибридной кровельной солнечной панели. Годовое производство электрической энергии в условиях Анапы составит 1682 кВт·ч/кВт, для средней полосы России (Москва) 1100 кВт·ч/кВт.

2. Предложена программа «Один миллион солнечных крыш в России», в которой, в отличие от зарубежных программ, не предусматриваются субсидии государства для владельцев

солнечных домов. Минэнерго РФ необходимо разработать с использованием опыта законодательства европейских стран, США и Японии процедуру разрешения для владельцев солнечных домов поставлять электрическую энергию в сеть по цене, по которой владелец солнечного дома покупает электрическую энергию от сетевой компании.

Реализация программы позволит снизить энергоемкость ВВП России на 1,5%, приведет к увеличению ВВП России на 0,3%, снижению выбросов парниковых газов на 2,84 млн т в год и созданию 100 тыс. новых рабочих мест.

Литература

1. *Стребков Д.С.* Физические основы солнечной энергетики. М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. – 160 с.
2. Патент РФ № 2572176. Солнечный модуль с концентраторами (варианты) / Стребков Д.С., Кирсанов А.И., Иродионов А.Е., Панченко В.А. // БИ. 2015. № 36.
3. *Стребков Д.С., Панченко В.А., Иродионов А.Е., Кирсанов А.И.* Разработка кровельной солнечной панели // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 4(21). – С. 106-110.

Сведения об авторах:

Стребков Дмитрий Семенович - академик РАН, профессор, доктор техн. наук, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ ВИЭСХ),
e-mail: nauka-ds@mail.ru,

Бобовников Николай Юрьевич – аспирант**,**

Иродионов Анатолий Евгеньевич – канд. техн. наук,

Панченко Владимир Анатольвич – канд. техн. наук,

Филиппченкова Наталья Сергеевна – аспирант**,**
ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия,

Кирсанов Анатолий Иванович – ООО «Инноватикс», г. Анапа, Россия,
e-mail: info@innovatics.ru

THE PROGRAM «ONE MILLION SOLAR ROOFS» IN RUSSIA

D. Strebkov, N. Bobovnikov, A. Irodionov, A. Kirsanov, V. Panchenko, N.S. Filipchenkova

Hybrid solar roofing panel for production of electricity and hot water supply of buildings is under development. Test results of hybrid solar roofing panels are presented. Annual production of electric energy in the conditions of the city Anapa is equal to 1682 kW·h/kW, and for Central Russia (Moscow) – 1100 kW·h/kW. The program "One million solar roofs in Russia" without state subsidies for owners of solar homes is proposed. The Ministry of Energy of the Russian Federation should develop a procedure for the resolution of the owners of solar homes to supply electricity to the network at the price at which the owner of a solar home buys electricity from the power company using the experience of legislation of European countries, USA and Japan. Implementation of the program will reduce the energy intensity of Russia's GDP by 1.5%, would increase Russia's GDP by 0.3%, reduce greenhouse gas emissions by 2.84 million tons per year and create 100 thousand new jobs.

Keywords: solar house, solar panel, solar roof, the program.

References

1. Strebkov D.S. Fizicheskie osnovy solnechnoj ehnergetiki [The Physical basis of solar energy]. – Moscow, VIESH, 2015. – 160 pp.
2. Pat. of the Russian Federation No. 2572176. Solar module with concentrator (versions) / Strebkov D.S., Kirsanov A.I., Irodionov A. E., Panchenko V.A. – Appl. 27.05.2014, publ. 27.12.2015. Bull. No. 36.
3. Strebkov D.S., Panchenko V.A., Irodionov A.E., Kirsanov A.I. Razrabotka krovel'noj solnechnoj paneli [Development of roof solar panels], J. *Vestnik VIESH*, 2015, No. 4(21). P. 106-110.

Authors:

D. Strebkov– academician of RAS, Professor, doctor of technical sciences, scientific director of All-Russia Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), Moscow, Russia, e-mail: nauka-ds@mail.ru,
N. Bobovnikov– Ph. D. student,
A. Irodionov– Ph. D. (Engineering),
V. Panchenko– Ph. D. (Engineering),
N. Filipchenkova– Ph. D. student
All-Russia Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), Moscow, Russia.
A. Kirsanov - JSC Innovatics,
Anapa, Russia, e-mail: info@innovatics.ru

УДК 631.95:502.064.2:504.055

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ И МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Ю.Е. Виноградов, Д.С. Стребков
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

В работе подведены итоги анализов расчетов параметров климата, выполненных исходя из концепции: «Причиной потепления климата является антропогенное тепловое загрязнение окружающей среды». На примере Земли в рамках исследования баланса энергетических ресурсов планеты показано, что Земля приближается к точке невозврата по климату, и если продолжать бороться с эмиссий парниковых газов и не устранять истинную причину потепления - антропогенное тепловое загрязнение, то всех интеллектуальных и материальных ресурсов планеты не хватит, чтобы остановить движение климата Земли к состоянию, не пригодному для биологической жизни. В статье обсуждаются методы и экономически реализуемые проекты по предотвращению глобального потепления климата.

Ключевые слова: *тепловое загрязнение, парниковые газы, потепление климата.*

Современные представления о проблемах изменения климата

Рассуждения в этой статье на тему описания будущего построены на научной точке зрения, в соответствии с которой причиной потепления климата является тепловое антропогенное загрязнение среды обитания.

Кроме того, учтена накопившаяся в атмосфере антропогенная теплота, которая запустила положительную обратную связь в природном механизме автоматического поддержания температуры климата. За 18 лет борьбы с парниковыми газами количество теплоты, которая дополнительно перехватывается более влажной атмосферой, в 30 раз стало превышать годовое тепловыделение от сгоревшего за год топлива.

Можно ли относить к антропогенному загрязнению и дополнительную часть теплоты, остающейся в более влажной атмосфере, которая по происхождению – солнечная, но появление которой спровоцировано накопившейся антропогенной теплотой, – это вопрос терминологии. По сути, эта дополнительная теплота является отклонением природной автоматической системы поддержания температуры климата.

Ошибка регулирования возникает во всех системах автоматического регулирования, и она тем больше, чем меньше быстродействие системы автоматического регулирования, чем меньше коэффициент усиления в цепи отрицательной обратной связи системы регулирования, чем ниже порог ограничения динамических характеристик системы автоматического поддержания параметра системы.

На планетах, подобных Земле, всегда в природном механизме автоматического поддержания температуры климата будет излишняя инерционность, связанная с наличием больших масс воды и льда на планете, всегда будет существовать маленький коэффициент в отрицательной обратной связи, обусловленный тем, что при нагреве вод океанов и морей выделяется недостаточное количество дополнительных газов с молярной массой, отличающихся от азота воздуха, чтобы эти дополнительные газы вывели всю лишнюю теплоту внешнего теплового возмущения в космос. Всегда на планетах, подобных Земле, управляющее воздействие отрицательной обратной связи в виде увеличения концентрации двуокиси углерода в атмосфере будет ограничиваться тем, что двуокись углерода будет поглощаться агрокультурами, травой и лесами (это тот самый элемент «…ограничение динамических характеристик системы...» – см. выше).

Во избежание путаницы, дополнительную теплоту в атмосфере, остающуюся под действием парникового эффекта частиц воды в атмосфере (другие газы не создают парникового эффекта при действующих температурах поверхности планеты), можно называть «***теплотой недорегулирования***».

К сожалению, в обществе, обсуждающем потепление климата, существует единственная парадигма причины потепления, и в потеплении обвиняют возрастающую со временем концентрацию в атмосфере так называемых «парниковых газов».

«*Теория вероятности позволяет доказать, что Вселенная скорее всего заполнена множеством потенциально обитаемых планет. Примерно 3,5 миллиарда лет назад сразу три планеты Солнечной системы могли в принципе поддерживать жизнь – Венера, Марс и Земля, которые и сегодня находятся в разных частях так называемой «зоны жизни» (в наборе орбит, где вода может существовать в жидком виде). Через миллиард лет Венера превратилась в раскаленный и «кислотный» ад, а Марс – в безводную и замороженную пустыню. Но для того, чтобы планета была действительно обитаемой, обитающие на ней существа должны уметь управлять парниковыми газами и тем поддерживать стабильность температуры на ее поверхности*» [1].

В действительности управлять нужно антропогенной теплотой, но факт необходимости управления климатом отражен правильно, даже в неверной концепции парниковых газов. В работе [2] сомневаются в ведущей роли природных причин потепления: *«Ученые долгое время считали, что повышение концентрации парниковых газов играет ведущую роль в определении тенденции к потеплению нашей планеты. Данное исследование предоставляет дополнительные доказательства того, что природные климатические циклы сами по себе недостаточны для объяснения глобального потепления, наблюдаемого в течение последнего столетия»*.

Отсутствие правильного понимания причины потепления не позволяет обсуждать принцип работы природного механизма автоматического поддержания средней температуры климата и обсуждать технологии, направленные на содействие работе этого природного механизма.

Описание работы природного механизма и предложений, содействующих охлаждению климата, изложено в работе [3]. При внимательном изучении работы [3] может возникнуть вопрос о том, почему скорость увеличения средней температуры атмосферного воздуха не увеличилась в 50 раз при появлении дополнительной теплоты ***ошибки недорегулирования***, которая в 50 раз превышает антропогенное тепловое загрязнение?

Увеличение скорости потепления идет с ускорением, но ускорение ограничивается инерционным элементом. И не нужно впадать в заблуждение и радоваться, что скорость потепления сегодня не высока. Наличие инерционности в системе регулирования на других планетах и на Земле не мешает со временем климату приобрести состояние, не совместимое с углеродно-водородной органической жизнью.

Влияние инерционного звена в цепи природного механизма автоматического регулирования температуры на Земле

В каждой системе автоматического регулирования обязательно должно быть инерционное звено. В процедуре природного механизма поддержания климата есть два элемента, которые выполняют функцию интегратора как внешних воздействий, так и управляющих воздействий.

Ледники занимают менее 4% поверхности Земли. Показано, что часть антропогенной тепло-

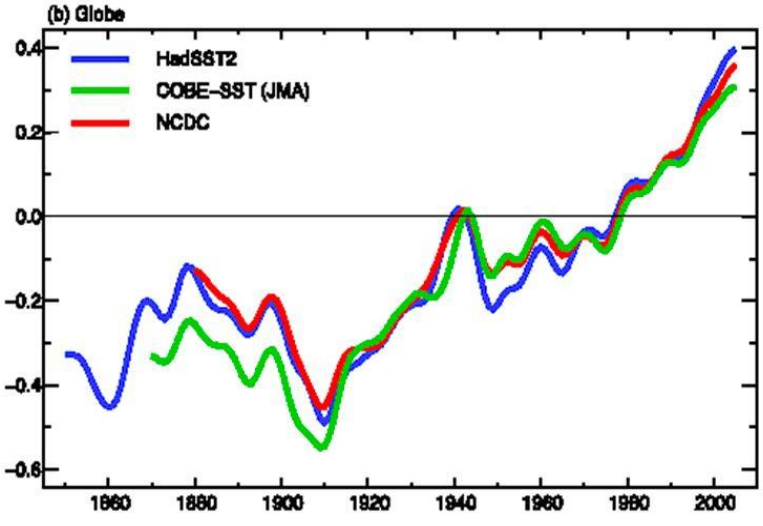


Рис. 1. Межгодовая изменчивость температуры поверхности Мирового океана dT = 0,02 градуса в год

ты, отвлекаемой на таяние льда, в 4,6 раза больше, чем та часть антропогенной теплоты, что обеспечивает регистрируемую скорость увеличения средней температуры воздуха на планете [4].

Всего на каждом квадратном метре поверхности Земли действует антропогенный нагреватель мощностью $N_{УД_ЗАГР} = 2{,}93 \cdot 10^{-2}$ Вт/м^2, и именно он за 18 лет игнорирования его наличия спровоцировал появление теплового потока ***ошибки недорегулирования*** величиной $N_{КОНД_2016} = 1{,}69$ Вт/м^2 [4].

Итак, антропогенной теплоты хватает, чтобы нагревать атмосферу со скоростью, которую регистрирует мониторинг, а также на таяние ледников, чтобы талой водой поднимать уровень мирового океана со скоростью, которую регистрирует мониторинг.

Можно предположить, что теплоту теплового потока ***ошибки недорегулирования***, величиной $dN_{ДОП} = 1{,}69$ Вт/м^2 может поглощать вода в океане при нагреве океанских вод.

Это не противоречит данным мониторинга. Вода в океанах действительно нагревается (рис. 1) [5] и даже с большей скоростью, чем воздух (воздух последнее десятилетие нагревается со скоростью 0,016 градусов в год, а вода – со скоростью 0,02 градуса в год).

Пропускная способность вертикальных потоков теплоты в водных массивах

В зависимости от широты и рельефа дна, от солености воды зависимость температуры от глубины имеет особенности. Характерное распределение для некоторых условий приведено в табл. 1 [6]. На каждой глубине в воде существует вертикальный тепловой поток. Тепловой поток в столбе воды с площадью основания столба в 1 м^2 тем меньше, чем меньше разность температур на торцах столба (dT) и чем длиннее столб воды (L).

Например, для средних широт и глубины 1000 м тепловой поток $П_{S1000}$ равен:

$$П_{S1000} = \frac{\lambda \cdot dT}{L} = \frac{0{,}5 \cdot (15{,}5 - 3{,}8)}{(1000 - 200)} =$$

$$= \frac{0{,}5 \cdot 11{,}7}{800} = 0{,}0073 \text{ Вт/м}^2.$$

Таблица 1 демонстрирует, что вертикальные потоки в толще воды практически отсутствуют. Если сравнить величину плотности вертикального потока в воде с величиной усредненного по часам суток значения плотности потока лучистой энергии, получаемой от Солнца, а именно с плотностью в $S_{СРЕДН_СУТ} = 245$ Вт/м^2, то вертикальные тепловые потоки в массе воды ничтожны и их можно в первом приближении не учитывать.

Вода, которая находится в слое в пределах верхних двухсот метров, имеет почти одинаковую температуру, и эта одинаковость обеспечивается механическим перемешиванием воды в течениях и штормах. Именно этот слой поглощает дополнительную теплоту ***ошибки недорегулирования*** величиной $N_{КОНД_2016} = 1{,}69$ Вт/м^2.

Еще медленнее будет нагреваться воздух после того, как эта вода нагреется до 100 °С. Пока вода не выкипит в атмосферу, температура будет сохраняться в пределах 100°С. Температура будет подниматься выше 100°С, только если давление в атмосфере будет увеличиваться с увеличением в атмосфере паров воды.

Определим, с какой скоростью тепловой поток $N_{КОНД_2016} = 1{,}69$ Вт/м^2 может нагревать слой воды толщиной, например, в 2000 м. Анализируя скорость нагрева воды в столбе высотой 2000 м, а не 200 м, можно оценить скорость нагрева снизу. На самом деле скорость нагрева будет несколько выше. Удельная теплоемкость воды $C_{ВОДЫ} = 4{,}19$ кДж/кг·град, а теплоемкость

Таблица 1

Распределение температуры и потока теплоты на глубине в разных условиях (для воды принята теплопроводность λ=0,5 Вт/м·град)

Глубина, м	Средние широты	Воды полярные	Байкал
0	16,0 °С	- 1,6 °С	+ 8,0 °С
50	16,1 °С / 0.005 Вт/м^2	- 1,9 °С	+ 5,0 °С
200	15,5 °С	+ 0,5 °С / 0,02 Вт/м^2	+ 4,0 °С / 0,04 Вт/м^2
1000	3,8 °С / 0,0073 Вт/м^2	0 °С	+ 3,3 °С / 0,0004 Вт/м^2
2000	3,1 °С / 0,0005 Вт/м^2	- 0,2 °С / 0,0002 Вт/м^2	
3000	2,8 °С		
5000	2,5 °С		

столба воды с площадью основания $S_{1,0}$ = 1,0 м^2, высотой L_{200} = 200 м будет равна:

$$C_{ВОДЫ\,200} = C_{ВОДЫ} \cdot S_{1,0} \cdot L_{2000} = 4{,}19 \cdot 100 \cdot 2000 =$$

$$= 8{,}38 \cdot 10^5 \text{ кДж/град.}$$

Тепловой поток величиной $dN_{ДОП}$ = 1,69 Вт/м^2 за год принесет энергии в этот столб воды

$$Q_{ДОП} = dN_{ДОП} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 =$$
$$= 0{,}00169 \cdot 3{,}15 \cdot 10^7 = 5{,}3 \cdot 10^4 \text{ кДж.}$$

Для нагрева столба воды на один градус потребуется некоторое время,

$$Г_{0,6\,-ГРАД} = \frac{C_{ВОДЫ\,200}}{Q_{ДОП}} = \frac{8{,}38 \cdot 10^5}{5{,}3 \cdot 10^4} = 15{,}8 \text{ год.}$$

За 16 лет температура возрастет на один градус, влажность увеличится на 8%, и это потянет за собой дополнительное увеличение теплового потока на величину $N_{КОНД_2032}$ = 2,81 Вт/м^2, т.е. в пересчете к одному году (чтобы определить величину сложного процента) ежегодный прирост теплового загрязнения составит 2,81/16 = 0,175 Вт/м^2, а это 0,175/2,81 = 0,062 (при линейной аппроксимации хода теплового загрязнения). Таким образом, величина сложного процента, $СЛ_{\%}$ = 6,2%.

Пропорционально приросту дополнительной теплоты антропогенного теплового загрязнения увеличатся и значения других параметров, связанных с климатом: температура, затраты на вывод антропогенной теплоты в космос.

На интервалах времени прогнозирования параметров климата скорость изменения параметров, связанных с климатом, увеличивается по формуле сложного процента, ибо эффекты от изменений накапливаются в природе (теплота в атмосфере, тепловой поток антропогенной теплоты, затраты на ее выведение), и величина сложного процента определяется $СЛ_{\%}$ = 6,2% годовых добавок параметров.

На рис. 2 представлен предполагаемый ход средней температуры атмосферы. На самом деле скорость потепления будет выше, ибо третья часть поверхности планеты – это материки (суша) и материки не выступают в роли инерционного звена, которое запасает дополнительно поступающую теплоту. Над сушей вся соответствующая площади часть теплоты ***ошибки недорегулирования*** передается в воздух.

Для описания графика рис. 2 используется зависимость сложного процента:

$$Y = 15+(1+6{,}2/100)^{X-1},$$

где 15 – средняя на сегодня температура воздуха в атмосфере; 6,2 – величина сложного процента (ежегодного прироста теплоты, нагревающей среду обитания; x – число лет вперед от начальной точки (сегодняшнего состояния климата в 2016 г.).

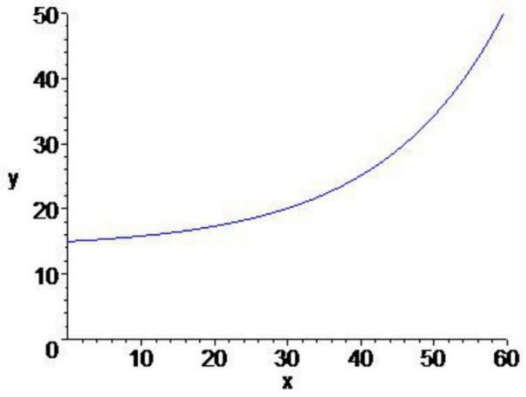


Рис. 2. Динамика изменения температуры атмосферы на интервале следующих 60 лет

По вертикали (ось «*Y*» на рис. 2) приведена средняя температура атмосферы в градусах шкалы Цельсия.

По горизонтали (ось «*X*») на графиках рис. 2 отложено значение интервала времени в годах, а за нуль принят 2016 г.

График показывает прогнозируемое повышение температуры, и отнюдь не линейное, и отнюдь не до комфортных значений. Нелинейность связана с тем, что, чем больше температура воды, тем больше температура атмосферы, но с повышением температуры на 1 градус влажность атмосферного воздуха возрастает на 8% и на 8% больше остается в атмосфере тепловой энергии, связанной с перехватом атмосферой теплоты, излученной поверхностью планеты, что ускоряет разогрев климата.

Динамика прироста перехваченной энергии излучения, которая возвращается в атмосферу частицами воды в атмосфере, приведена на рис. 3.

График рис. 3 соответствует функции

$$Y = (1+6{,}2/100)^{X},$$

где 1,69 – действующее значение теплоты *ошибки недорегулирования* на дату 2016 г.; 6,2 – величина ежегодного прироста перехваченной теплоты (величина сложного процента); x – число лет

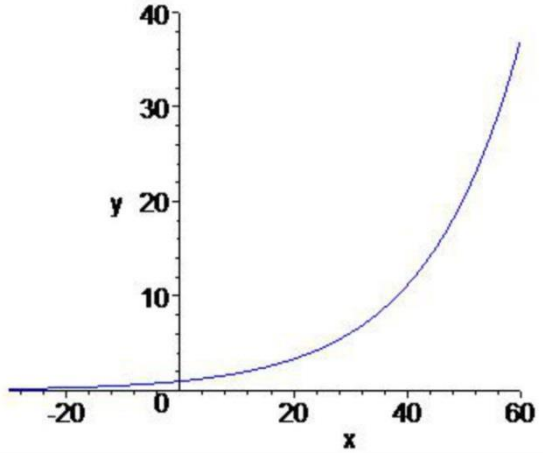


Рис. 3. Динамика прироста энергии недорегулирования.
По вертикали плотность потока в Дж/м^2, по горизонтали – прирост времени в годах (за нулевое значение принят 2016 г.)

вперед от начальной точки (сегодняшнего состояния климата, в 2016 г.).

В настоящее время в атмосфере, плюс к антропогенному загрязнению сгоревшим топливом, добавился тепловой поток перехваченного излучения от поверхности планеты в космос, и этот поток составляет величину: $N_{КОНД_2016} = 1{,}69$ Вт/м^2.

При оценке значимости этих потоков следует помнить, что тепловой поток антропогенного теплового загрязнения сгоревшим топливом составляет всего 0,03 Дж/м^2, а плотность теплового потока, действующего на саморазогрев климата, составляет $dN_{ДОП} = 1{,}69$ Вт/м^2.

В 1980 г. действовал только поток теплового загрязнения от сгоревшего топлива и не было саморазогрева климата теплотой, перехваченной влагой в атмосфере.

В рамках радиационного баланса энергии теплоту, полученную Землей от Солнца, планета передает в космос, и такой баланс должен существовать миллиарды лет, чтобы зародилась биологическая жизнь. Например, расчеты показали, что если бы на Земле не было облаков, средняя температура Земли за счет инфракрасного излучения в космос уменьшилась бы с +15 до -21°С.

На Земле процесс появления планеты и ожидания возникновения биологической жизни на ней занял 4,5 миллиарда лет.

Каждый человек, даже когда спит, выделяет в атмосферу тепловой поток мощностью 120 Вт, а когда человек выполняет физическую работу – до 1000 Вт. Кроме того, сегодня в среднем на каждого человека работает источник энергии мощностью 2 кВт. Население Земли составляет около восьми миллиардов человек. А еще необходимо учитывать тепловыделение сельскохозяйственных и диких животных.

На Земле работают топливные электростанции общей мощностью 5 ТВт, которые вырабатывают ежегодно 20000 ТВт·ч электроэнергии с КПД менее 50%. Коэффициент использования топлива котельных не превышает 50%. По дорогам Земли движется 1 млрд. автомобилей общей мощностью примерно 100 ТВт со средним КПД на колесах 0-15 %.

Неэффективное использование энергоресурсов ускоряет потепление климата.

Совместными усилиями всех источников теплового загрязнения среды обитания атмосфера нагревается, и при этом, в силу особенностей обустройства природы с водородно-углеродной органической жизнью, запускается механизм саморазогрева планеты.

Особенность планет с органической жизнью состоит в том, что на планете, пригодной для жизни, должна быть вода в жидком виде и воздух. А влагосодержание воздуха увеличивается с повышением температуры, и по мере увеличения влагосодержания все большая часть теплоты, ранее излучаемой поверхностью в космос, начинает задерживаться в атмосфере частицами воды.

На Земле проблема потепления была рассмотрена на международном уровне при обсуждения Киотского протокола. К сожалению, функционеры, разрабатывающие финансовые аспекты соглашений Киотских (1997 г.) и Парижских (2015 г.), не прислушались к научному сообществу, которое предупреждало, что научного обоснования вреда от двуокиси углерода в атмосфере – НЕТ.

Однако к дате слушаний в Киото нарушение баланса теплоты происходило под влиянием антропогенного загрязнения плотностью 0,02 Вт/м^2 (см. рис. 3, при x = -22 года). Этот поток человечество могло своими силами отправить в космос без больших затрат.

Через 18 лет борьбы с «парниковыми газами», которые выводят теплоту в космос, включилась положительная обратная связь в природном механизме автоматического регулирования температуры климата, и сегодня тепловой поток антропогенного теплового загрязнения включает еще и дополнительную теплоту ***ошибки недорегулирования***, величиной $dN_{доп} = 1{,}66$ Вт/м^2, а всего плотность потока теплового загрязнения в 2016 г. составила 1,69 Вт/м^2.

На Земле, по разным оценкам, цивилизация находится на расстоянии от 10 до 60 лет перед конечной чертой невозврата, но нет структур, которые бы занимались предупреждением

глобальных природных катастроф. Географы и метеорологи, сотрудники NASA собирают сведения и пытаются угадать поведение погоды и климата. НАСА, 10 января 2016 года, 10:10 ["АН-онлайн"]: «Сегодня стало известно, что в американском космическом агентстве – НАСА – названа предполагаемая дата очередного потопа. Через 60 лет наступает точка невозврата, когда остановить потепление будет невозможно…» [7].

Ученые, работающие в области ядерной физики, уже более 50 лет предсказывают энергетическое изобилие на Земле за счет технологий управляемых термоядерных реакций. Однако любая энергетика, изменяющая радиационный баланс Земли в сторону потепления климата, приведет к ускорению приближения к точке невозврата и к состоянию климата, при котором биологическая жизнь перестанет существовать.

Методы предотвращения потепления климата

Нужно срочно понять неизбежность катастрофического результата самоподдерживающегося разогрева планеты и что этот процесс активизировался. В связи с этим необходимо развивать технологии бестопливной энергетики, не нарушающей радиационный баланс Земли; в первую очередь, создавать генераторы ЭОС, использующие энергию окружающей среды. Перевод транспорта на электропривод увеличивает КПД использования топлива в 5 раз и приводит к снижению вклада транспортной энергетики в потепление климата [8, 9].

Очень важно изменить радиационный баланс Земли за счет увеличения излучения Земли в космическое пространство и снижения прихода солнечной радиации на поверхность Земли. Сегодня достаточно на $dN_{доп}$ = 1,69 Вт/м^2 уменьшить солнечную радиацию, например путем отражения части солнечной энергии, поступающей к поверхности Земли - в космос, и потепление остановится [7].

Технические предпосылки для изменения прихода солнечной радиации на Землю рассмотрены в [10]:

За прошедшие 250 лет площадь хвойных лесов в Европе возросла на 633 тысяч квадратных километров, а площадь широколиственных упала на 436 тысяч. Поскольку сосны (и особенно ели) темнее других пород деревьев, то их кроны поглощают больше солнечного тепла. Ученые вычислили, что из-за экспансии хвойных лесов в Европе летние температуры выросли примерно на 0,12 градусов – это эквивалентно 6% от глобального потепления, которое связано со сжиганием ископаемого топлива».

Чтобы снизить поступление солнечной энергии, нужно на поверхности планеты разместить зеркала с высоким коэффициентом отражения. Нанесение зеркального покрытия такого качества, например на пленку из полиэтилентерефталата (лавсан), не представляет сложностей, а пленкой можно прикрыть поверхность пустыни и крыш зданий.

Расчеты показывают, что лишняя теплота в 2016 г. составляла величину $N_{конд_2016}$ = 1,69 Вт/м^2. Такая величина составляет долю теплоты солнца (от средней по поверхности и времени суток), получаемой планетой (1,69/245 = 0,0069). Блокировав сегодня, в 2016 г., солнечную теплоту на 0,69% площади Земли, можно устранить саморазогрев климата.

Можно прикрыть зеркальными покрытиями всего (рис. 4) Y_0=28,75 % площади пустынь в Африке, и потепление остановится (0,69·(100/2,4)=28.75%! Площадь пустынь Африки составляет 12,24 млн км^2 (2,4% площади Земного шара).

На рис. 4 график отображает функцию потребного количества зеркальной поверхности планеты, чтобы остановить саморазогрев климата.

$$Y = 28{,}75+(1+6.2/100)^{X-1},$$

где: 28,75 – начальная (сегодняшняя) потребность в зеркальных поверхностях, в процентах от площади пустынь Африки; 6,2 – величина ежегодного сложного процента; x – число лет вперед от начальной точки (сегодняшнего состояния климата).

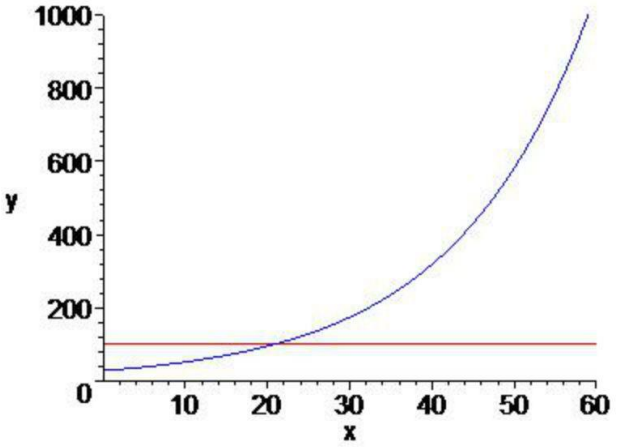


Рис. 4. Динамика потребного количества площади светоотражающих экранов

По вертикали (см. рис. 4) – проценты площади светоотражающего покрытия по отношению к площади поверхности пустынь на Земле.

По горизонтали – прирост времени по годам. Нулевое значение соответствует 2016 г.

Если отражающие поверхности установить не сегодня, а через 20 лет, то потребуется прикрыть зеркальными отражателями не 28,75% площади пустынь, а всю поверхность пустынь.

Можно оценить массу пленки для организации отражения солнечного света.

Если светоотражающая пленка будет иметь толщину 0,1 мм, то объем такой пленки составит $12{,}24 \cdot 10^9 \cdot 10^{-4} = 12{,}24 \cdot 10^6$ м^3, а масса до $50 \cdot 10^6$ тонн. Сегодня нефти добывают порядка $4 \cdot 10^9$ тонн в год, а значит, $5{,}0 \cdot 10^7$ тонн пленки – это соизмеримо с 1 % расходуемого в мире сырья за год. Расчет сделан на площадь всех Африканских пустынь, т.е. для окончания работ в 2036 г.

Сегодня потребовалось бы массы зеркальных отражателей в 4 раза меньше, чем по оценке, приведенной выше, а через 60 лет потребуется масса в десять раза больше, чем по оценке. Соответственно, время на установку светоотражающего покрытия и затраты на обслуживание пленки пропорциональны сроку промедления с этими работами на старте.

Для равномерного охлаждения Земли необходимо распределить зеркальные покрытия по части поверхности пустынь и на крышах домов в Африке, Азии, Австралии и Центральной Америке.

Российские ученые предложили создать в 21 веке мировую солнечную энергетическую систему в качестве одного из вариантов бестопливной энергетики будущего [11, 14].

Рассчитаем экологический эффект от программы «Один миллион солнечных крыш». Предполагаем, что площадь одной крыши составляет 100 м^2. Одна треть крыши выполнена из гибридных кровельных солнечных панелей, выполняющих функции микро-ТЭЦ с производством электроэнергии и теплоты, а две трети площади крыши имеют зеркальные отражатели.

Поступление солнечной энергии на поверхность крыши принимаем 2000 кВт·ч/м^2·год, а годовое производство электрической энергии 2000 кВт·ч/кВт. При электрической мощности панелей на одной крыше 3,5 кВт годовая экономия затрат на электроснабжение и горячее водоснабжение по Программе за счет бестопливной когенерации составит 21 млрд кВт·ч ($75{,}6 \cdot 10^{12}$ кДж), а 1 млн зеркальных отражателей площадью 66,6 м^2 с коэффициентом отражения 0,85 возвратит в атмосферу 113,22 млрд кВт·ч солнечной энергии. Для одного миллиарда солнечных крыш бестопливное производство энергии составит 21 000 ТВт·ч, что соизмеримо с мировым потреблением электроэнергии, а отраженная солнечная энергия – 113 220 ТВт·ч ($0{,}41 \cdot 10^{18}$ кДж). Предполагается, что все «солнечные крыши» присоединены к мировой солнечной энергосистеме, в которой используются технологии Н. Тесла по передаче терраватных потоков мощности с дневной стороны Земли на не освещаемую Солнцем ночную сторону [13-14]. Это позволит не использовать аккумуляторы для энергоснабжения потребителей в ночное время.

Если учитывать производственные и общественные здания, площадь «солнечной крыши» на одну семью составит 160 м^2, из которых 33 м^2 можно использовать для генерации электроэнергии, а 127 м^2 – для размещения зеркальных отражателей; суммарная площадь зеркальных покрытий для 1 млрд. солнечных крыш будет равна площади всех пустынь в Африке, и покрывать пустыни зеркалами не будет необходимости.

На первом этапе достаточно использовать для крыш и фасадов всех типов зданий облицовочные материалы, а также тротуарные плитки и бетон на улицах городов и автострадах с высоким альбедо, близким к альбедо снега – 0,8.

В связи с вышеизложенным, каждый, кто прочитал эту статью и не нашел в ней принципиальных ошибок, должен содействовать распространению информации о том, как предупредить наступление точки невозврата климата. Только широкое обсуждение проблемы позволит настроить правительства на финансирование соответствующих разработок.

Выводы

1. Результаты исследований параметров климата показали, что причиной потепления климата является тепловое антропогенное загрязнение среды обитания.

2. Климат на Земле приближается к точке невозврата по увеличению средней температуры, и необходимы срочные меры по снижению антропогенного воздействия на движение климата к состоянию, не пригодному для биологической жизни на Земле.

3. Рассмотрены методы предупреждения потепления климата, которые включают развитие бестопливной энергетики, не дающей вклада в тепловое загрязнение, снижение прихода солнечной радиации на поверхность Земли и увеличение излучения Земли в космическое пространство с целью компенсации теплового загрязнения в радиационном балансе Земли.

Литература

1. *Aditya Chopra* (Национальный университет Австралии). Почему нет обитаемых планет. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://globalscience.ru/article/read/27241/.
2. *Цзян Джонатан*. Спутниковые наблюдения за климатом Земли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nasa.gov/feature/jpl/study-long-term-global-warming-needs-external-drivers.
3. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Описание механизма и помощи ему. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cloud.mail.ru/public/9Xiy/uUnarerpD.
4. *Виноградов Ю.Е., Стребков Д.С.* Расчет параметров климата с учетом антропогенной теплоты // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 1 (22). – С. 94-102. (Режим доступа: https://cloud.mail.ru/public/45Jr/mgvZEuwgU).
5. Океан и современные изменения климата [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://moodle.emaris.net/mod/page/view.php?id=24 (научно-образовательные курсы).
6. Физическая география, Мировой океан [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://geographyofrussia.com/temperatura-vod-okeana/.
7. NASA назван срок невозврата климата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://informing.ru/2016/01/10/vsemirnyy-potop-nachnetsya-cherez-60-let-nasa.html - Новостная лента в Интернете.
8. *Strebkov D.S.* Advanced tendencies in developing of photovoltaic cells for power engineering // Thermal Engineering. – 2015. – N 1. Vol. 2. – C. 7-13.
9. *Strebkov D.S.* Perspectives of using technologies of Nikola Tesla in up-to-dats power engineering // Light and Engineering. – 2014. – Vol. 22. N 2. – C. 4-14.
10. *Храмов Александр*. Ели и сосны виноваты в потеплении климата, доказали ученые. 2016 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.infox.ru/science/planet/2016/02/08/YEli_i_sosnyy_vinova.phtml?ntvk1_source=um_recommend .
11. *Strebkov D.S.* What can the energy of the future be? Some topical issues related to sustainable energy development // Moscow. Energy Bulletin. UNESCO – 2015. – № 19. – C. 32-40.
12. *Strebkov D.S.* Progress in non-traditional power engineering // Енергетика і автоматика. – Киев, 2015. – № 4. – С. 7-17.
13. Патент РФ № 2259002. Солнечная энергетическая система (Варианты) / Стребков Д.С., Иродионов А.Е., Базарова Е.Г. // БИ. 2005. № 22.
14. *Strebkov D.S.* A Global round-the clock Solar Power Sistem with round the clock production of electrical energy // Moscow. Energy Bulletin. UNESCO. – 2009. – № 4 (7). – С. 45-51.

Сведения об авторах:

Виноградов Юрий Евгеньевич – инженер, окончил Приборостроительный факультет Политехнического института (г. Омск) и аспирантуру Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,

e_mails: vinogradov.ge.@mail.ru ; //vetto@nm.ru.

Стребков Дмитрий Семенович – академик РАН, профессор, доктор техн. наук, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ ВИЭСХ), Москва, Россия.

e-mails: viesh@gol.ru ; nauka-ds@mail.ru

STUDY OF MECHANISMS AND METHODS FOR PREVENTION CLIMATE WARMING

Yu. Vinogradov. D. Strebkov

The climate parameters nowadays and in the future are considered. The calculations are based on the concept: «The cause of climate warming is anthropogenic thermal pollution». The components of the heat balance of the planet are investigated. The calculations showed that the earth's climate has moved into a self-heating state. This situation is getting worth due to the fact that the 18 years after the adoption of the Kyoto Protocol international community wasted the time trying to stop the emission of carbon dioxide into the atmosphere. Actually, the emission of so called greenhouse gases in the atmosphere leads to a decrease of the average air temperature on the planet. The world community lost time to fight the real cause of warming. As a result, after 18 years from the beginning of the Kyoto agreements, the cost of climate stabilization are estimated so that they are 30 times more than those that would have stopped warming 18 years ago. The cost of measures for the stabilization of climate after eight years will increase by four times. If you stay too long at the start of work on the cooling of the climate, then in 2046 it is possible not to start work on the cooling of the climate. All creative and material resources around the world would be not enough to stop the warming. However, if the work is to start tonight, then you should know that there are economically viable projects, which will stop the warming. Such projects are discussed in the article.

Keywords: thermal pollution, greenhouse gases, global warming.

References

1. Aditya Chopra, (of the Australian National University) Pochemu net obitaemyh planet [Why there are no inhabited planets]. [Electronic resource]. http://globalscience.ru/article/read/27241/
2. Jonathan Jiang. Sputnikovye nablyudeniya za klimatom Zemli [Satellite observations of the Earth's cli-

mate]. https://www.nasa.gov/feature/jpl/study-long-term-global-warming-needs-external-drivers.
3. Vinogradov Yu., Strebkov D. Opisanie mekhanizma i pomoshchi emu [The description of the mechanism and how to help him]." [Electronic resource]. https://cloud.mail.ru/public/9Xiy/uUnarerpD
4. Vinogradov Yu., Strebkov D. Raschyot parametrov klimata s uchyotom antropogennoj teploty [Calculation climate parameters considering anthropogenic warmer spell], J. *Vestnik VIESH*, 2016, № 1(22). – P. 94-102. (https://cloud.mail.ru/public/45Jr/mgvZEuwgU - article in the Internet).
5. Raschyot parametrov klimata s uchyotom antropogennoj teploty [The modern ocean and climate change]. [Electronic resource]. http://moodle.emaris.net/mod/page/view.php?id=24 - article in the Internet (scientific and educational courses).
6. Fizicheskaya geografiya, Mirovoj okean [Physical geography, World ocean] [Electronic resource]. http://geographyofrussia.com/temperatura-vod-okeana/
7. NASA is called a period of no return of climate change". [Electronic resource] http://informing.ru/2016/01/10/vsemirnyy-potop-nachnetsya-cherez-60-let-nasa.html - News feed on the Internet.
8. Strebkov D.S. Advanced tendencies in developing of photovoltaic cells for power engineering, J. *Thermal Engineering*. 2015. No. 1. Vol. 2. P. 7-13.
9. Strebkov D.S. Perspectives of using technologies of Nikola Tesla in up-to-dats power engineering, J. *Light and Engineering.* 2014. Vol. 22. No. 2. P. 4-14.
10. Alexander Khramov, Eli i sosny vinovaty v potelenii klimata, dokazali uchenye [Spruce and pine are to blame for the warming, scientists have proven]. 2016. [Electronic resource] http://www.infox.ru/science/planet/2016/02/08/YEli_i_sosnyy_vinova.phtml?ntvk1_source=um_recommend
11. Strebkov D.S. [What can the energy of the future be? Some topical issues related to sustainable energy development], Moscow, *Energy Bulletin*. UNESCO. 2015. No. 19. P. 32-40.
12. Strebkov D.S. Progress in non-traditional power engineering, J. Energetika i avtomatika [*Енергетика і автоматика*], Kiev. 2015. No. 4. P. 7-17.
13. Patent RF №2259002. Solar Power Sistem / Strebkov D.S., Iridionov A.E., Bazarova E.G., VIESH, published 2005, Bull. № 22.
14. Strebkov D.S. A Global round-the clock Solar Power System. Moscow, *Energy Bulletin.* UNESCO, 2009, No. 4 (7). P. 45-51.

Authors:

Yu. Vinogradov – engineer, graduated from Instrument-making faculty of the Polytechnic Institute (Omsk) and postgraduate study at Physical faculty of Moscow State University. M. V. Lomonosov, Moscow.
e-mails: vinogradov.ge.@mail.ru; vetto@nm.ru

D. Strebkov– academician of RAS, Professor, doctor of technical sciences, graduated from Moscow State University, scientific director of All-Russia Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH), Moscow, Russia.
e-mails: viesh@dol.ru ; nauka-ds@mail.ru

УДК 631.1

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ В АГРОТЕХНОЛОГИЯХ

А.Г. Свентицкий, И.И. Свентицкий
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Из множества созданных математических моделей продуктивности только локальная модель Вольтера – Латки надежно отображает взаимодействие в экосистеме звена «хищник – жертва». Феноменальность ее надежности обусловлена четким учетом биоэнергетической связи. Такие связи существуют и в начальном звене экосистем и агроэкосистем в системе «экологические условия – растения». Эти связи надежно отображает совместный эксергетический анализ преобразования энергии излучения растениями и техногенной энергии, затрачиваемой в агротехнологиях (природная энергия солнечного излучения составляет 97 – 98 %, на техногенную приходится только 2 – 3 %). Эксергетическая модель биоконверсии энергии излучения растениями и преобразования техногенной энергии в агротехнологиях позволит обеспечить рациональное использование энергетических природных и техногенных ресурсов в агротехнологиях.

Ключевые слова: *агротехнологии, биоэнергетический КПД, возобновляемые источники энергии, солнечное излучение, теплота среды, модель Вольтера – Лотки, теоретизация агроэкологии и агротехнологий, эксергетический анализ.*

В общем количестве энергии, участвующей в производстве сельскохозяйственной продукции, природная энергия солнечного излучения составляет 97 – 98 %, на техногенную приходится только 2 – 3 %. Природная энергия непосредственно преобразуется растениями в энергию органических веществ урожая. Техногенная часть энергии обеспечивает лишь улучшение условий для получения урожая посредством антропогенной части агротехнологий. Проблему определения части энергии излучения, которую потенциально растения могут использовать, – эксергию излучения по фотосинтезу растений впервые четко сформулировал К.А. Тимирязев в Крунианской лекции «Космическая роль зеленых растений», которую он в 1903 г. прочитал на заседании Лондонского королевского общества [1, с. 345]: «Я считаю излишним настаивать на том, как…важно знать ту долю солнечной энергии, которую растения могут использовать».

В самом названии этой лекции был вызов науке. Процесс фотосинтеза обеспечивает энергией организмы биосферы Земли и аграрное производство, но второе начало термодинамики – главный закон энергетики и термодинамики – не может объяснить этот процесс. Более того, фотосинтез находится в противоречии с основной функцией второго начала – энтропией, она «повсеместно и непрерывно» возрастает и разрушает природные структуры и энергетические потенциалы.

Только в 1912 г. Королевское общество приняло в свое членство К.А. Тимирязева и, очевидно, оценило этот вызов. Более быстрый ответ на этот вызов содержался в работе А. Эйнштейна «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и преобразования света», опубликованной в 1905 г. В ней подтверждалась на примере фотоэлектричества невозможность объяснить фотоэффект вторым началом термодинамики и содержалось обоснование квантовой эквивалентности фотоэффекта.

Излучение оптического диапазона не только возникает (испускается) целыми фотонами, но также целыми и преобразуется. Поэтому фотоэффект (физический, химический, биологический) пропорционален не общему количеству поглощенной энергии излучения, а количеству эффективно поглощенных его фотонов [2]. За эту работу А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия. Однако чисто теоретически на основе фотоэффекта свободную энергию можно определить только для случая, когда спектральные характеристики излучателя и преобразователя излучения тождественны подобным характеристикам абсолютно черного тела. Растения и фотоэлектрические кремниевые преобразователи таких характеристик не имеют.

Определение эксергии оптического излучения как в отношении фотосинтеза растений, так и для случая прямого его преобразования в электри-

чество возможно полуэмпирическим методом. Абсолютную спектральную эффективность излучения с длиной волны, соответствующей максимуму спектральной эффективности, можно рассчитать по формуле Карно или определить, как фотохимический (фотофизический) эффект. Результаты расчетов спектральной эффективности этими двумя методами совпадают как для процесса фотосинтеза, так и для фотоэлектричества. Относительную спектральную эффективность фотопроцесса (спектр действия) устанавливают экспериментально при уровнях значений облученности, не насыщающих фотопроцесс. Такой метод определения эксергии излучения для растениеводства (свободной энергии на входе в растения) был разработан, обсужден на 3-й Международной конференции по преобразованию энергии растениями и опубликован в научном журнале Гумбольдтовского университета [3]. Для регламентирования определения величины по этому методу в СССР были разработаны и введены в действие отраслевые стандарты [4, 5], в Германии – национальные нормы DIN [6].

Значение эксергии суммарного (прямого + рассеянного) солнечного излучения у поверхности Земли, определенное таким методом [4, 7], составляет 20 % от общей энергии излучения всего оптического диапазона. В природных условиях фитоценозов при современных агротехнологиях суммарное значение этой величины для всего вегетационного периода не более 6 %. В наиболее активные периоды фотосинтеза этот показатель может достигать значений для отдельных видов растений 12 – 14 %. Это свидетельствует о больших возможностях совершенствования агротехнологий.

Современные агротехнологии, как и все аграрное производство, развиваются на эмпирической основе, заимствуя отдельные теоретические положения из общих формализованных отраслей знаний. Формирование продуктивности как естественными фитоценозами и экосистемами, так и ароценозами происходит в сложных системах со многими параметрами и переменными. Для их формализованного рассмотрения многие десятилетия используют математическое моделирование на основе имитационных моделей [8], которые не обеспечили надежное практическое отображение продукционного процесса. Исключением является классическая модель Лотки – Вольтера, отображающая процесс взаимодействия «хищник – жертва». Феноменальная надежность этой модели объясняется тем, что она отображает биоэнергетическую связь хищника – потребителя пищи с жертвой – его пищей. Для агроэкосистем эта связь аналогична связи животноводства с кормопроизводством. Растениеводство представляется основой кормопроизводства. Это убеждает в том, что безальтернативной моделью агротехнологий и аграрного производства в целом может быть эксергетическая модель преобразования организмами: энергии солнечного излучения растениями, а животными корма соответственно в продукцию растениеводства и животноводства. Классическая дискретная модель Вольтера – Лотки представляется как фрагмент общей эксергетической модели сельскохозяйственного производства.

Отметим, что классическая дискретная экологическая модель Вольтера – Лотки привлекала внимание таких выдающихся ученых, как лауреат Нобелевской премии И. Пригожин и Г. Николис, в связи с ее феноменальной надежностью как экологической модели, но объяснение этой феноменальности не было найдено. В [9] эта модель рассмотрена как фрактальная структура и показана красота ее компьютерного графического изображения, что свидетельствует о ее энергетической экономности.

Общеизвестно влияние ежегодных погодно-климатических изменений на урожай при неизменных агротехнологиях и видах (сортах, гибридах) используемых в них растений. Есть основания считать, что это влияние можно учесть по величине суммарной эксергии плодородия земельного угодия за вегетационный период применительно к различным культурам. Расчет этой величины за прошедшие годы можно рассчитать, используя стандартные данные метеостанций и данные по традиционной бальной оценке почв или земельных угодий [8]. Точность такого расчета будет зависеть от точности районирования используемых в агротехнологиях видов (сортов, гибридов) растений. Имеющиеся статистические данные по урожайности соответствующих культур за прошедшие годы позволяют выявить надежность рассматриваемого метода моделирования.

Для этого расчета можно использовать методику и компьютерную систему, подобную ранее разработанной [7] для энерго-, ресурсосберегающей оптимизации производства продукции растениеводства. Есть основания надеяться, что величина эксергии плодородия земельного угодия по годам должно надежно коррелировать со значениями урожайности за соответствующие годы.

С введением в классической термодинамике Р. Клаузиусом в 1850 г. энтропии – функции второго начала термодинамики в промышленной теплотехнике и теплоэнергетике начали применять энтропийный анализ, но он принципиально непригоден для анализа преобразований энергии организмами. Несмотря на более чем столетний период применения энтропийного анализа в 80-х гг. XX столетия энергетики большинства стран мира самопроизвольно перешли к эксергетическому анализу как более надежному и простому. Эксергетический анализ разработан и для анализа преобразований энергии излучения растениями в процессе фотосинтеза. Разработан также метод совместного

эксергетического анализа техногенной энергии, используемой в агротехнологиях и биоконверсии энергии излучения растениями [7]. Это вселяет уверенность в том, что эксергетическая модель продуктивности (урожая) растений станет надежной основой рационального использования природной и техногенной энергии в агротехнологиях.

Литература

1. *Тимирязев К.А.* Избранные сочинения в четырех томах. М.: ОГИЗ; СЕЛЬХОЗГИЗ, 1949. – Том I. Солнце, жизнь и хлорофилл.
2. *Эйнштейн А.* Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и преобразования света // Собрание научных трудов. М.: Наука, 1967. – Том 3. – С. 92-107.
3. *Свентицкий И.И.* Определение свободной энергии на входе в растения // Wissenschaftliche Zeitschript der Humboldt Universitet zu Berlin. Math.–Nat. R., Vol. XXXIII, 1984, No. 4, p. 330–331.
4. ОСТ 46.140–83 Минсельхоз СССР. Излучение оптическое. Оценка фотосинтезной эффективности. Термины и определения. М.: МСХ СССР, 1983.
5. ОСТ 60.689.027–74 Минэлектротехпром СССР. Фотосинтетически эффективные источники излучения. М.: Минэлектротехпром СССР, 1974.
6. Deutsche normen DIN.5031, Teil 10. Strahlungs physic in optischen Bericht und Lichttechnik. Grossen, Formel- und Kurzzeichen fur photobiologisch wirksame Strahlung. Berlin, 1979.
7. *Свентицкий И.И.* Естественнонаучная основа всеединства знаний. Эксергетическая теория урожая. М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2915. – 316 с.
8. *Wit de C.T., Goudrian J.* Simulation of ecological processes. Wageningen: Pudoc, 1978.
9. *Пайтген Х.О., Рихтер П.Х.* Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. М.: Мир, 1993. – 176 с.

Сведения об авторах:

Свентицкий Александр Геннадьевич – аспирант, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия,
e-mail: mr.alexsven@mail.ru

Свентицкий Иван Иосифович – доктор техн. наук, профессор, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия,
e-mail: mr.alexsven@mail.ru

EXERGETIC MODEL OF RATIONAL USE OF ENERGY OF NATURAL AND TECHNOGENIC RESOURCES IN AGRO-TECHNOLOGIES

A. Sventitsky, I. Sventitsky

Of the multitude of created mathematical models of productivity only local model Voltaire – Latka reliably shows the interaction in the ecosystem link "predator – prey". Its reliability is phenomenal due to a clear view of bioenergetic communication. Such links exist in the initial link of ecosystems and agro-ecosystems in the system – "environmental conditions – plants." These connections reliably displays joint exergy analysis of the radiation energy conversion plants and man-made energy expended in agro-technologies (natural energy of solar radiation is 97 – 98%, and the man-made part is only 2 – 3%. Exergy model bioconversion power plant radiation and man-made transformation of energy in the agro-technologies will ensure the rational use of energy of natural and man-made resources in agro-technologies.

Keywords: agro-technology, bio-energy efficiency, renewable energy, solar radiation, heat protection, Lotka–Volterra model, the theorization of agroecology and agricultural technologies, exergy analysis.

References

1. Timiryazev K.A. Izbrannye sochineniya v chetyrekh tomah [Selected works in four volumes]. Vol. I. Sun, Life and Chlorophyll. Moscow, OGIZ- , 1949.
2. Einstein A. Ob odnoj ehvristicheskoj tochke zreniya, kasayushchejsya vozniknoveniya i preobrazovaniya sveta [On a Heuristic Point of View Concerning the Production and transformation of light], Collection of scientific works. Vol. 3., Moscow, Nauka, 1967. P. 92-107.
3. Sventitsky I.I. Opredelenie svobodnoj ehnergii na vhode v rasteniya [Determination of the free energy at the entrance to the plant], Wissenschaftliche Zeitschript der Humboldt Universitet zu Berlin. Math.-Nat. R., Vol. XXXIII, 1984, No. 4, p. 330-331.
4. OST 46.140-83 Ministry of Agriculture of the USSR. Optical Radiation. Evaluation fotosinteznoy efficiency. Terms and Definitions. M.: Ministry of Agriculture of the USSR, 1983.
5. OST 60.689.027-74 Minelektrotehprom USSR. Photosynthetically effective light sources. Moscow, 1974.
6. Deutsche normen DIN. 5031, Teil 10. Strahlungs physic in optischen Bericht und Lichttechnik. Grossen, Formel- und Kurzzeichen fur photobiologisch wirksame Strahlung. Berlin, 1979.
7. Sventitsky I.I. Estestvennonauchnaya osnova vseedinstva znanij. EHksergeticheskaya teoriya urozhaya [The natural science foundation of the unity of knowledge. Exergy theory yield]. Moscow, VIESH, 2915, 316 ps.
8. Wit de C.T., Goudrian J. Simulation of ecological processes. Wageningen: Pudoc, 1978.
9. Paytgen H. O., Richter P.H. Krasota fraktalov. Obrazy kompleksnyh dinamicheskih sistem. [Fractal beauty. Images of complex dynamical systems]. Moscow, Mir, 1993, 176 ps.

Authors:

A. Sventitsky – grad. stud.,
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia.

I. Sventitsky – D.Sc. (Engineering), Prof.,
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: mr.alexsven@mail.ru

Доклад – лауреат Диплома I степени

УДК 631. 363.1:631.363.7

МАЛОЭНЕРГОЕМКИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ СМЕСИТЕЛЬ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОПИТАТЕЛЬНЫХ КОРМОВ

А.И. Свистунов
ЗАО «Княгининская швейная фабрика», г. Княгинино, Россия

Главная задача, стоящая перед отечественными сельхозпроизводителями – стабильное обеспечение продовольственной безопасности страны. Важнейшей задачей при достижении этой цели является энергосбережение и повышение производительности труда, которые невозможны без применения современных достижений науки, внедрения передовых технологий и научно-обоснованных высокоэффективных комплексов машин и оборудования, как в растениеводстве, так и в животноводстве. Доказано, что основная доля затрат при производстве продукции животноводства приходится на приготовление кормов. В то же время, приготовление комбикормов в условиях фермерского хозяйства снижает себестоимость кормов, а также позволяет сбалансировать их по питательной ценности с учетом кормовой базы. Получить сбалансированный корм можно путем смешивания необходимых компонентов в смесительных машинах. Однако практически все смесители узко специализированы и предназначены для смешивания определенных материалов (сыпучих либо влажных), что ведет к дополнительным затратам в виде покупки фермерами дополнительного оборудования и затрат электроэнергии. Некоторые сельхозпроизводители, стремясь снизить затраты на производство продукции, переходят на корма с высоким содержанием легко усваиваемого белка, которые получают из малоценного широко распространенного материала путем его синтеза. Однако на сегодняшний день отсутствуют специальные машины с научно обоснованными конструкционными параметрами для получения такого корма. Поэтому создание универсального смесителя, предназначенного для смешивания непосредственно в фермерских хозяйствах как традиционных сухих сыпучих и влажных рассыпных, так и современных синтезированных кормов, является актуальной задачей.

Ключевые слова: *исследования; конструкционные параметры; конструкционное решение; корм; смешивающий узел; удельное энергопотребление; энергосбережение.*

Введение. В НГИЭУ под руководством доктора техн. наук, профессора Н.В. Оболенского разработано конструкторское решение смесителя кормов для фермерских хозяйств [1, 2, 3]. В [1] изложен алгоритм изобретения, основу которого составляет сплав логики, интуиции и опыта, описаны инструменты изобретения и раскрыта научная организация творчества. Приведены патенты и описания на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, обобщающие изобретательский опыт сотрудников Нижегородского инженерно-экономического университета, в том числе патент [4]. В [2, 3] описывается решение задач в соответствии с назначением разработки [4].

Специалисты ВИЭСХ, рассмотрев проект автореферата, отраженного в [2, 3], предложили внести существенные правки в работу. В частности, в рамках нашей диссертационной работы ограничиться только разработкой и исследованием смесителя. Процессы ферментирования не рассматривать, так как это тема большой самостоятельной работы, решаемой специалистами ВИЭСХ и к.т.н. С. Ю. Булговым (НГИЭУ). Рекомендации учтены.

Прежде всего изменены решаемые задачи: разработка конструкционного решения смесителя кормов; теоретическое исследование влияния конструкционных параметров смешивающего узла на мощность, потребляемую его электродвигателем; теоретическое исследование влияния системы нагрева кормовой смеси на энергоемкость смесителя; экспериментальные исследования: смешивающего узла с теоретическими определенными конструкционными параметрами; смешивающего узла с лопатками; макета бункера,

в котором осуществляется смешивание; испытание смесителя кормов в фермерском хозяйстве; разработка предложений по использованию смесителя кормов, а также исследования – влияние конструкционных параметров и системы нагрева кормовой смеси на энергоемкость смесителя.

В статье приводятся результаты вновь проведенных исследований и экспериментов.

Конструкционное решение смесителя кормов. Изготовлен в соответствии с патентом РФ № 2567315 [3] экспериментальный образец смесителя кормов (рис. 1).

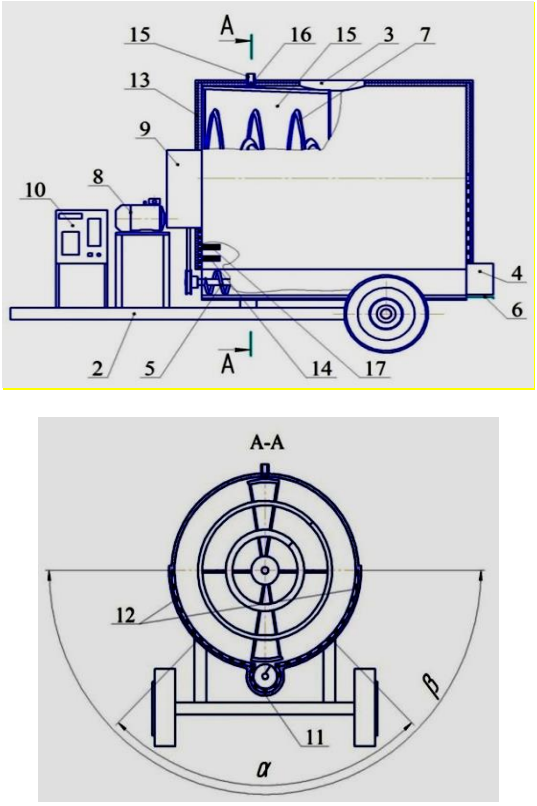


Рис. 1. Смеситель кормов:
1 – бункер, 2 – рама; 3 – загрузочное окно; 4 – выгрузной патрубок; 5 – выгрузной шнек; 6 – заслонка, 7 – смешивающий узел; 8 – электродвигатель; 9 – редуктор; 10 – пульт управления; 11, 12 – нагревательный элемент; 13 – слой теплоизоляции; 14 – датчик температуры; 15 – патрубок подачи горячей воды; 16 – электромагнитный клапан; 17– датчик влажности корма

Результаты теоретических исследований влияния конструкционных параметров смешивающего узла на мощность, потребляемую его электродвигателем. К конструкционным параметрам смесителя относятся: частота вращения смешивающего узла, уровень заполнения бункера смесителя, геометрические размеры смесителя и его смешивающего узла.

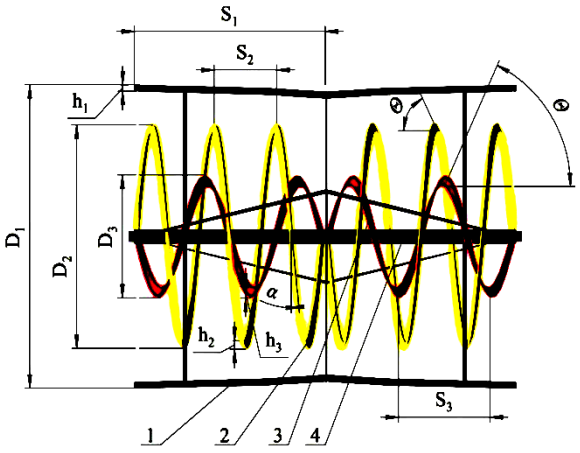


Рис. 2. Схема смешивающего узла смесителя:
1 - внешний шнек; 2 - средний шнек;
3 - внутренний шнек; 4 - вал

Наибольший интерес представляет влияние конструкционных параметров смешивающего узла (рис. 2) на потребляемую электродвигателем мощность.

Смешивающий узел смесителя состоит из вала 4, на котором смонтированы внешний 1, средний 2 и внутренний 3 шнеки. Витки внешнего шнека смешивающего узла выполнены с шагом S_1, равным 1/2 длины бункера смесителя, диаметр внешнего шнека равен D_1. Средний и внутренний шнеки диаметрами D_2 и D_3 имеют шаги S_2 и S_3, соответственно. Отличительной особенностью разработанного смесителя является то, что витки спирали выполнены в виде геликоида, а не коноида, как у всех выпускаемых промышленностью. Благодаря такому решению резко снижается потребляемая электродвигателем энергия, а также, как показал Э. Бернхардт, увеличиваются деформации сдвига и растяжения в требуемом направлении [5].

В результате теоретических исследований влияния конструкционных параметров выведена формула (1) расчета мощности, необходимой для привода в движение отдельного шнека смешивающего узла, с помощью которой рассчитана мощность, потребляемая прототипом - 11,3 кВт и разработанным нами смесителем - 9,1 кВт, что на 24 % ниже, чем у прототипа.

$$W_o = \frac{\left(\frac{Qv^2}{270g} + \frac{F_k \cdot v}{750} + \frac{P_0' \cdot D_0 \cdot (\omega - \omega_2)}{1500} + \frac{P_0'' \cdot D \cdot (\omega - \omega_2)}{1500}\right) \cdot k_o}{\eta_n} . \quad (1)$$

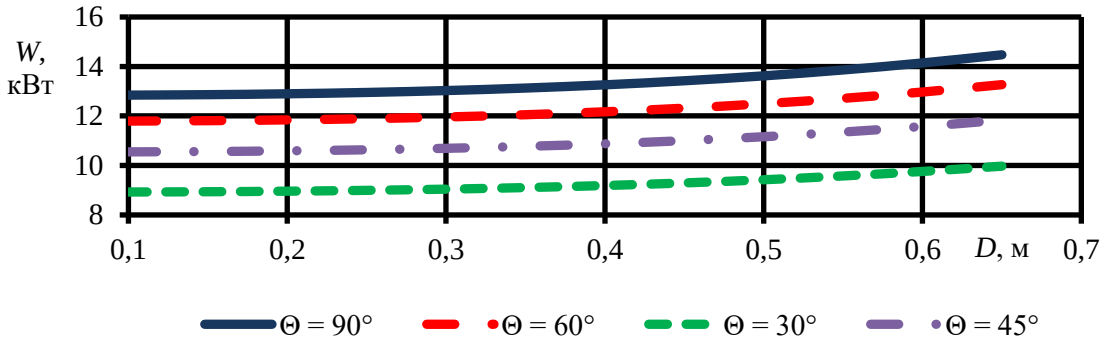


Рис. 3. Влияние диаметра внутреннего шнека, угла конуса геликоида и частоты вращения *n* смешивающего узла на теоретическую потребляемую мощность

Опираясь на результаты моделирования [2, с. 70] и используя выведенную формулу (1), построены графики (рис. 3).

Результаты теоретических исследований влияния системы нагрева кормовой смеси на энергоемкость смесителя. Не меньший интерес представляет энергоемкость нагрева кормовой смеси. Особенностью приготовления ферментированых кормов является поддержание заданной температуры кормовой смеси T_2 (рис. 4).

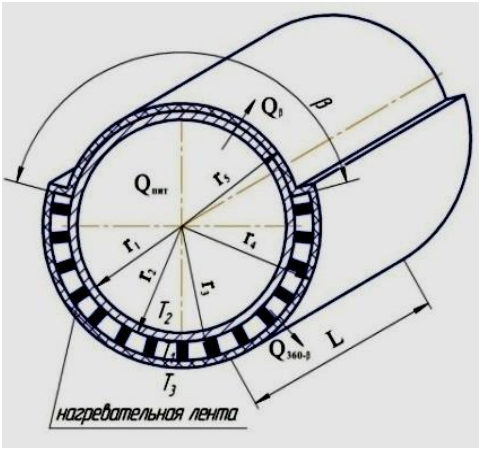


Рис. 4. Схема к расчету энергоемкости нагрева кормовой смеси

В результате теоретических исследований влияния системы нагрева кормовой смеси выведена формула (2),

$$w_{уд} = \frac{3600 \cdot P \cdot \Delta t}{m \cdot (T_к - T_н)}, \qquad (2)$$

по которой определены удельные энергозатраты при нагреве 25 и 50 кг корма от 13 до 55 ºС тепловой лентой мощностью 75 Вт в зависимости от времени и построены графики (рис. 1 в [2]).

Выведена формула (3) расчета необходимой (поддерживаемой) температуры кормовой смеси, по которой рассчитаны температуры корма в зависимости от времени нагрева и построены графики (рис. 2 в [2]).

$$T_2 = \left(\left(\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right) \frac{(360-\beta)\pi L}{180 m_{n.c.} c_{n.c.}} \right) \cdot T_{2нач} + \right.$$
$$+ \left(\frac{k_2k_1}{(k_1+k_2)} \cdot \frac{360-\beta}{180} + k_3 \cdot \frac{\beta}{180} + \frac{k_4 \cdot r_1^2}{L} \right) \frac{\pi L}{m_{n.c.} c_{n.c.}} T_3 +$$
$$\left. + \left(\frac{Pk_2}{(k_1+k_2)} + Q_{бак} \right) \frac{1}{m_{n.c.} \cdot c_{n.c.}} \right) \cdot$$
$$\cdot e^{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right) \frac{(360-\beta)\pi L}{180 m_{n.c.} c_{n.c.}} \tau} -$$
$$- \frac{\left(\frac{k_2k_1}{(k_1+k_2)} \cdot \frac{360-\beta}{180} + k_3 \cdot \frac{\beta}{180} + \frac{k_4 \cdot r_1^2}{L} \right)}{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right)} \cdot \frac{180}{(360-\beta)} T_3 +$$
$$+ \frac{\left(\frac{Pk_2}{(k_1+k_2)} + Q_{бак} \right)}{\left(\frac{k_2^2}{(k_1+k_2)} - k_2 - \frac{k_3\beta}{360-\beta} - \frac{180k_4r_1^2}{(360-\beta)L} \right)} \frac{180}{(360-\beta)\pi L}. \qquad (3)$$

Исследование смешивающего узла с лопатками. Эксперименты по смешиванию влажных кормов смешивающими узлами (рис. 4 в [2]) показали, что однородность смеси сыпучих материалов достигает значения не менее 95 %, а также, что влажный корм не смешивается, поскольку под действием центробежных сил движется к периферии. В связи с этим было принято решение внешние скребки с шагом S_1 = 0,5 L заменить лопатками (рис. 5). Чтобы эффективность очистки стенок не уменьшалась, лопатки расположили в шахматном порядке и уменьшили частоту вращения.

Проведены эксперименты на действующем макете при: а) n = 25 мин$^{-1}$; б) n = 30 мин$^{-1}$; в) n = 35 мин$^{-1}$; г) n = 40 мин$^{-1}$.

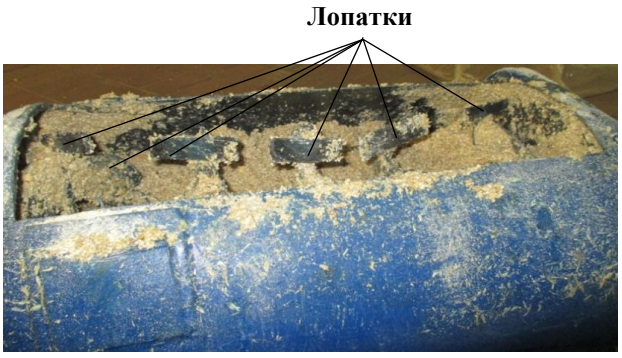


Рис. 5. Расположение лопаток

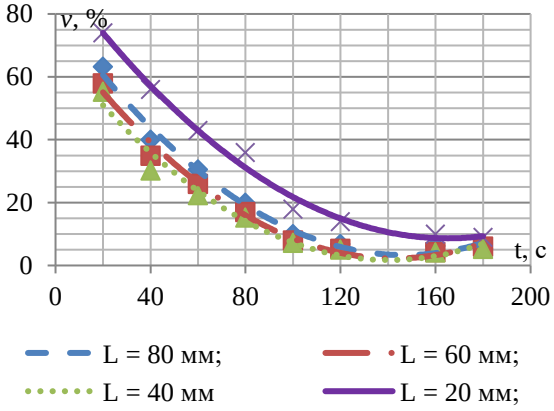


Рис. 6. Влияние длины лопаток и времени смешивания на коэффициент неоднородности смеси при n = 30 мин$^{-1}$

Результаты экспериментальных исследований представлены на графиках (рис. 6). Анализ графиков показывает, что с уменьшением длины лопаток коэффициент неоднородности уменьшается. Это связано с улучшением условий смешивания. Наилучшее качество смешивания наблюдается при L = 40 мм на всех режимах работы. С уменьшением длины лопаток с 80 до 40 мм время смешивания, необходимое для получения качественного корма, уменьшается.

Это связано с тем, что с увеличением расстояния между лопатками силы сцепления между частицами кормовой смеси уменьшаются, смесь рассыпается, одна часть ее продолжает перемещаться лопатками, а вторая остается в пространстве между лопатками. В определенный момент наступают оптимальные условия смешивания, и дальнейшее уменьшение длины лопаток вызывает увеличение времени смешивания, поскольку длины лопаток становится недостаточно для перекрытия всей длины смесителя, и на периферии бункера остаются кольца кормовой смеси, которые не участвуют в процессе смешивания.

На качество смешивания неоднозначно влияние частоты вращения вала. Коэффициент

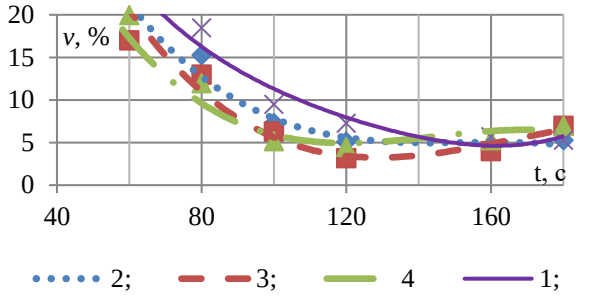


Рис. 7. Влияние частоты вращения вала *n* и длины лопаток на качество смешивания

неоднородности v = 15% через 80 – 95 с после начала смешивания на всех режимах работы (рис. 7). Но при частоте вращения *n* = 25 мин$^{-1}$ v = 15 % лишь через 180 с, в то время как на остальных режимах этот показатель достигается за 110-120 с. Поэтому из дальнейших исследований было исключено изучение влияния частоты вращения вала при n = 25 мин$^{-1}$.

Время смешивания, при котором коэффициент неоднородности не превышает 15 %, в зависимости от частоты вращения вала составляет 70-90 с.

В интервале времени от 80 до 160 с качество смеси соответствует зоотехническим требованиям.

С увеличением времени смешивания свыше 160 с наступает процесс сегрегации. Таким образом, время смешивания влажных кормов, при котором качество смеси соответствует зоотехническим требованиям, должно составлять 80-160 с.

Для критерия y_2 (удельные энергозатраты) получена модель регрессии (4) (при 95 % доверительной вероятности):

$$y_2 = 0{,}37 + 0{,}02 \cdot x_6 + 0{,}09 \cdot x_7 + 0{,}12 \cdot x_5 - \\ - 0{,}01 \cdot x_6^2 - ,0003 \cdot x_6 \cdot x_7 + \\ +0{,}01 \cdot x_6 \cdot x_5 - 0{,}06 \cdot x_7^2 + 0{,}04 \cdot x_7 \cdot x_5 + 0{,}01 \cdot x_5^2. \quad (4)$$

Проверка адекватности модели (4) показала, что модель с учетом значимых факторов адекватно описывает изменение удельных затрат электроэнергии в процессе смешивания. Степень достоверности аппроксимации R^2 составила 99,4 %.

Для наглядного представления влияния изучаемых факторов на критерии работоспособности смесителя и определения их оптимальных значений построены наложенные друг на друга сечения поверхностей откликов (рис. 8).

Анализ сечений показывает, что коэффициент неоднородности не превышает 5 %

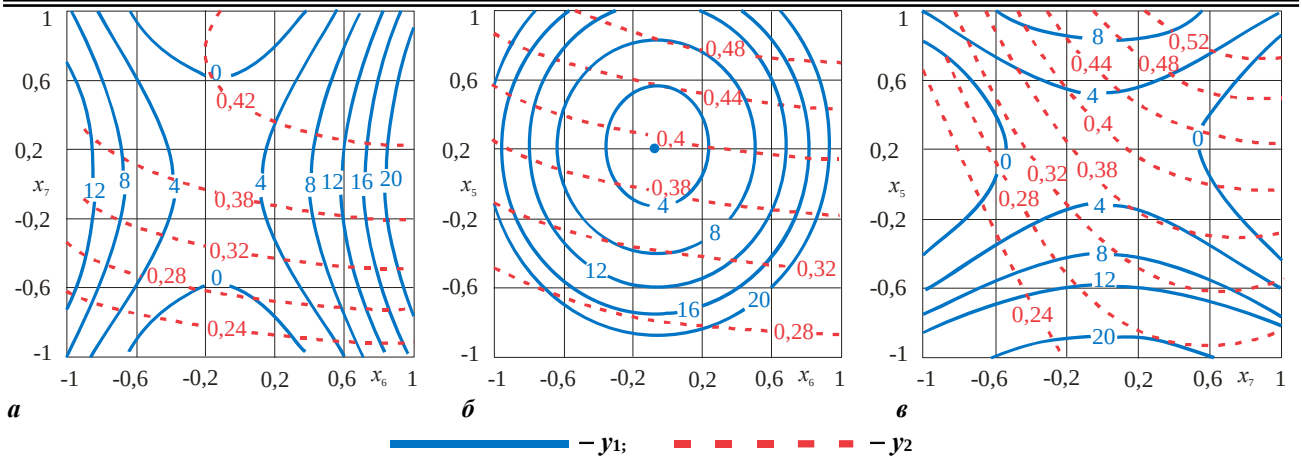


Рис. 8. Двумерные сечения поверхностей откликов, характеризующие влияние на критерии оптимизации:
***а* – длины лопаток (фактор x_6) и частоты вращения (фактор x_7); *б* – длины лопаток (фактор x_6) и времени смешивания t (фактор x_5); *в* – частоты вращения (фактор x_7) и времени смешивания t (фактор x_5)**

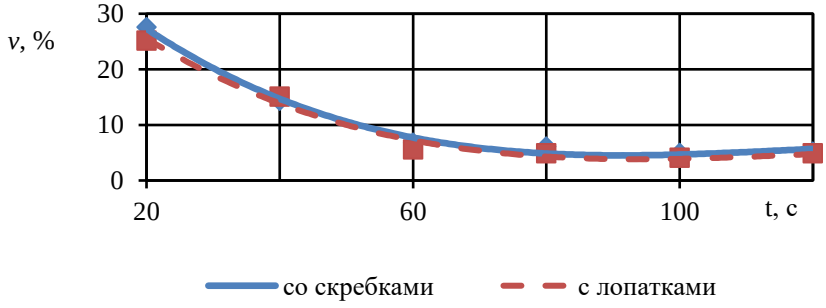


Рис. 9. Изменение коэффициента неоднородности при смешивании сыпучих материалов смешивающим узлом с лопатками и скребками

при следующих значениях параметров: x_6 = –0,4-0,4 (l = 32-48 мм), $-x_7$ = –1 (n = 30 мин$^{-1}$), x_5 = –0,2-0,6 (t = 110-140 с).

Удельные энергозатраты в области исследования стремятся к минимальному значению при минимизации исследуемых параметров. Методом наложения сечений определены оптимальные значения исследуемых параметров: L = 32 мм, n = 30 мин$^{-1}$, t = 110 с. При этом энергозатраты составляют 0,32 кВт· ч/т.

Таким образом, в результате проведенных исследований определены оптимальные значения исследуемых параметров, при которых обеспечивается необходимое качество смешивания влажных кормов с минимальными затратами электроэнергии: угол подъема винтовой линии θ = 50°; высота витков внешнего шнека h_2 = 50 мм; высота витков внутреннего шнека h_3 = 75 мм; шаг витков S_2 внешнего шнека 105 мм; шаг витков S_3 внутреннего шнека 135 мм; длина лопаток l = 32 мм; время смешивания t = 110 с; частота вращения смешивающего органа n = 30 мин$^{-1}$. При этих параметрах удельные энергозатраты не превышают 0,32 кВт·ч/т.

По результатам исследований построены сравнительные двумерные графики (рис. 9), характеризующие изменение коэффициента неоднородности смеси, состоящей из сыпучих компонентов, от времени смешивания.

Анализируя графики, можно отметить, что качество смеси при использовании смешивающего узла с лопатками возрастает: коэффициент неоднородности снижается на 10 – 17 %. Время смешивания также сокращается со 100 до 70 с.

Удельная энергоемкость при смешивании сыпучих материалов смешивающим узлом с лопатками составила 0,9 кВт·ч/т, что на 25 % ниже, чем при использовании смешивающим узлом со скребками.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что качество смешивания сыпучих материалов при использовании смешивающего узла с лопатками вместо скребков повышается, а время и энергозатраты снижаются.

С целью определения точности формулы (1) построены сравнительные графики (рис. 10)

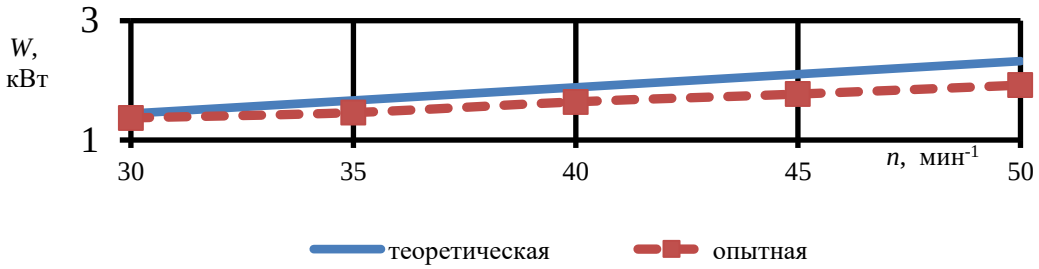


Рис. 10. Изменение коэффициентов неоднородности при смешивании сыпучих материалов смешивающим узлом с лопатками и скребками

теоретической и фактической мощности, потребляемой электродвигателями смешивающего узла.

Разработанный смеситель может быть использован для смешивания как сыпучих, так и влажных кормов.

Исследование макетов бункера. Для подтверждения результатов теоретических исследований нагрева при приготовлении кормов изготовлены макеты бункера (рис. 11), состоящего из емкости цилиндрической формы, на наружную поверхность которой уложена нагревательная лента. Сверху нагревательного элемента нанесен слой теплоизоляции для уменьшения тепловых потерь и снижения энергоемкости смесителя.

а *б*

Рис. 11. Макеты бункера смесителя:
***а* - с обхватом лентой 360º;**
***б* - с обхватом лентой 90º**

На первом этапе исследований проверялась правильность теоретических расчетов. Для этого были проведены эксперименты по определению влияния угла обхвата тепловой лентой бункера (см. рис. 11). Определяли время нагрева 25 и 50 кг (что соответствовало 50 и 100 % уровню заполнения бункера) кормовой смеси при углах обхвата бункера 90º и 360º соответственно до необходимой оптимальной температуры 55 ºС.

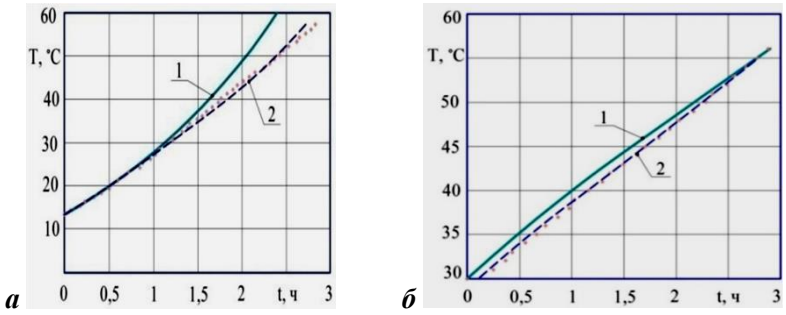
Во время проведения эксперимента фиксировали следующие показатели: время нагрева, температуру кормовой смеси, потребляемую мощность.

В результате проведенных исследований построены графики (рис. 12).

Анализ полученных данных показывает, что расхождение между теоретическими расчетами и практическими результатами не превышает 5 %, и, следовательно, выведенная формула (3) может быть использована для расчетов тепловых процессов в смесителях.

С целью определения оптимальных конструкционных параметров смесителя проведены однофакторные эксперименты. Результаты опытов представлены в виде графиков (рис. 13).

Наиболее интенсивный рост температурного напора наблюдается при 50 % заполнении емкости (25 кг) и угле обхвата тепловой лентой 90º. С увеличением угла обхвата время роста температурного напора увеличивается.



а *б*

Рис. 12. Изменения температуры кормовой смеси при нагреве:
***а* – 25 кг с углом обхвата макета бункера тепловой лентой 90 º;**
***б* – 50 кг с углом обхвата макета бункера тепловой лентой 360 º;**
1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальная зависимость

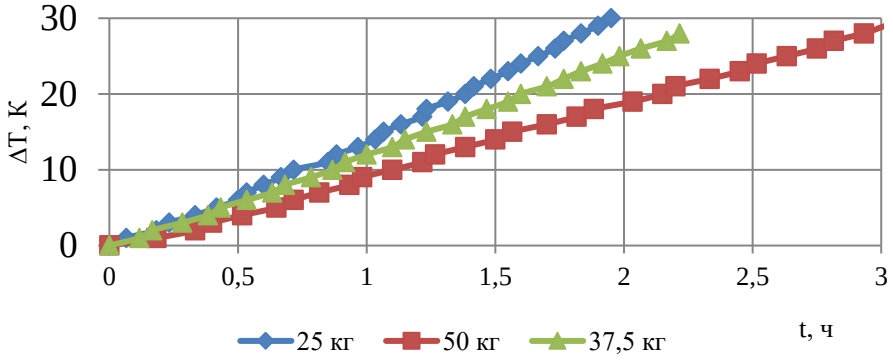


Рис. 13. Изменение температурного напора по времени при угле обхвата бункера тепловой лентой 90º

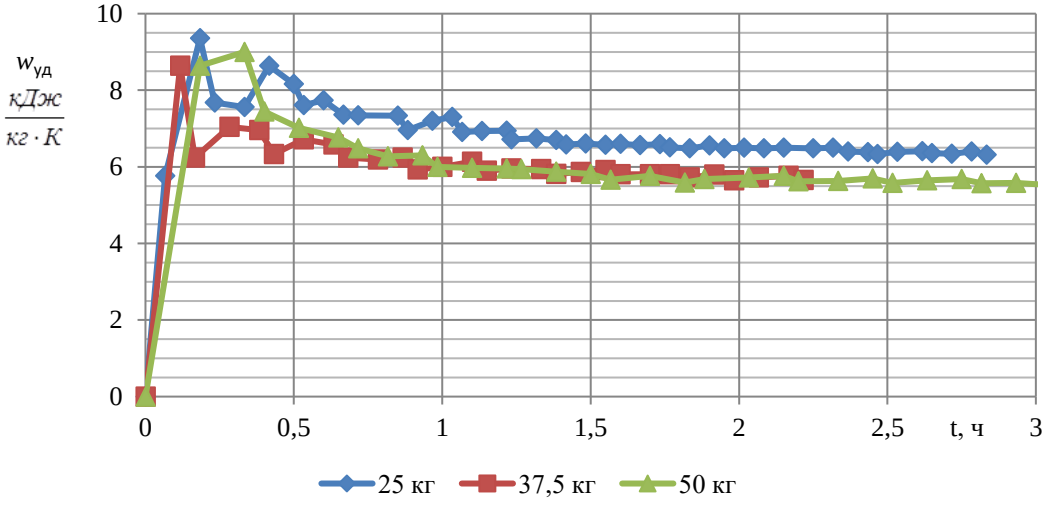


Рис. 14. Удельное энергопотребление в зависимости от времени при угле обхвата бункера тепловой лентой 90 º

При 50 и 100 % заполнении емкости характер поведения температурного напора не меняется для случаев, соответствующих углам обхвата тепловой лентой 90 и 180 º. Однако с увеличением угла обхвата до 360º время нагрева увеличивается в 1,4 раза.

С целью оценки эффективности нагрева рассчитаны значения удельной электроэнергии $w_{уд}$, затраченные на нагрев 1 кг питательной среды на 1 К, и построены графики (рис. 14)

Наибольшее энергопотребление наблюдается в первые полчаса работы макетов бункеров, что связано с установлением рабочего режима нагревательной ленты. С момента наступления установившегося режима работы происходит медленное снижение энергозатрат. Во всех случаях наибольшие затраты энергии наблюдаются при 50 % заполнении бункера (что соответствует 25 кг кормовой смеси) и при изменении угла обхвата бункера с 90 до 360º они возрастают на 40 %. При увеличении уровня заполнения емкости наблюдается снижение энергопотребления на 17-50 % в зависимости от угла обхвата бункера.

С увеличением уровня заполнения емкости угол обхвата в меньшей степени влияет на энергозатраты.

Выводы

1. Разработан, изготовлен и исследован смеситель кормов для использования в фермерских хозяйствах (реализован патент РФ №2567315 на изобретение [4]).

2. Получены аналитические модели, позволившие рассчитать потребляемую электродвигателем смесителя энергию и определить степень влияния на нее каждого параметра смешивающего узла. Опираясь на результаты моделирования и используя аналитическую модель, построены зависимости, характеризующие влияние наиболее значимых факторов (диаметр внутреннего шнека, угол конуса геликоида и частота вращения смешивающего узла) на теоретическую потребляемую мощность.

3. Получена аналитическая зависимость изменения температуры приготавливаемого корма, построены графики зависимости изменения температуры кормовой смеси от времени ее нагрева, и зависимости изменения теоретических удельных энергозатрат от угла обхвата бункера тепловой лентой и массы кормовой смеси. Выявлено, что максимальные энергозатраты наблюдаются в начале нагрева приготавливаемого корма, а с течением времени они снижаются. Наиболее интенсивное снижение энергозатрат наблюдается при нагреве кормовой смеси в бункере с углом обхвата его тепловой лентой 90°. В начальный момент времени масса кормовой смеси практически не влияет на затраты электроэнергии, они практически равны.

4. Построены адекватные модели регрессии, пригодные для описания изменений критериев оптимизации. Степень достоверности аппроксимации моделей и R^2 соответственно 99,47 и 99,7 %. С помощью моделей регрессии установлены оптимальные параметры: частота вращения смешивающего узла n = 45 мин$^{-1}$; угол конуса геликоида шнеков θ = 50°; высота витков внешнего шнека h_2 = 50 мм; высота витков внутреннего шнека h_3 = 75 мм; шаг витков S_2 внешнего шнека 105 мм; шаг витков S_3 внутреннего шнека 135 мм; время смешивания t = 84-108 с, при которых качество готовой смеси, состоящей из сыпучих материалов, соответствует зоотехническим требованиям (однородность смеси не менее 95). Установлена более высокая эффективность смешивающего узла с лопатками, имеющего те же параметры кроме времени смешивания t = 70-100 с при длине лопаток L = 32 мм.

Определено, что увеличение угла обхвата тепловой лентой с 90º до 360º ведет к росту удельных энергозатрат на 10-33 % в зависимости от уровня заполнения бункера.

5. Испытания смесителя кормов в фермерском хозяйстве позволили определить его конструкционные параметры, а также рекомендовать использование в животноводческих комплексах сельскохозяйственных производств.

6. Смеситель позволяет реализовать наиболее эффективный процесс приготовления рассыпных и влажных кормов для животных и птицы в одном и том же агрегате. Приобретя еще несколько машин: пневмосепаратор фуражного зерна, дробилку зерна с ротором-вентилятором, измельчитель корнеклубнеплодов и измельчитель соломы, фермерское хозяйство, имея любой из сырьевых продуктов (зерно, солома, корнеклубнеплоды), может наладить линию или организовать мини-завод круглогодичного приготовления качественного корма, затратив при этом минимум средств и энергии.

Использование смесителя позволяет в сравнении с прототипом снизить на 35 % энергозатраты при приготовлении комбированных кормов.

Литература

1. *Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И.* Изобретательство – путь к научному успеху: монография / Под ред. Н.В. Оболенского. Н. Новгород: ДЕКОМ, 2016. – 208 с.
2. *Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И.* Разработка смесителя-ферментатора для получения корма с высоким содержанием белка в фермерских хозяйствах // Вестник НГИЭИ. – 2016. №2(57) (технические науки). – С. 62-74.
3. *Оболенский Н.В., Булатов С.Ю., Свистунов А.И.* Разработка средств для приготовления ферментированного комбикорма в фермерских хозяйствах// Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 1(22). – С. 67-78.
4. Патент РФ № 2567315. Смеситель-ферментатор / П.А. Савиных, В.Е. Саитов, Н.В. Оболенский, С.Ю. Булатов, А.И. Свистунов. Заявка №2013159353/05 (092278). Заявлено 26.12.2013; Опубл. 10. 07. 2015.
5. *Бернхардт Э.* Переработка термопластических материалов. М.: Госхимиздат, 1962. – 647 с.

Сведения об авторе:

Свистунов Александр Иванович – аспирант ГБОУ ВО НГИЭУ, генеральный директор ЗАО «Княгининская швейная фабрика», г. Княгинино, Россия, e-mail: aisv1980@mail.ru

THE LOW-POWER MULTIPURPOSE MIXER FOR PREPARATION OF HIGHLY NOURISHING FORAGES

A. Svistunov

The main challenge facing domestic agricultural producers is stable ensuring food security of the country. The major task in case of achievement of this purpose is energy saving and increased productivity, which is impossible without application of modern science, implementation of advanced technologies and scientifically based highly effective complexes of machines and the equipment in crop production and in livestock production. It is proved that the main share of costs in case of production of livestock production is the share of forages preparation. At the same time, preparation of compound feeds in the conditions of farm reduces cost value of forages, and also allows to bal-

ance them on nutritional value taking into account a food supply. It is possible to receive the balanced forage by mixing of necessary components in mixing machines. However practically all mixers are narrowly specialized and intended for mixing of certain materials (loose or damp) that conducts to additional costs in the form of purchase by farmers of the additional equipment and costs of the electric power. Some agricultural producers, aiming to lower products production costs, pass to forages with the high content of easily acquired protein which receive from invaluable widespread material by its synthesis. However today there are no special machines with evidence-based constructional parameters for receipt of such forage. Therefore creation of the universal mixer intended for mixing is direct in farms as traditional dry loose and the damp loose, and modern synthesized forages, is an urgent task.

Keywords: researches; constructional parameters; constructional decision; forage; the mixing node; specific energy consumption; energy saving.

References

1. Obolensky N.V., Bulatov S.Yu., Svistunov A.I. Izobretatel'stvo – put' k nauchnomu uspekhu [Invention – a way to scientific success]: the monograph / Under edition of the honored inventor of the Russian Federation, prof. N.V. Obolensky. N. Novgorod: DEKOM, 2016. – 208 ps.
2. Obolensky N.V., Bulatov S.Yu., Svistunov A.I. Razrabotka smesitelya-fermentatora dlya polucheniya korma s vysokim soderzhaniem belka v fermerskih hozyajstvah [Development of the mixer fermenter for receipt of a forage with the high content of protein in farms], J. *Vestnik NGIEI*, 2016, No. 2(57) (technical science). P. 62-74.
3. Obolensky N.V., Bulatov S.Yu., Svistunov A.I. Razrabotka sredstv dlya prigotovleniya fermentirovannogo kombikorma v fermerskih hozyaj-stvah [Development of means for preparation of the fermented compound feed in farms], J. *Vestnik VIESH*, 2016, No. 1(22). P. 67-78.
4. Russian Federation patent No. 2567315. Mixer fermenter / P.A. Savinykh, V.E. Saitov, N.V. Obolensky, S.Yu. Bulatov, A.I. Svistunov. Request No. 2013159353/05 (092278). It is declared 26.12.2013; Opubl. 10. 07. 2015.
5. Bernhardt E. Pererabotka termoplasticheskih materialov [Conversion of thermoplastic materials]. M.: Goskhimizdat, 1962. – 647 ps.

Author:

Svistunov A. - graduate student, Nizhniy Novgorod state engineering-economic university (GBOU VO NGIEU), Knyaginino, Russia, e-mail: aisv1980@mail.ru

УДК 621.384.3

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РОБОТ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛИЦ

В.А. Королев[1], С.А. Воротников[2], В.А. Польский[2], Ш.Ш. Гемуев[2], Е.Л. Ищук[2]
[1]Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия
[2]Московский государственный технический университет (МГТУ) им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Статья посвящена применению робототехнических комплексов в промышленных теплицах для выполнения работ по сбору урожая овощей и отслеживанию состояния растений. Для решения данных задач предлагается многофункциональный робот, способный работать автономно на обширном участке сбора урожая: от срывания плодов при помощи манипулятора и системы распознавания до организации транспортных операций по перемещению коробок с овощами. Формулируются основные проблемы, связанные с автоматизацией промышленных теплиц. В соответствии с обозначенными проблемами ставятся задачи по роботизации промышленной теплицы на конкретном примере агрохолдинга «Московский». Излагается структура многофункционального робота, представляющая из себя два взаимосвязанных агрегата, каждый из которых реализован на своей платформе. Приводится общий вид данных моделей, перечислены модули, входящие в их состав. Показаны элементы конструкции, использованные при проектировании данных устройств. Изложена структура системы управления многофункциональным роботом и физические устройства, использованные при ее реализации. Описан алгоритм функционирования многофункционального робота. Приведен пример алгоритма передвижения данных роботов в промышленной теплице и показана схема алгоритма работы одного из роботов, показывающая порядок выполнения всех описанных действий. Подведены итоги по разработке многофункционального робота для промышленных теплиц, предложены варианты применения данного решения и возможность расширения функционала данной системы.

Ключевые слова: *агроробот, система управления, теплица, экспериментальный образец.*

Введение. Социальные и экономические факторы, насущные технологические потребности современного производства обуславливают актуальность вопросов ускорения внедрения робототехнических устройств в отрасли сельского хозяйства. Применение роботов в ряде случаев обеспечит увеличение объемов производства и качества агропродукции, сократит объемы не всегда эффективного использования наемной рабочей силы, необходимой при выполнении тяжелых и вредных для здоровья людей работ.

Инновационные разработки агропроизводства (технологии и технические средства их реализации) должны быть совместимы с перспективными индустриальными технологиями производства продукции (точное дифференцированное земледелие и т.п.) [1]. Один из основополагающих положений современных подходов при создании агротехнологических систем рассматривает технические устройства обеспечения и поддержки агротехнологических процессов, как элементы техноценозов (ТЦ) – техногенной части открытых природно-техногенных метасистем – агротехноценозов (АТЦ). Природные структуры АТЦ – биоценозы (БЦ), включающие живые, способные к саморазвитию, саморегуляции и сохранению неограниченное время генетической информации растительные структуры, первичны по отношению к ТЦ, а природные процессы изменения растительных структур и внешней среды для процессов в ТЦ – ведущие. Фактор зависимости режимов функционирования элементов ТЦ от состояния природной составляющей АТЦ при выполнении технологических процессов производства агропродукции – один из важнейших в настоящее время [2, 3].

Статья посвящена разработке устройств сопровождения технологических операций выращивания овощных культур. Современные тепличные комплексы по производству овощей

имеют высокий уровень автоматизации: автоматизированы полив растений, введение удобрений, поддержание микроклимата и пр. В то же время ряд операций (сбор урожая, обвивание и подкручивание стеблей овощных культур по мере их роста, борьба с вредителями и контроль за паразитами) производят вручную, как правило, с привлечение сезонных рабочих.

Для борьбы с вредителями используют изменяющие пространственное расположение при росте растений ловушки – плотные разноцветные листы с клеевым покрытием, требующие ежедневного визуального контроля для принятия соответствующих мер (ввод специальных растворов, обработка всей теплицы и т.п.). Так же визуально оценивают и зрелость плодов.

Устройства для выполнения операций в теплицах разрабатываются за рубежом. Можно отметить серию разработок по модернизации теплиц компании Panasonic; робот по сбору клубники Strawberry Picking Robot, оснащенный системой оценки степени созревания ягод; манипулятор для промышленных теплиц со специальным схватом для сбора перцев Festo WP5; робот Spray Robot для автоматического распыления растворов в промышленных теплицах с любыми типами овощей [1, 4, 5, 6]. Опыт создания подобных устройств использован при написании статьи. В качестве объекта внедрения рассматривается тепличное хозяйство агрохолдинга «Московский».

Постановка задачи. Агрохолдинг «Московский» производит несколько видов продукции в разных тепличных комплексах: салаты и цветы, огурцы и томаты. В теплицах предусмотрен центральный проход, по обе стороны от которого рядами высажены сельхозкультуры (рис. 1а). Между посадками в технологических проходах размещены рельсы стандартных размеров (рис. 1б) [7].

Некоторые оценочные данные по теплице сведены в таблице 1.

В ходе обследования агрохолдинга «Московский» выявлены технологические операции, автоматизация которых увеличит эффективность функционирования предприятия, позволит сократить затраты материальных и временных ресурсов при производстве продукции.

Целью данной статьи является разработка структуры и расчет конструктивных параметров многофункционального робота (МФР) для выполнения технологических операций производства овощной продукции в теплицах.

В состав МФР должны входить следующие элементы:

- транспортные базы для движения по рельсам и по бетонному полу;
- манипулятор с захватным устройством для сбора урожая;
- система технического зрения (СТЗ) для контроля состояния растений в ходе их вегетации, в том числе анализа растений на наличие вредителей, оценки спелости конечного продукта;
- система позиционирования (СП) транспортной базы относительно растения и манипулятора относительно плода;
- устройство доставки и перемещения тары (пустой и с урожаем);
- система управления;
- устройство обмена информацией с системой управления верхнего уровня.

а ***б***

Рис. 1. Транспортные магистрали теплицы агрохолдинга:
***а* – центральный проход; *б* – технологический рельсовый проход**

Таблица 1

Основные параметры теплицы

Кол-во поперечных рядов	108	Размер ловушек	40×25 см
Кол-во продольных рядов	2	Размер томатов	3,5 – 7 см
Длина рельсовой колеи	42 м	Масса томатов	80 – 150 г
Ширина центрального прохода	3 м	Габариты коробки	50×40×13,5 см
Ширина прохода с рельсовой колеей	0,5 м		

Структура устройства. Технологии агропроизводства предусматривают необходимость выполнения большого количества различных технологических операций. Мировые тренды развития технологических устройств базируются на «открытой» архитектуре и модульной концепции построения структуры и программного обеспечения [8].

Анализ практических результатов применения подобных устройств позволил определить структуру МФР в виде двух взаимодействующих между собой модулей – агропромышленного манипуляционного робота (АМР) и транспортного агрегата (ТА), реализованных на собственных транспортных базах. При этом:

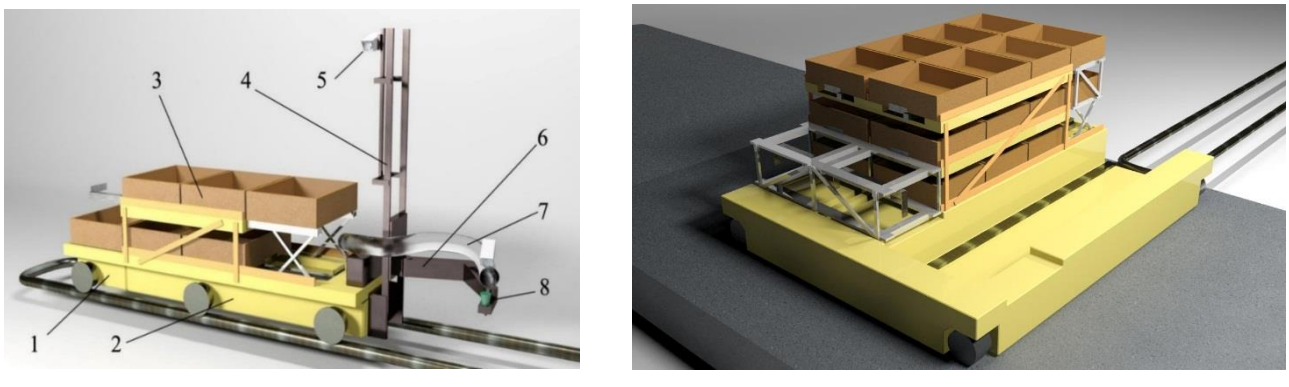
- АМР (рис. 2а) передвигается по рельсам технологических проходов теплицы, выполняет операции поиска, захвата и срывания зрелых томатов, фотографирования ловушек с вредными насекомыми, распределения урожая томатов по ящикам. При замене рабочего органа АМР способен осуществлять выполнение других операций (обработку растений растворами и др.);

- ТА (рис. 2б) передвигается по бетонному покрытию центрального прохода теплицы, забирает на АМР ящики с урожаем и доставляет на него пустые, перемещает АМР с рельсов одного технологического прохода на рельсы других проходов, отвозит ящики с урожаем в хранилище.

В ходе реализации агропроцессов требуется динамичная (обновляемая в режиме реального времени) информация о состоянии плодов. С этой целью в состав АМР входит система технического зрения (СТЗ), которая может использоваться непосредственно агроробототом или кооперативно с другими системами агротехнологий в составе технологического оборудования тепличного комплекса. Причем, поскольку в больших тепличных комплексах может использоваться не один, а группа агроробототов, система управления ими должна по технологиям «взаимодействия роя» осуществлять оперативное управление выполняемыми процессами.

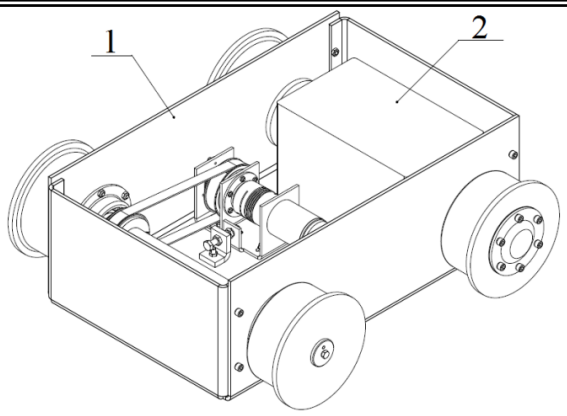
В состав АМР входят транспортная платформа (рис. 3а) и манипулятор с захватным устройством (рис. 3б и 3в):

Манипулятор, СП и СТЗ при определении местоположения МФР в пространстве теплицы, поиске зрелых плодов, распознавании и фотографировании «ловушек» вредных насекомых перемещаются по роликовым направляющим и зубчатой рейке вертикальной стойки. Функционирование СП основано на поиске реперов (специальные метки, спелые плоды), СТЗ при оценке спелости плодов – на классических принципах с использованием эталона [10].

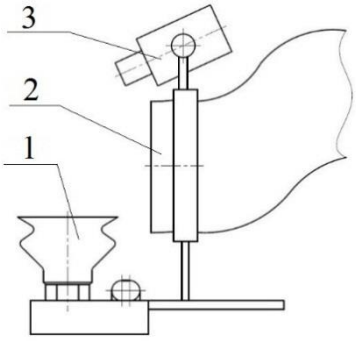


а *б*

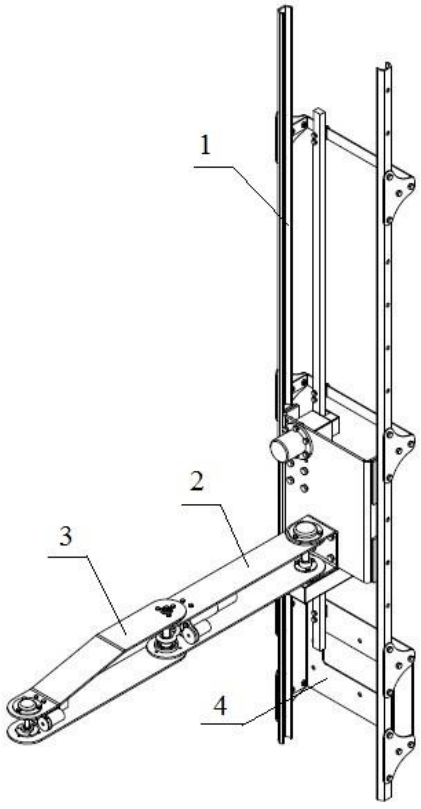
Рис. 2. Графическая модель МФР:
***а* – АМР:**
1 – транспортная платформа, 2 – аккумуляторный отсек и система управления, 3 – блок подачи и перемещения коробок, 4 – стойка для размещения манипулятора, СП и СТЗ, 5 – телекамера СТЗ, 6 – манипулятор для сбора томатов, 7 – система доставки плодов в ящики, 8 – захватное устройство; *б* – ТА



а



в



б

Рис. 3. Схемы элементов АМР:
***а* – транспортная платформа:**
1 – корпус; 2 – аккумуляторный отсек;
***б* – захватное устройство манипулятора:**
1 – вакуумная присоска; 2 – система доставки плодов в ящик; 3 – телекамера;
***в* – манипулятор:**
1 – стойка манипулятора; 2 – плечевой узел; 3 – локтевой узел;
4 – панель крепления к транспортной платформе

Манипулятор предназначен для позиционирования захватного устройства для съема спелого томата путем поворота его вакуумной присоски (вокруг плодоножки). Захватное устройство рассчитано для захвата и отделения томатов и других овощей и фруктов, имеющих овальную форму.

Конструкция блока подачи и перемещения коробок подразумевает наличие ячеек для тары и использует их круговое движение (восемь ячеек, установленных в два ряда). Перемещение коробок горизонтально или вертикально осуществляет «ножничный» механизм.

В конструкции ТА предусмотрен специальный паз, куда заезжает АМР. В соединенном положении осуществляется движение агрегатов при перемещении с одной рельсовой колеи на другие. При этом конструктивно ТА способен обмениваться ящиками с другими транспортными средствами. Это позволяет по цепочке передавать ящики в область разгрузки.

Система управления МФР (рис. 4) разрабатывается на базе промышленных контроллеров B&R. Обмен информацией между элементами комплекса осуществлен с использование Wi-Fi и проводных линий [9, 10].

Электроснабжение АМР и ТА возможно двумя способами. Первый предусматривает использование аккумуляторной батареи, второй – стационарного источника энергии (резонансную систему электроснабжения) или кабельное питание (с помощью «кабеля-шторы», связанной с ТА) [11].

Алгоритм функционирования. Функционирование МФР предусматривает совместную работу нескольких АМР, за каждым из которых закреплен свой сектор промышленной теплицы и ТА (рис. 5).

Перед началом работы каждый АМР получает от оператора (системы управления верхнего уровня) данные для организации его работы (технологическую карту). После самотестирования, определения координат в теплице АМР начинают функционирование (рис. 6).

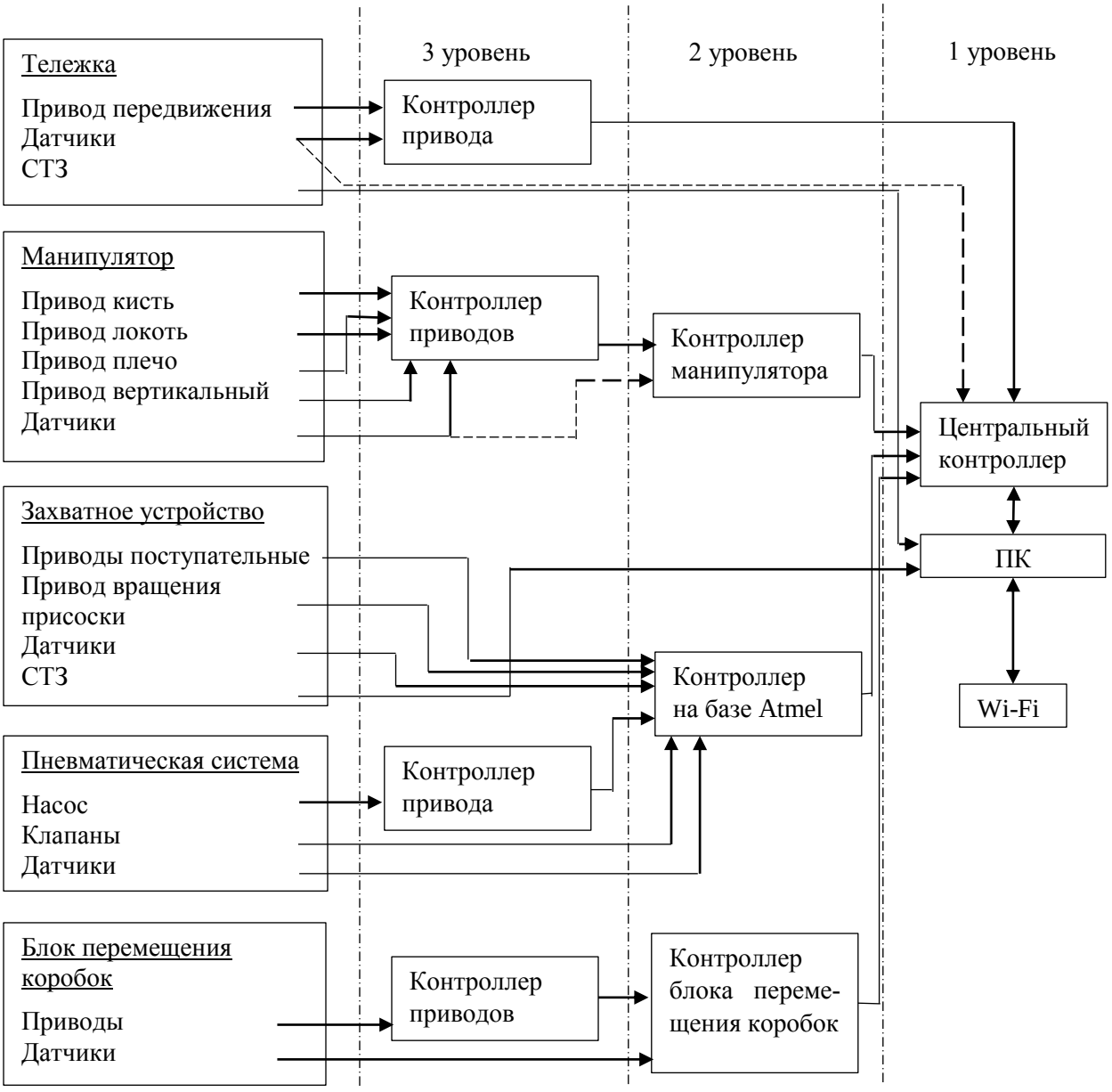


Рис. 4. Структура системы управления МФР

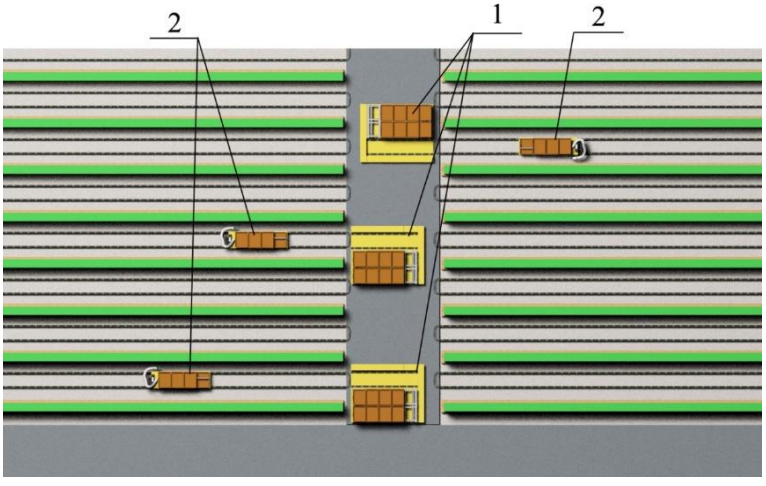


Рис. 5. Схема передвижения МФР в промышленной теплице:
1 – ТА; 2 – АМР

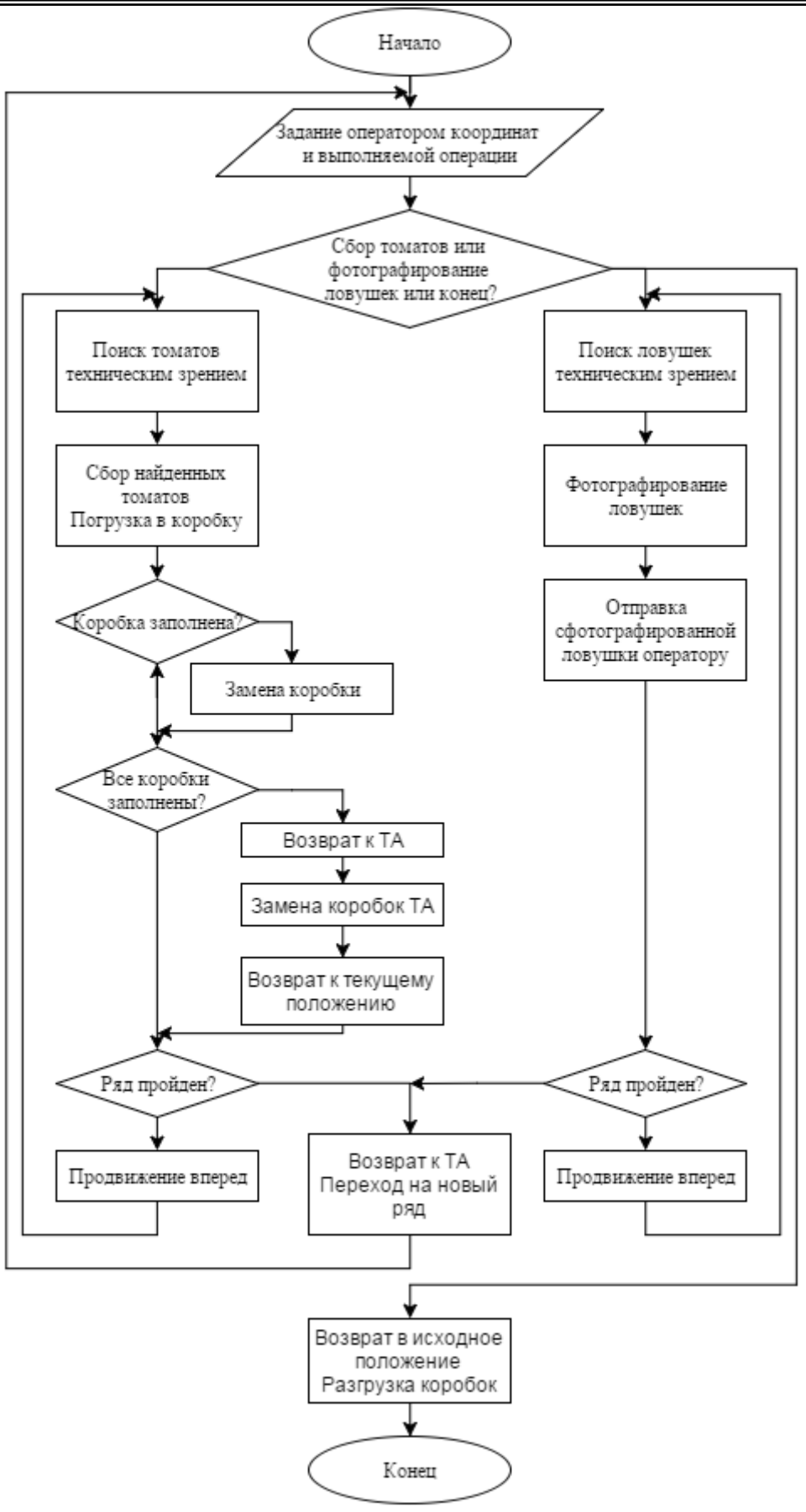


Рис. 6. Схема алгоритма работы АМР

При сборе урожая и контроле ловушек для насекомых состояние объектов воздействия фиксируется в памяти системы управления. В дальнейшем эта информация используется для формализации трендов изменения параметров технологического процесса.

Процесс сбора томатов представляет собой повторяющийся набор действий. Сначала телекамера СТЗ, закрепленная с боковой части АМР, делает снимки растений в своем поле зрения. Если после анализа кадров на всем ряду растений плоды, пригодные для сбора, не зафиксированы, ТА перемещает АМР в следующее контрольное положение. В противном случае, захватное устройство манипулятора позиционируется по выбранному плоду и подключается телекамера на захватном устройстве.

При идентификации томата средствами СТЗ определяется его центр, координаты подведения присоски захватного устройства, вычисляется траектория движения манипулятора. Вакуумная присоска захватывает томат, поворотный модуль на захватном устройстве вращает плод, отделяя его от плодоножки, после чего томат попадает в шланг для транспортировки плодов (см. рис. 3б поз. 2). Дальнейшее передвижение томата осуществляется по пневматической магистрали, в результате чего плод попадает в текущую коробку для сбора. В таком режиме АМР собирает томаты до тех пор, пока не заполнится соответствующая коробка. После этого происходит рокировка коробок в блоке перемещения, что позволяет роботу проводить сбор достаточно долго без удаления тары с борта АМР. Рокировка коробок осуществляется путем подъема заполненной коробки на ножничном механизме и ее последующего поперечного смещения рейкой со специальными лопатками. Перемещение при рокировке осуществляется по часовой стрелке.

При заполнении всех коробок (5 шт. при 8 ячейках) АМР следует в начало ряда и заезжает на платформу ТА, где в несколько рядов располагаются свободные и заполненные коробки с томатами. После загрузки пустых коробок АМР возвращается в точку прерывания операции и продолжает работу либо ТА перемещает его на новый ряд. При обнаружении насекомых в ловушках (ловушки размещены в соответствующих местах теплицы) их изображения передаются для анализа специалисту или на верхний уровень управления.

При полном заполнении коробок с томатами АМР отвозит их к погрузчику, который затем перевозит их согласно регламенту. АМР отправляет все полученные данные на сервер системы управления верхнего уровня, где оператор может с ними ознакомиться и сделать дальнейшие распоряжения. При необходимости возможно собирать статистику по спелости томатов, координаты плодов и другую сопутствующую информацию.

Если в секторе работы АМР есть особые указания к выполнению (например, нужно отследить состояние выделенной ловушки или сорвать томаты в конкретной области), то в заданных положениях робот затрачивает бóльшие ресурсы при обработке данных, чтобы сделать фотографии более детальными, а сбор томатов более тщательным. Обработав полученную информацию, система управления АМР составляет план работы – это может быть целенаправленный сбор томатов или только отслеживание состояния спелости, поиск ловушек и их общее фотографирование.

Максимальную продуктивность объекта аграрного производства, низкие затраты материально-технических ресурсов в реализациях агропроцессов обеспечивает осознанно организованная адаптация параметров функционирования техногенных устройств под реальные и прогнозные изменения природной составляющейся АТЦ. Прогнозирование хода процессов, выделение (выбор) управлений, стимулирующих и оказывающих наибольшее положительное влияние на выполняемые процессы, наряду с перечисленными факторами, являются приоритетными в реализациях агротехнологий.

Для определения прогнозных зависимостей используются методы «нечеткого» моделирования, а также реальные зависимости изменения параметров процесса во времени описываются нормализованными математическими зависимостями и экстраполируются на перспективу [3, 8]. При этом используют информацию о реализациях подобных процессов ранее (база данных), а также данные, получаемые от системы вышестоящего уровня через блок связи с управлением верхнего уровня. В ходе анализа информации выявляются участки теплиц, где созревание плодов наибольшее, и на эти участки перебазируют АМР в первую очередь. Причем, поскольку на агроугодьях с большими площадями может использоваться не один, а группа АМР, система управления ими должна по технологиям «взаимодействия роя» осуществлять оперативное управление выполняемыми процессами.

Выводы

Определена структура МФР и его системы управления как технического средства поддержки экологически чистых технологических процессов в теплицах, интегрированного в техногенные структуры современных инновационных технологий растениеводства.

Состав МФР, структурированный модульными компонентами, обеспечивает выполнение технологических операций сбора урожая, защиты растений от вредителей.

В зависимости от требований конкретной технологии, условий применения структура и функции МФР могут меняться.

Параметры агроробота могут подстраиваться под реальные и прогнозные условия реализации выполняемых процессов, характеристики объекта воздействий.

Приведенные материалы могут служить основанием для конструктивных решений и технологических разработок технических устройств согласно существующему типоразмерному ряду тепличных агрокомплексов.

Литература

1. Роботизированные системы в сельскохозяйственном производстве: науч. ан. обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 136 с.
2. *Свентицкий И.И.* Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 366 с.
3. *Королев В.А.* Аспекты энергоэффективного управления процессами в агротехнологических системах // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №2. Ч. 1. С. 112-118.
4. Официальный сайт Strawberry Picking Robot. Режим доступа: http://strawberryplants.org
5. Официальный сайт Festo WP5. Режим доступа: http://www.crops-robots.eu
6. Официальный сайт Spray Robot. Режим доступа: http://www.cmwhorticulture.co.uk/
7. Официальный сайт Агрохолдинга «Московский». Режим доступа: http://www.mosagro.ru/
8. *Королев В.А.* Унификация управлений в агротехноогических системах // Научные проблемы транспорта Дальнего Востока и Сибири. 2013. №2. С. 72-75.
9. *Воротников С.А.* Информационные устройства робототехнических систем. М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005.
10. *Зенкевич С.Л., Ющенко А.С.* Основы управления манипуляционными роботами. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 480 с.
11. *Стребков Д.С., Некрасов А.И.* Резонансные методы передачи и применения электрической энергии. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2008. – 352 с.

Сведения об авторах:

Королев Владимир Александрович - канд. техн. наук, доцент,
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия,
e-mail: vieshvk@yandex.ru

Воротников Сергей Анатольевич - канд. техн. наук, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ), г. Москва, Россия, e-mail: s_vorotnikov@mail.ru

Польский Вячеслав Анатольевич – канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
e-mail: polsky-slava@rambler.ru

Гемуев Шамиль Шамилевич – студент, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
e-mail: shamilgemuev@mail.ru

Ищук Екатерина Леонидовна – студентка, МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: ischukate@yandex.ru

MULTIFUCTIONAL ROBOT FOR INDUSTRIAL GREENHOUSES

V. Korolev S. Vorotnikov V. Polskiy, Sh. Gemuev, Ye. Ishchuk

The article is devoted to the field of application of the robotic complexes in the industrial greenhouses for the execution of the works connected to vegetables harvesting and the inspection of the plants' conditions. The multifunctional robot provides solving this problem, it is able to work autonomously on the extensive sector of harvesting – from the fruit's hauling off with help of the manipulator and recognition system to the organization of the transport operations for the movement of the boxes with vegetables. The main problems are formulated, which are linked with automation of the industrial greenhouses. The tasks of the robotization of the industrial greenhouse are formulated to solve the signified problems, the system is based on the agro-holding "Moscovsky". The structure of the multifunction robot is expounded, which represents two interrelate aggregates, each of them is realized on the individual platform. The general view of these models are provided, the contained modules are itemized. The elements of the construction used in the designing of these devices are shown. The structure of the control system of the multifunctional robot and the physical units used in the realization are expounded. The algorithm of the functioning of the multifunctional robot is described, in addition, the example of the algorithm of the movement of these robots in the industrial greenhouse is provided and the scheme, illustrating the order of the execution of all described actions, of the working algorithm is adduced. The overall results of the designing of the multifunctional robot for the industrial greenhouse are summarized, the variants of the application of these solution and the abilities for expanding the functional of this system are provided.

Keywords: agrorobot, control system, greenhouse, experimental sample.

References

1. Robotizirovannye sistemy v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Robotic systems in agricultural production]: scientific state-of-the-art review. – Moscow, Rosinformagrotekh, 2009. – 136 ps.
2. Sventitsky I.I. Ehnergosberezhenie v APK i ehnergeticheskaya ehkstremal'nost' samoorganizacii [Energy saving in agrarian and industrial complex and energy extremeness of self-organization]. Moscow, VIESH, 2007. – 366 ps.
3. Korolev V.A. Aspekty ehnergoehffektivnogo upravleniya processami v agrotekhnologicheskih sistemah [Aspects of energy efficient process management in agrotechnological systems], J. *Al'ternativnaya ehnergetika i ehkologiya* [Alternative power engineering and ecology]. 2013. No. 2. Part 1. P. 112-118.
4. http://strawberryplants.org - Strawberry Picking Robot
5. http://www.crops-robots.eu - Festo WP5
6. http://www.cmwhorticulture.co.uk/ - Spray Robot.
7. http://www.mosagro.ru/ - Moskovsky Agroholding.
8. Korolev V.A. Unifikaciya upravlenij v agrotekhnoogicheskih sistemah [Unification of managements in the agrotekhnoogicheskikh systems], J. *Nauchnye problemy transporta Dal'nego Vostoka i Sibiri* [Scientific problems of transport of the Far East and Siberia]. 2013. No. 2. P. 72-75.
9. Vorotnikov S.A. Informacionnye ustrojstva robototekhnicheskih sistem [Information devices of robotic systems]. Moscow, MSTU of N. E. Bauman, 2005.
10. Zenkevich S. L., Yushchenko A. S. Osnovy upravleniya manipulyacionnymi robotami [Bases of control of handling robots]. Moscow, MSTU of N. E. Bauman, 2005. – 480 ps.
11. Strebkov D. S., Nekrasov A. I. Rezonansnye metody peredachi i primeneniya ehlektricheskoj ehnergii [Resonant methods of electric power transmission and application]. Moscow, VIESH, 2008. – 352 ps.

Authors:

V. Korolev– Ph. D. (Engineering), assistant professor,
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia,
e-mail: vieshvk@yandex.ru
S. Vorotnikov– Ph. D. (Engineering), assistant professor,
e-mail: s_vorotnikov@mail.ru
V. Polskiy– Ph. D. (Engineering), assistant professor,
e-mail: polsky-slava@rambler.ru
Sh. Gemuev– student,
e-mail: shamilgemuev@mail.ru,
Ye. Ishchuk– student,
e-mail: ischukate@yandex.ru,
Moscow State technical university named N.E. Bauman, Moscow, Russia.

УДК 636:631.171:65.011.56

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖИВОТНЫХ В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ ИХ ПОВЕДЕНИЯ

А.М. Седов
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

В статье изложены методы обеспечения надежности автоматической дистанционной идентификации животных в нештатных ситуациях их поведения. В ВИЭСХ создана система автоматической дистанционной идентификации животных, которая входит в комплект компьютерной системы управления доением «Стимул» («КСУ «Стимул») (исполнение 03). Обеспечение высокой надежности идентификации осуществляется конструкцией отдельных элементов системы, а также программными средствами, разработанными в среде SM Logic Master SCADA с учетом возможных нештатных ситуаций поведения животных. Программными средствами и приемами в среде Master SCADA исключена возможность повторного считывания номера животного при неоднократном его входе-выходе относительно зоны действия антенны считывателя. Место установки антенны, считывателей выбрано из условия невозможности двойной идентификации животного. Вариант крепления контейнера транспондера на ошейнике практически исключает его механическое повреждение и потерю. При прохождении животных на доильную установку мимо антенн их индивидуальные коды считываются и вместе с другими индивидуальными данными (надой, время доения, интенсивность молоковыведения и т.д.) передаются в компьютер посредством специализированного OPC-сервера и сохраняются в виде протокола дойки. При необходимости разработанной программой в среде Master SCADA обеспечивается получение в реальном режиме времени и хранение графиков молокоотдачи. Система автоматической дистанционной идентификации животных в составе компьютерной системы управления доением «Стимул» (исполнение 03) прошла широкую производственную проверку при эксплуатации доильных залов «Елочка» в хозяйствах Ярославской области, республик Мордовия и Татария и получила высокую оценку специалистов.

Ключевые слова: *автоматическая идентификация животных, транспондер, электронная бирка, антенна, ридер (считыватель), алгоритм, программа.*

Введение. Под дистанционной идентификацией понимают распознавание объекта без непосредственного контакта с ним по специальным индивидуальным признакам, как правило, специально организованным для объекта.

В качестве специально приданных признаков для идентификации животных в мировой практике успешно применяются электронные бирки с радиочастотным считыванием (RFID) – транспондеры. Это пассивные элементы. Они не имеют собственного источника питания, могут считываться на значительных расстояниях с помощью специальных считывателей (ридеров) и широко применяются в информационных технологиях самых разных сфер деятельности, например на транспорте [1].

Базовый принцип работы RFID-систем следующий. Антенна считывателя излучает переменное электромагнитное поле, которое создает в антенне транспондера ток, достаточный для питания подключенного к ней микрочипа. Чип выдает ответный программируемый сигнал (последовательность кодируемых импульсов), который улавливается антенной ридера, декодируется и передается в компьютер.

В сельскохозяйственном производстве системы автоматической идентификации используются в системах компьютерного управления стадом всех известных зарубежных фирм: DeLaval Швеция), WestfaliaSurge (Германия), Афиким (Израиль), Boumatic (США), Milkline (Италия), Fullwud (Англия) и т.д. [2].

Разработанная в ВИЭСХ отечественная система автоматической дистанционной идентификации животных (СИЖ) [1] входит в состав информационного модуля компьютерной системы управления доением «Стимул» (КСУ «Стимул») [3]. СИЖ обеспечивает автоматическую дистанционную идентификацию животных на входах доильных установок, индивидуальных автоматических станциях нормированного кормления, а также в стационарных пунктах взвешивания и разделения коров.

На первом этапе проведенные нами исследования позволили сформулировать основные требования к автоматической системе дистанционной идентификации животных:

- идентификации должна осуществляться без фиксации животных;
- идентификация должна быть обеспечена при всех реальных скоростях движения животных;
- идентификация должна быть стабильной в зоне радиусом до 1200 мм;
- ЭБ (электронная бирка) или СИЖ должна обеспечивать до1000 (в отдельных случаях до 16000) комбинаций кодирования номеров;
- функционирование системы должно быть устойчивым во всех условиях ее применения в животноводческих помещениях, включая возможные воздействия, исходящие от других потребителей электроэнергии;
- должны соблюдаться требования органов связи страны об эксплуатации радиотехнических систем.

С учетом изложенных технических требований была разработана структурная схема системы идентификации животных на доильной установке «Елочка» (рис. 1).

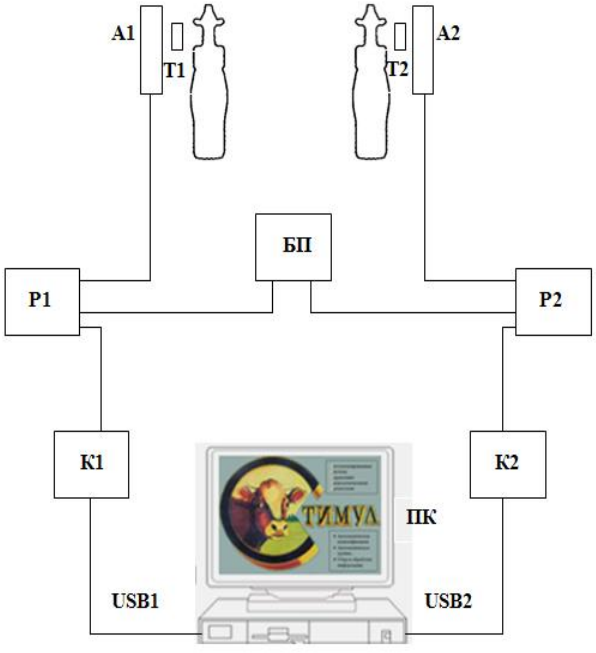


Рис. 1. Структурная схема системы автоматической дистанционной идентификации животных: Т1, Т2 – транспондеры; А1, А2 – антенна считывателя (ридер); Р1, Р2 – ридеры; БП – блок питания 12 В; К1, К2 – конверторы RS 485/USB; ПК – персональный компьютер (АРМ зоотехника)

Каждое животное носит на шее ремень с электронной биркой, представляющей собой герметично упакованную бесконтактную электронную пластиковую карту (БК), помещенную в пластмассовый корпус, обеспечивающий сохранность карты от повреждений (рис. 2).

Способ крепления бирки на ошейнике обеспечивает ее ориентацию вдоль направления движения животного.

Идентификация осуществляется путем считывания индивидуального номера БК и передачи его на управляющий компьютер в программный комплекс «Master SCADA», выполняющий информационную функцию в КСУ «Стимул» [3].

В состав системы входят: транспондеры Т1 и Т2 (по числу животных), 2 антенны (А1 и А2), установленные на каждом входе доильной установки и соединенные соответственно с двумя ридерами (Р1 и Р2), к которым подключены блок питания (БП) и конверторы AS485/USB (К1 и К2), связанные с компьютером, программное обеспечение.

Основные параметры ридера (считывателя)

Рабочая частота, КГц	125
Интерфейс связи с сервером	RS485
Напряжение питания, В	12±5%
Ток потребления, мА	750
Диапазон рабочих температур, °С	–15…+40
Расстояние считывания бирки не менее, мм	1000
Время распознавания не более, с	0,2

Рис. 2. Крепление электронной бирки на ошейнике трансподера

Рис. 3. Место установки антенны ридеров (считывателей)

Рис. 4. Вариант крепления контейнера БК на ошейнике коровы

Краткое описание алгоритма программы идентификации.

Программа установлена на управляющем компьютере и выполняет следующие функции:

- включает ридер;
- идентифицирует бесконтактную бирку, находящуюся в поле ридера;
- читает данные, записанные в карте, исключая повторное считывание;
- передает десятизначный десятичный номер БК в комплекс «Master SCADA».

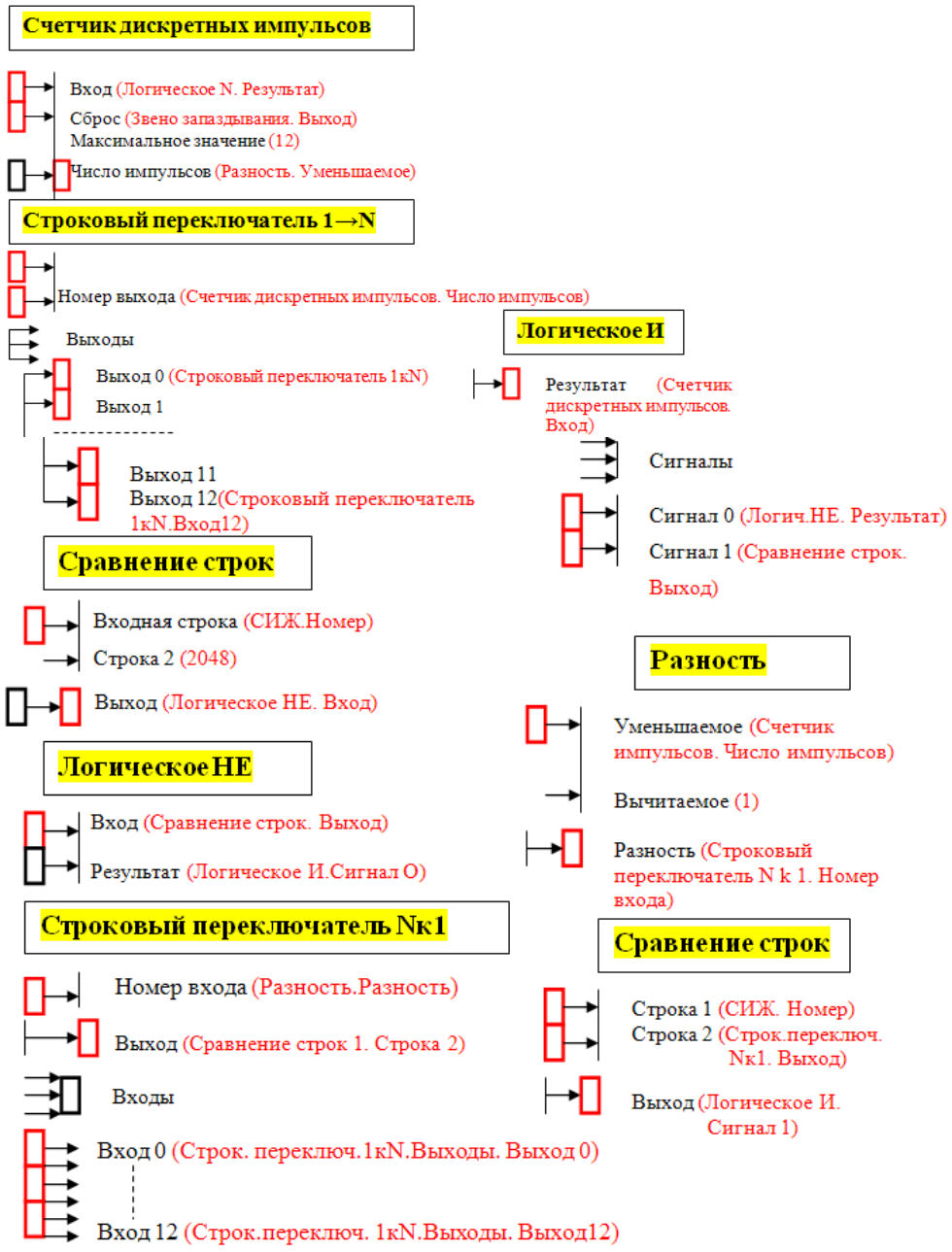


Рис. 5. Программа системы идентификации, обеспечивающая исключение повторных регистраций при заполнении животными группового доильного станка

Каждый из поставляемых считывателей, входящих в состав подсистемы идентификации коров, содержит в своей памяти индивидуальный номер – идентификатор считывателя и считывается по запросу системы.

Основные методы обеспечения надежности идентификации животных в нештатных ситуациях их поведения. Технология идентификации животных на доильной установке «Елочка» предопределяет жесткие требования к системе и ее элементам.

Надежность распознавания должна быть 100%, так как даже одна ошибка приводит к недостоверным данным доения внутри партии животных (на доильной установке «Елочка» 2×12 – это до 12 недостоверных результатов).

Обеспечение высокой надежности идентификации осуществляется конструкцией отдельных элементов доильной установки, технологическими приемами, а также программными средствами.

Конструктивно место установки антенны считывателей выбрано из условия невозможности

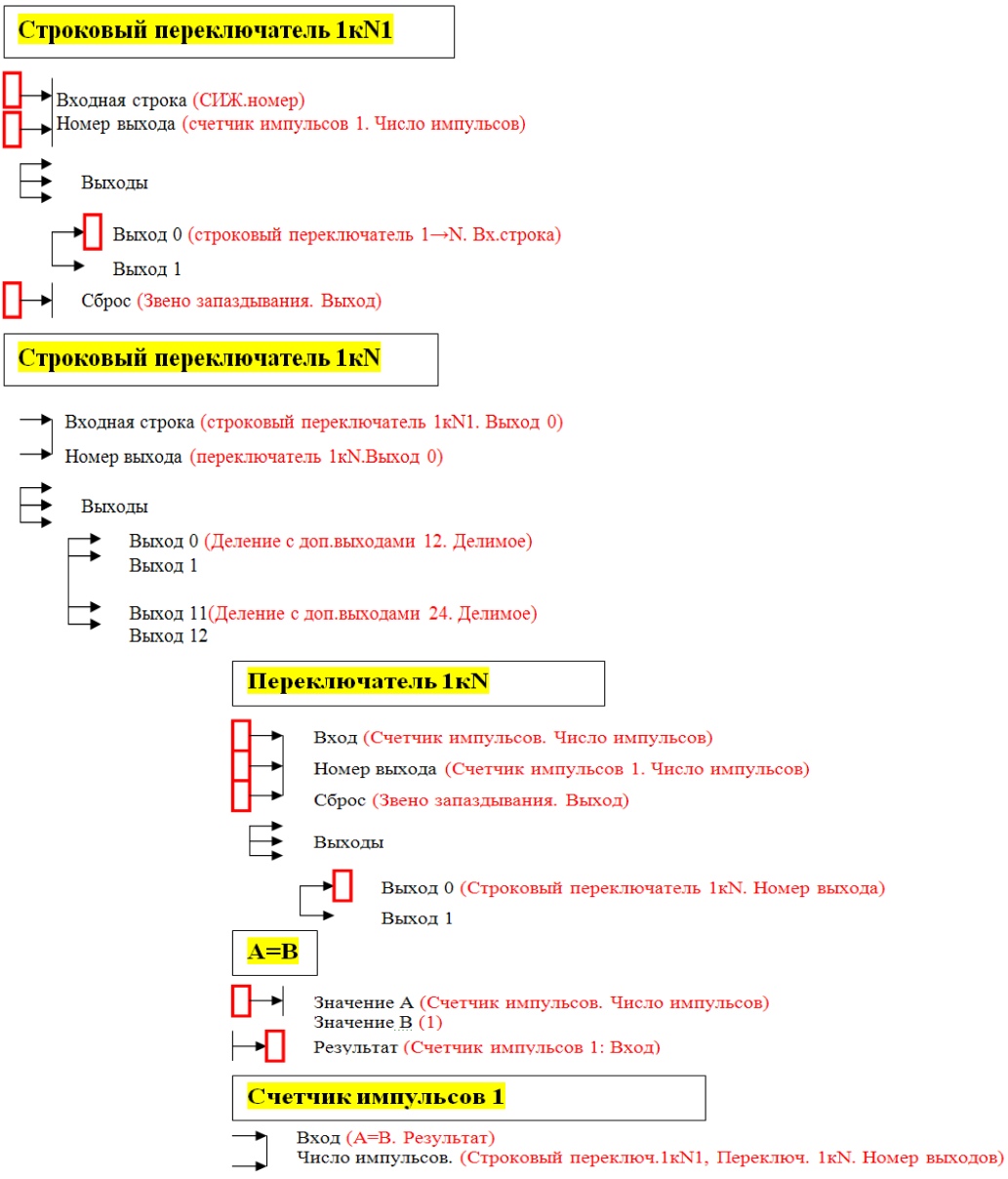


Рис. 6. Программа системы идентификации, обеспечивающая исключение повторных регистраций последних животных каждой заполненной группы, находящихся в зоне чувствительности антенны

выхода идентифицированного животного обратно (рис. 3).

Выбранный вариант крепления контейнера БК на ошейнике (рис. 4) практически исключает его механическое повреждение и потерю.

Программными средствами и приемами исключена возможность повторного считывания номера животного.

В ходе эксплуатации опытного образца доильной установки «Елочка» (исполнение 03) с компьютеризованной системой управления процессом доения выявилась целесообразность корректировки алгоритма и программы функционирования системы идентификации животных, обусловленная следующими нештатными ситуациями:

а) при заполнении группового доильного станка отдельные животные могут входить в зону взаимодействия электронной бирки с антенной и выходить из зоны обратно (дергаться), предопределяя повторное считывание их номеров;

б) после заполнения групповых станков последнее животное, а также любые другие из следующей группы также находятся в зоне взаимодействия их электронных бирок с антеннами левой и правой сторон доильной установки. При этом их движение также приводит к их неоднократной регистрации.

Разработанные корректирующие программы (рис. 5 и 6) позволили обеспечить функционирование системы идентификации без реакции на эти нештатные ситуации.

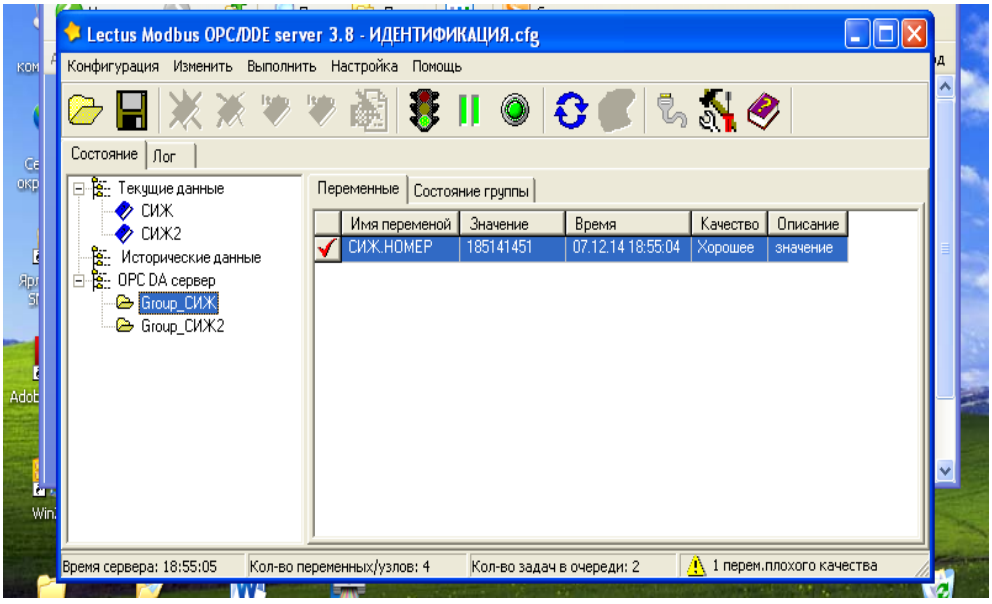


Рис. 7. Фрагмент программы передачи данных идентификации в компьютер

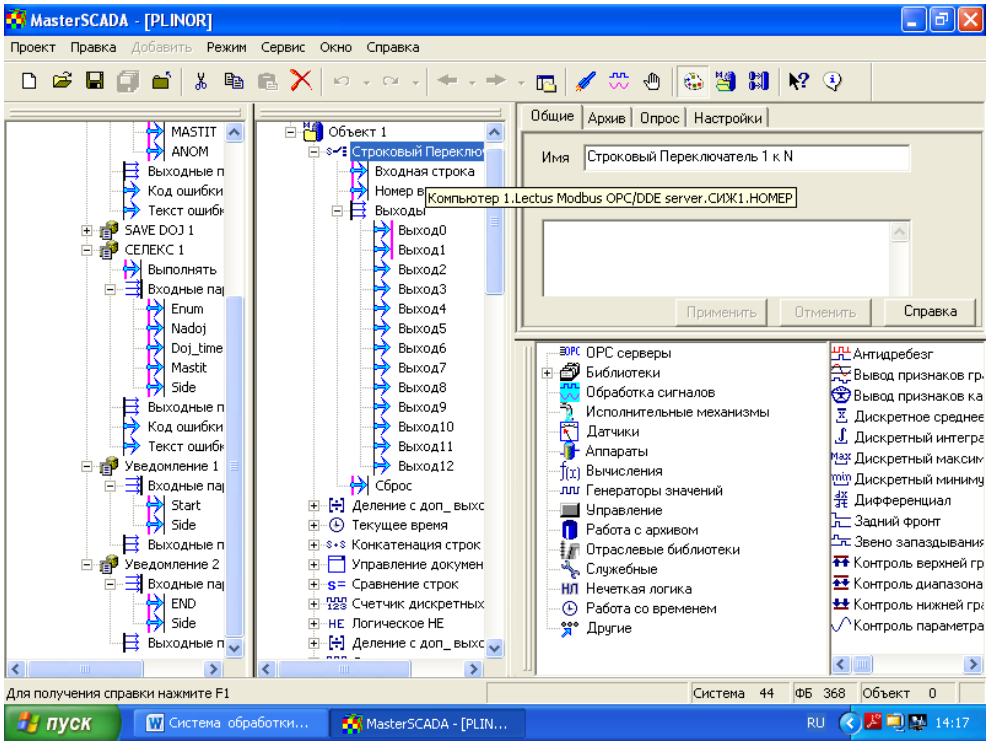


Рис. 8. Фрагмент программы закрепления идентифицированных животных за номерным доильным станком и соответствующим блоком управления

При прохождении животных на доильную установку их индивидуальные коды считываются и с помощью ридеров и конверторов передаются в компьютер (рис. 7) и блоки управления доением. При этом программно осуществляется закрепление животных за доильными станками, в которых они находятся (рис. 8).

Данные идентификации животных вместе с другими индивидуальными данными (надой, время доения, интенсивность молоковыведения и т.д.) сохраняются в компьютере в виде протокола дойки [2, 4]. При необходимости программой обеспечивается получение в реальном режиме времени индивидуальных графиков молокоотдачи.

Выводы и результаты исследований

В ВИЭСХе создана система автоматической дистанционной идентификации животных, входящая в комплект компьютерной системы управления доением «Стимул» («КСУ «Стимул») (исполнение 03).

Обеспечение высокой надежности идентификации осуществляется конструкцией отдельных элементов системы, а также программными средствами, разработанными в среде SM Logic Master SCADA с учетом возможных нештатных ситуаций поведения животных.

Программными средствами и приемами в среде Master SCADA исключена возможность повторного считывания номера животного при неоднократном его входе-выходе относительно зоны действия антенны считывателя.

Место установки антенны, считывателей выбрано из условия невозможности двойного идентифицирования животного.

Вариант крепления контейнера транспондера на ошейнике практически исключает его механическое повреждение и потерю.

При прохождении животных на доильную установку мимо антенн их индивидуальные коды считываются и вместе с другими индивидуальными данными (надой, время доения, интенсивность молоковыведения и т.д.) передаются в компьютер посредством специализированного OPC-сервера и сохраняются в виде протокола дойки. При необходимости разработанной программой в среде Master SCADA обеспечивается получение в реальном режиме времени графиков молокоотдачи и их хранение.

Система автоматической дистанционной идентификации животных в составе компьютерной системы управления доением «Стимул» (исполнение 03) получила широкую производственную проверку при эксплуатации доильных залов «Елочка» в хозяйствах Ярославской области, республик Мордовия и Татария и получила высокую оценку специалистов.

Литература

1. *Горев А.Э.* Информационные технологии на транспорте. М.: Юрайт, 2016.
2. *Седов А.М.* Разработка корректирующих алгоритмов и программ функционирования системы автоматической идентификации животных // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докладов XI Междунар. науч.-практ. конф. (14-15 сентября 2010 г., г. Углич). М.: ВИМ, 2010. – Ч. 1.
3. *Седов А.М.* Методология совершенствования компьютерной системы управления доением «Стимул» // Вестник ВИЭСХ. – 2014. – Вып. 2(15). – С. 30-36.
4. *Седов А.М.* Особенности методологии создания и внедрения мехатронных и компьютерных систем управления в молочном животноводстве // Вестник ВИЭСХ. 2015. Вып. 1(18). С. 41-49. Электронный ресурс: http://elibrary.ru/item.asp?id= 23098958; http://agris.fao org/agris-seach/seach.do? record iD=RU 2015000775.
5. *Седов А.М.* Программируемый автомат управления процессом доения на доильной установке «Елочка» // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – Вып. 3(20). – С. 73-78. Электронный ресурс: http://elibrary.ru/ item.asp?id=24305171

Сведения об авторе:

Седов Алексей Михайлович – канд. техн. наук, ФГБНУ ВИЭСХ, г. Москва, Россия,
e-mail: almihsedov@mail.ru

RELIABLE AUTOMATIC REMOTE IDENTIFICATION OF ANIMALS IN ABNORMAL SITUATIONS OF THEIR BEHAVIOUR

A. Sedov

The methods of ensuring reliability of automatic remote identification of animals in emergency situations of their behavior are considered in the article. The system of automatic remote identification of animals is created in VIESH, it is included in the package of a computer control system for milking "Stimulus" ("SIC "Stimulus") (version 03). Ensuring high reliability of identification is carried out by design of the system components, as well as software developed in the medium SM Logic Master SCADA subject to possible emergency situations of animal behavior. Software tools and techniques in the environment of Master SCADA exclude a possibility of repeated reading of number of an animal in case of his numerous entrance exit concerning the action area of the antenna of the reader. Installation location of the antenna, readers selected from the condition of inability to exit back to the identified animal. The selected option - mounting the transponder on the collar on the container virtually eliminates mechanical damage and loss.

With the passage of animals on the milking mashine by the antennas, their individual codes are read and

transferred to the computer and milking control units. These animal identification together with other individual data (milking time, intensity of lactation, etc.) are transferred to a computer via a dedicated OPC-Server and stored as milking protocol. If necesarry, the programm provides the real-time storage of milk and their schedules.

Keywords: automatic identification of animals, transporder, antenna, reader, software tools

References

1. Gorev A.E. Informacionnye tekhnologii na transporte [Information technologies on transport]. Moscow, Yurayt, 2016.
2. Sedov A.M. Razrabotka korrektiruyushchih algoritmov i programm funkcionirovaniya sistemy avtomaticheskoj identifikacii zhivotnyh [Development of the adjusting algorithms and programs of functioning of system of automatic identification of animals], Automation and information support of production processes in agricultural industry: Collection of reports of the XI International scientific and practical conference (September 14-15, 2010, Uglich). Part 1. Moscow, VIM, 2010.
3. Sedov A.M. Metodologiya sovershenstvova-niya komp'yuternoj sistemy upravleniya doeniem «Stimul» [Metodologiya's sets of enhancement of a computer control system for milking "Stimulus"], J. *Vestnik VIESH.* 2014. No. 2(15). P. 30-36.
4. Sedov A.M. Features of methodology of creation and implementation the mekhatron-nykh and computer control systems in dairy livestock production [Osobennosti metodologii sozdaniya i vnedreniya mekhatronnyh i komp'yuternyh sistem upravleniya v molochnom zhivotnovodstve], *Vestnik VIESH.* 2015. No. 1(18). P. 41-49. Electronic resources: http://elibrary.ru/item.asp?id=23098958; http://agris.fao org/agris-seach/seach.do? record iD=RU 2015000775.
5. Sedov A.M. Programmiruemyj avtomat upravleniya processom doeniya na doil'noj ustanovke «Elochka» [The programmable automatic machine of management of process of milking on the milking machine «Elochka»], J. *Vestnik VIESH*. 2015. No. 3(20). P. 73-78. Electronic resource: http://elibrary.ru /item.asp?id=24305171

Author:

A. Sedov – Ph. D (Enginering),
e-mail: almihsedov@mail.ru,
All-Russian Scientific-Reseach Institute for Electrification of Agricalture, Moscow, Russia

УДК 621.383

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНОГО МОДУЛЯ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

В.А. Майоров, Л.Д. Сагинов, С.Н. Трушевский, А.Т. Беленов
Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ), г. Москва, Россия

Рассмотрены новые фотоэлектрические модули, включающие фотоприемники и концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую и электрическую. Проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчета конструкции теплофотоэлектрического модуля с заданными энергетическими параметрами с использованием законов геометрической оптики, а также тепло- и массообмена. При использовании подобных модулей, в основе которых находится параболоидный концентратор с фотоприемником с системой протока теплоносителя, возможно создание когенерационных установок для выработки электричества и теплоты. Разработанные по такой методике макетные образцы исследуются на соответствующих стендах и испытываются в натурных условиях. Солнечный модуль с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором с линейчатым трапециевидным фотоприемником концентрированного излучения с системой протока теплоносителя обеспечивает максимальную мощность 386 Вт при температуре 40 °С и КПД 60 *%, соответственно, 319 Вт при 60 °С и 49 %.*

Ключевые слова: *солнечный коллектор, солнечный модуль, полу-параболоцилиндрический концентратор, клиновидный линейный приемник, теплоноситель, солнечная радиация, число Нуссельта, длины гидродинамической и термодинамической стабилизации начальных участков теплового потока.*

Разработка и создание тепловых модулей в настоящее время является одним из направлений развития солнечной энергетики. Целью этих работ является повышение эффективности преобразования солнечной энергии за счет снижения потерь поступающей солнечной энергии и, в конечном счете, снижения себестоимости получаемой энергии.

В статье рассмотрены новые тепловые модули, включающие фотоприемники и концентраторы, обеспечивающие эффективное преобразование солнечной энергии в тепловую.

Было проведено математическое моделирование для создания алгоритма расчета конструкции теплового модуля с заданными энергетическими параметрами. Также проведены расчет и сравнительный анализ влияния условий эксплуатации модулей с концентраторами солнечного излучения и утилизацией теплоты, расчет оптико-энергетических параметров солнечного модуля с линейчатым клиновидным фотоприемником в составе с параболоциндрическим концентратором. Предложена математическая модель расчета теплового модуля с параболоцилиндрическими концентраторами солнечного излучения и сравнительный анализ влияния условий эксплуатации модулей, охлаждаемых с утилизацией теплоты.

Эффективность установки определяется увеличением температуры нагрева и расхода теплоносителя от концентрированного солнечного излучения и конструктивными параметрами разработанного модуля.

Разработан, изготовлен и испытан на созданном стенде образец теплового модуля размерами 66×70×30 см и геометрической концентрацией 10 крат.

В результате исследований были созданы математические модели расчета и анализа влияния условий эксплуатации тепловых модулей, содержащих параболоцилиндрический концентратор солнечного излучения, фотоприемник клинообразного профиля с системой утилизации теплоты. На разработанном стенде проведены натурные исследования теплоэнергетических характеристик теплового модуля с параболоцилиндрическим концентратором и линейчатым клинообразным фотоприемником.

Был исследован теплоэнергетический режим модуля (рис. 1) с параболоцилиндрическим концентратором, обеспечивающий нагрев теплоносителя при концентрации ~10 крат,

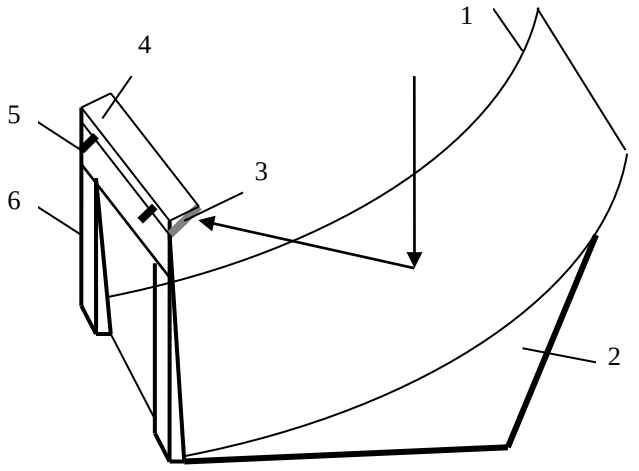


Рис. 1. Схема конструкции фотоэлектрического модуля с параболоцилиндрическим концентратором:
1 - концентратор; 2 - стойки крепления концентратора; 3 - линейчатый фотоэлектрический приемник с солнечными элементами; 4 - устройство протока теплоносителя; 5 - штуцера для входа и выхода теплоносителя; 6 - опорные стойки фотоприемника

с фотоприемником с системой охлаждения клиновидного поперечного сечения (со штуцерами для входа и выхода теплоносителя), охлаждение принудительное – протоком теплоносителя через канал фотоприемника, и естественное – теплообменом с окружающей средой.

В расчетной модели учитывались ***параметры модуля и внешней среды***.

Параболоцилиндрический концентратор с площадью апертуры $F_{ап} = 0{,}66 \times 0{,}7 = 0{,}462$ м^2. Приемник концентрированного излучения: поперечное сечение – клиновидное с периметром $П = (60 + 80 + 10)10^{-3} = 0{,}15$ м, длиной $L = 0{,}7$ м; общая площадь $F = ПL = 0{,}105$ м^2, в том числе: площадь приемной поверхности $F_{пп} = 0{,}06 \times 0{,}7 = 0{,}042$ м^2. Геометрическая концентрация $К_{геом} = F_{ап}/F_{пп}$.

Оптический КПД $\eta_{опт}$, прямая солнечная радиация E_c, Вт/м^2, температура среды t_a, °С; скорость ветра $V_в$, м/с, задаются в соответствии с натурными условиями и экспериментальными данными.

Расчеты проводились в соответствии с системой уравнений [1].

$$Q_{пп} = \eta_{опт} E_c F_{пп} К_{геом},$$

$$Q_{конв} = \acute{\alpha}(t_c - t_a)F, \; \alpha = 5{,}7 + 3{,}8\,V,$$

$$Q_{рад} = \varepsilon\sigma[(T_c/100)^4 - (T_a/100)^4]F_{пп},$$

$$Q = Q_{пп} - Q_{конв} - Q_{рад}, \; m = Q/c_p(t_{вых} - t_{вх}),$$

$$W = m/\gamma F_{пс}, \; Re = wd_{экв}/\nu,$$

$$\alpha_ж = Nu\,\lambda_ж/d_{экв}, \; Q_в = \alpha_ж(t_c - t_ж)F,$$

где учитывались поглощенный приемником поток $Q_{пп} = \eta_{опт} E_c F_{пп} К_{геом}$.; теплопотери в окружающую среду: *конвективные* $Q_{конв} = \acute{\alpha}(t_c - t_a)F$, где α – коэффициент теплоотдачи, определяемый по формуле Мак-Адамса $\alpha = 5{,}7 + 3{,}8\,V$, t_c – средняя температура стенки приемника; *радиационные* $Q_{рад} = \varepsilon\sigma(T_c^4 - T_a^4)F$, где ε – степень черноты стенки, σ – постоянная Стефана-Больцмана, Т – абсолютная температура.

Энергия нагрева теплоносителя

$$Q_н = Q_{пп} - Q_{конв} - Q_{рад}.$$

Режим течения теплоносителя в канале приемника:

$$Re = wd_{экв}/\nu,$$

где $d_{экв} = 4F_{пс}/П$ – эквивалентный диаметр поперечного сечения приемника, ν – коэффициент кинематической вязкости воды.

Полученное в результате расчетов значение числа Рейнольдса Re = 50-80 свидетельствует о том, что режим течения воды в приемнике – ламинарный. В соответствии с [1] число Нуссельта для треугольной формы сечения приемника при $L/d_{экв} > 50\text{-}60$, $t_c = const$ и $Q_н = const$, что соответствует условиям решаемой задачи, составляет 2,1.

Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде

$$\alpha_ж = Nu\,\lambda_ж/d_{экв},$$

где $\lambda_ж$ – коэффициент теплопроводности воды.

Тепловой поток, отводимый водой,

$$Q = \alpha_{ж}(t_c - t_{ж})F.$$

Определялась погрешность баланса тепловых потоков и рассчитывался следующий шаг итерации до приемлемой погрешности (в пределах 10 %).

Входные параметры могут меняться. Массовый расход воды

$$m = Q/c_p(t_{вых} - t_{вх}),$$

где c_p – удельная теплоемкость, $t_{вых}$, $t_{вх}$ – температура воды на выходе и входе в приемник.

Скорость потока воды

$$V = m/\gamma F_{пс},$$

где γ – плотность воды; $F_{пс}$ – площадь поперечного сечения приемника, определяемая как площадь треугольника с основанием 60 и высотой 10 мм.

Тепловой КПИ модуля (коэффициент полезного использования мощности солнечного излучения)

$$\eta_т = Q/E_c F_{пп}.$$

Полученные результаты расчетов показывают (рис. 5), что при E_c=750 Вт/м^2, температуре среды t_a =20 ^{o}C, $V_в$=3 м/с и $\eta_{опт}$= 0,65 вода на выходе нагревается в пределах 30-70 ^{o}C, температура воды на входе 15 ^{o}C, соответственно тепловые характеристики: мощности теплового потока 165-245 Вт и теплового КПИ 45-65 % при расходе воды в пределах 3-35 л/час.

На основании приведенных расчетов в зависимости от натурных условий – мощности солнечного излучения, скорости ветра, температуры среды; конструктивных параметров модуля – размеров концентратора и фотоприемника, оптического КПД, расхода теплоносителя (воды), определялись выходные тепловые параметры и эффективность работы модуля в целом.

На стенде в ФГБНУ ВИЭСХ проведены натурные испытания солнечного модуля с целью исследования зависимости энергетических характеристик от концентрированного солнечного излучения.

1. *Предмет исследований:* солнечная теплогенерирующая установка (на базе экспериментального стенда), состоящая из параболоцилиндрического концентратора с равномерной освещенностью активной плоскости приемника излучения треугольного профиля, расположенной в области фокальной полосы концентратора. Установка оборудована системой слежения за видимым положением Солнца с питанием от сети 12 В. Через систему утилизации теплоты приемника концентрированного солнечного излучения непрерывно пропускается водопроводная вода. Схема солнечного теплогенерирующего модуля на рис. 1.

На рис. 2 и 3 представлены размещение исследуемого солнечного теплогенерирующего модуля на стенде и сама установка в процессе проведения экспериментов.

Рис. 2. Солнечный теплогенерирующий модуль на стенде

Рис. 3. Модуль в процессе проведения эксперимента

Солнечный тепловой модуль состоит из концентратора с размером миделя $R_{мах}$= 660 мм, длиной 700 мм, высотой 300 мм, выполненного из алюминиевого листа толщиной 0,3 мм (с зеркально отражающей внутренней поверхностью), закреплен ребрами жесткости в прорезях крепежных стоек модуля, обеспечивает равномерную концентрацию лучей на линейчатом фотоприем-

нике модуля. Рабочая часть фотоприемника шириной 70 мм, длиной 700 мм зачернена матовой черной краской с коэффициентом поглощения солнечного излучения ε = 0,95. Устройство протока теплоносителя выполнено в виде трубопровода с треугольным профилем со штуцерами для входа и выхода теплоносителя и закрепленного на крепежных стойках модуля. Средняя концентрация с достаточно равномерным распределением освещенности на поверхности фотоприемника модуля составляет К~10 крат.

На вход устройства протока теплоносителя фотоприемника подавалась проточная вода. На выходе устройства протока теплоносителя фотоприемника установлен регулятор расхода воды (нагретой концентрированным солнечным излучением). Температура на входе и выходе контролировалась соответствующими термометрами.

Цель исследований: Измерение параметров теплоэнергетических характеристик приемника излучения в естественных условиях облучения и при нахождении приемника треугольного профиля в пределах фокальной полосы параболоцилиндрического концентратора при реальных условиях солнечной радиации и температуры окружающей среды, но при разных условиях интенсивности водяного потока через устройство для протока жидкого теплоносителя (воды) приемника. Оценка пространственного распределения освещенности в фокальной полосе концентратора. Мониторинг теплового состояния пропускаемой жидкости, ее расхода, температуры воды на входе и выходе из приемника, температуры на активной и пассивной поверхностях приемника, а также расчет КПД преобразования солнечной энергии в теплоту по разности температур жидкого теплоносителя на входе в приемник и выходе из него и по объему прокачиваемой воды.

Условия проведения исследований:

- непрерывный пропуск водопроводной воды через устройство для протока жидкого теплоносителя (воды);

- периодическое дискретное изменение расхода пропускаемой воды через корпус приемника;

- измерение расхода проходящей воды с контролем температуры воды на входе и выходе из системы, температуры окружающего воздуха в тени, температуры корпуса приемника в период установившегося режима после очередного изменения расхода воды;

- регулярное измерение прямой солнечной радиации, приходящей на плоскость миделя концентратора (при расположении приемника в области фокальной полосы концентратора).

Измерительное оборудование, используемое при исследованиях:

- счетчик холодной воды типа БЕРЕГУН 07-172844-АА;

- секундомер механический;

- пиранометр М-80 с тубусом для измерения прямой радиации и гальванометром ГСА-1МБ;

- термометр ртутный 0…+60^{o}С (для измерения температуры воды и окружающего воздуха).

- термоэлектрический электронный термометр с контактным датчиком температуры, позволяющий регистрировать показания в заданные моменты времени;

- пираметр Питон–5, позволяющий измерять температуру активной и пассивной поверхностей корпуса приемника дистанционно;

- линейка металлическая для измерения линейных размеров концентратора, его миделя и фокусного расстояния.

Методика выполнения работ:

- температуру окружающего воздуха и воды на входе и выходе из устройства для протока жидкого теплоносителя (воды), а также расход охлаждающей воды измеряют в период возникновения установившегося режима после очередного дискретного изменения расхода воды;

- температуру активной поверхности приемника измеряют после предыдущих измерений в начале, середине и конце приемника (начиная от ввода холодной воды);

- запись показаний интенсивности прямого солнечного излучения производится постоянно в течение всего эксперимента с интервалом 30-180 с.

Результаты исследований

В таблице 1 приведены параметры температуры нагрева воды в зависимости от ее расхода при натурных испытаниях на стенде разработанного и изготовленного солнечного теплового модуля.

Используемые обозначения: m_B – масса пропускаемой воды в секунду; $T_{возд}$ – температура воздуха; E_c – освещенность, показываемая пиранометром (м В); E^*_c – освещенность, показываемая пиранометром (Вт/м^2); E^{**}_c – освещенность концентратора (Вт); $T_{жвх}$ – температура воды на входе устройства для протока жидкого теплоносителя; $T_{жвых}$ – температура воды на выходе устройства для протока жидкого теплоносителя; $\Delta T_{жэт}$ – температура нагрева воды солнечным модулем; $m_{эv}$ – масса нагретой воды; t – время нагрева воды массой $m_{эv}$; $m^*_э$ – расход нагретой воды (г/сек); m^*_v – расход нагретой воды (кг/час).

Таблица 1

Параметры температуры нагрева воды в зависимости от ее расхода при натурных испытаниях ($T_{возд}$ = 20 °C)

Солнечная освещенность, E_c, Вт/м^2	Температура воды на входе, $T_{жвх}$, °C	Температура воды на выходе, $T_{жвых}$, °C	Расход, $\nu_э$, мл/с
732	18,8	52	1,63
745	18,1	54	1,43
770	22,0	58	1,11
738	20,9	54	1,00
770	21,4	41	2,50
746	21,0	35	3,85
746	20,1	49	1,43
778	20,8	43	1,75

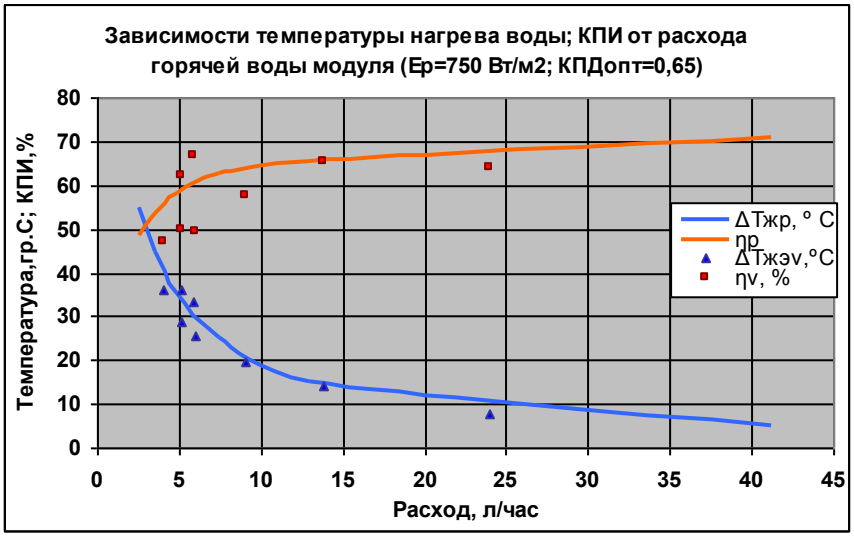


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные зависимости температуры нагрева воды ΔT (нижний график) и теплового КПИ (верхний график) от расхода нагретой воды (точками обозначены экспериментальные данные)

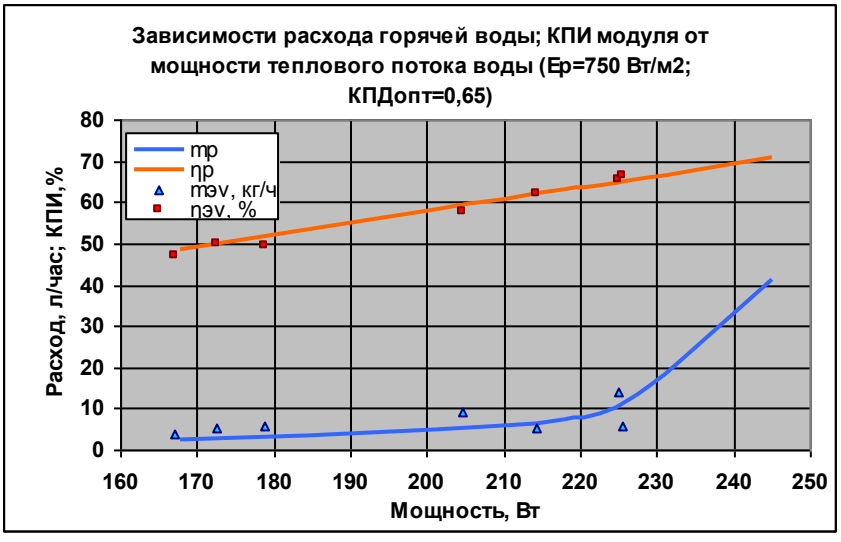


Рис. 5. Расчетные и экспериментальные зависимости теплового КПИ (верхний график) и расхода нагретой воды (нижний график) от мощности теплового потока воды при средней освещенности E_c = 750 Вт/м^2, оптическом КПД $\eta_{опт}$ = 0,65, температуре воздуха ~ 20°C, скорости ветра 2-3 м/сек

Распределение освещенности в фокальной области измерялось эталонным высоковольтным фотопреобразователем 1×6 см по всей ширине и длине. Замеры проводились со стороны активной поверхности приемника. Средняя концентрация освещенности по ширине и длине фокальной области составила 10 Х.

На рис. 4 приведены расчетные и экспериментальные зависимости температуры нагрева воды $\Delta T=T_{вых},-T_{вх}$ (на выходе и входе устройства протока теплоносителя фотоприемника) и теплового КПИ от расхода нагретой воды.

На рис. 5 приведены расчетные и экспериментальные зависимости расхода нагретой воды, теплового КПИ от мощности теплового потока воды.

Из приведенных графиков и таблицы видно, что температура нагрева воды в тепловом солнечном модуле концентрированного излучения с рабочей площадью 0,46 м^2 повышается (с 35 до 58 ºС), а тепловой КПИ снижается (с 65 до 45 %) с уменьшением расхода воды (с 24 до 4 л/час).

Производительность современных солнечных коллекторов в средней полосе Европы в летний период может достигать 50-60 литров нагретой до 50-70 ºС с 1 м^2 в день. КПИ солнечного коллектора достигает 70 % при уменьшении температуры нагрева воды [2, 3].

Натурные исследования показали, что производительность разработанного и изготовленного теплового модуля концентрированного излучения достигает 70 литров нагретой воды до температуры ~ 60 ºС с 1 м^2 за 8 часов работы в день с КПИ в пределах 65 – 45 %, который можно использовать в качестве солнечного коллектора.

На основании приведенных расчетов в зависимости от натурных условий: мощности солнечного излучения, скорости ветра, температуры среды; конструктивных параметров модуля – размеров концентратора и фотоприемника, оптического КПД, применяемых материалов, расхода теплоносителя (воды), можно прогнозировать выходные параметры тепловые и эффективность работы модуля в целом, в том числе и сравнительные характеристики выработки энергии солнечных батарей различных типов [4].

Выводы

Разработанные математические модели расчета оптико-энергетических параметров солнечных модулей с асимметричным параболоцилиндрическим концентратором и фотоприемником адекватно отражают реальные параметры функционирования изготовленных солнечных модулей СБ.

Проведенные натурные испытания солнечного модуля подтвердили соответствие расчетным техническим параметрам: температура нагрева воды в тепловом солнечном модуле концентрированного излучения с рабочей площадью 0,46 м^2 повышается (с 35 до 58 ºС), а тепловой КПИ снижается (с 65 до 45 %) с уменьшением расхода воды (с 24 до 4 л/час), при освещенности 750 Вт/м^2. При этом показано, что производительность разработанного и изготовленного теплового модуля концентрированного излучения достигает 70 литров нагретой воды до температуры ~ 60ºС с 1 м2 за 8 часов работы в день с КПИ в пределах 65 – 45 %, который можно использовать в качестве солнечного коллектора.

Выработка тепловой энергии модуля увеличится пропорционально увеличению оптического КПД модуля за счет технологического усовершенствования конструкции концентратора до $\eta_{опт}$=0,8 в режиме слежения за Солнцем, что приведет к снижению себестоимости вырабатываемой энергии.

Литература

1. *Григорьев В.А., Зорин В.М.* Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. М.: Энергоиздат, 1982. – С. 165, 168.
2. Солнечные коллекторы и их энергетические характеристики [Электронный ресурс]: http://msd.com.ua/solnechnaya-energetika.
3. PV-T Collector Development: Providing a structure beyond the collector. [Электронный ресурс] http://www.ises.org/index.php?id=246 // Дата обращения: 10.12.2014 г.
4. *Майоров В.А.* Расчет и анализ энергетических характеристик солнечных батарей различных типов// Вестник ГНУ ВИЭСХ. – 2008. – Выпуск №1(3). – С. 96-100.

Сведения об авторах:

Майоров Владимир Александрович – канд. техн. наук,

Сагинов Леонид Дмитриевич – канд. физ.-мат. наук,

Трушевский Станислав Николаевич – канд. техн. наук,

e-mail: tsn37@mail.ru,

Беленов Александр Тихонович – канд. техн. наук,

ФГБНУ ВИЭСХ, Москва, Россия,

e-mail: solarlab@mail.ru

EXPERIMENTAL RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF CONCENTRATOR SOLAR MODULE IN NATURAL CONDITIONS

V. Majorov, L. Saginov, S. Trushevsky, A. Belenov

Experimental investigation of the characteristics of concentrator solar modules in natural conditions are considered.The solar module includes a half-parabolic-cylindrical concentrator and receiver to conversion of solar energy into heat and electricity. Comparative characteristics of Russian and foreign solar radiation and solar collector also are considered. The mathematical modeling was made to create a computational algorithm for design of thermal module with the specified power parameters using laws of mass transfer, including original method calculation of Nusselt number, lengths of hydrodynamics and thermodynamics parts of thermal system. The model samples developed by this method were examined for appropriate stands and tested in field conditions. Solar module with asymmetric parabolic-cylindrical concentrator and wedge-shaped line receiver of concentrated radiation with coolant flow system delivers maximum thermal output of 386 Watts at 40 ^{o}C and efficiency 60 %, respectively 319 W at 60 ^{o}C and 49 %.

Keywords: solar module, half-parabolic-cylindrical concentrator, wedge-shaped line receiver, solar radiation, hydrodynamic and thermodynamic stabilizations of thermal flow.

References

1. Grigoriev V.A., Zorin V. M. Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskij ehksperiment [Thermal and mass exchange. Heattechnical experiment]. Moscow, Energoizdat, 1982. P. 165, 168.
2. Solnechnye kollektory i ih ehnergeticheskie harakteristiki [Solar collectors and their energetic characteristics]. An electronic resource: http://msd.com.ua/solnechnaya-energetika.
3. PV-T Collector Development: Providing a structure beyond the collector. [Electronic resource] http://www.ises.org/index.php?id=246//Date of the address: 10.12.2014.
4. Majorov V.A. Raschet i analiz ehnergeticheskih harakteristik solnechnyh batarej razlichnyh tipov [Calculation and analysis of energetic characteristics of solar batteries of different types], J. *Vestnik VIESH*. 2008. No. 1(3). P. 96-100.

Authors:

V. Majorov – Ph. D. (Engineering),
e-mail: solarlab@mail.ru
L. Saginov – Ph. D. (Physics and mathematics),
e-mail: solarlab@mail.ru
S. Trushevsky– Ph. D. (Engineering),
e-mail: tsn37@mail.ru
A. Belenov– Ph. D. (Engineering),
e-mail: solarlab@mail.ru
All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, Moscow, Russia.

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!
Правила оформления статей

Редакция принимает к публикации рукописи статей, отпечатанные через 1,5 интервала на компьютере. Рукопись должна быть подписана всеми авторами. Вместе с бумажными копиями обязателен диск с текстом, набранным в Word 97//2003/2007/2010 шрифтом 14 пт, или файл по электронной почте vestnikviesh@gmail.com.

Объем статьи – от 8 до 12 стр., включая таблицы (не более 5), рисунки (не более 7), библиографию (до 20 названий).

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Таблицы должны иметь порядковый номер и название.

Все графические материалы должны быть выполнены четко (фотографии jpg или tif с разрешением не меньше 300 dpi), вставлены в текст статьи, пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Использованная литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы помещается в конце статьи и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008.

Статья должна содержать следующие обязательные элементы:

1. Название и ФИО авторов статьи на русском и английском языках.
2. Реферат (200-250 слов) на русском и английском языках.
3. Ключевые слова (3–6 слов/словосочетаний) на русском и английском языках.
4. Список литературы – на русском и английском языках.
5. Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК).
6. Сведения обо всех авторах (в конце статьи) на русском и английском языках – фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, ученое звание, полное название научного или учебного учреждения и его структурного подразделения, контактный телефон и адрес электронной почты автора.

Статья должна быть четко структурирована.

Рукописи авторам не возвращаются. Автору выдается бесплатно один экземпляр журнала с его публикацией. С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Подробные требования к оформлению статьи размещены на сайте журнала: vestnik.viesh.ru