

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071800 – «Электроэнергетика»

Калинина Алексея Анатольевича

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Диссертационная работа посвящена проблеме повышения энергоэффективности электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения.

Актуальность работы. В настоящее время энергетический сектор Казахстана работает в непростых условиях, когда, с одной стороны – происходит постепенное истощение традиционных источников энергии (нефти, газа, угля, добыча которых является дорогостоящим бизнесом), а с другой – набирает высокие позиции введённая во всем мире политика экологически чистого производства энергии с использованием возобновляемых или альтернативных источников энергии. В этой связи, поиск и использование возобновляемых и альтернативных источников энергии с недавнего времени стал приоритетным направлением развития энергосбережения в Казахстане, заключающегося в снижении энергоёмкости экономики республики. Одним из направлений исследований в этой области является изучение вихревых теплогенераторов и электротехнологических комплексов их содержащих. Такие установки можно использовать в автономных системах отопления и ГВС. Однако одним из главных недостатков таких источников автономного теплоснабжения является значительное потребление электроэнергии при их работе от систем центрального электроснабжения. Также не выявлены алгоритмы работы таких комплексов при изменении условий эксплуатации – в зависимости от времени года, температуры окружающей среды, а также эксплуатации в течении суток.

В настоящее время не в полной мере исследованы процессы преобразования электрической энергии в тепловую с промежуточным преобразованием в механическую энергию. Отсутствуют исследования, устанавливающие взаимосвязи теплопроизводительности с режимами работы электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения (ЭКАТ), нет предложенных алгоритмов работы и методов эксплуатации ЭКАТ, нет анализа и методов их энергообеспечения.

Цель работы – повышение энергоэффективности электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения.

Идея работы. Повышение энергоэффективности электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения, содержащих гидродинамический нагреватель и частотно-регулируемый электропривод, как на стадии их проектирования, так и на стадии эксплуатации за счет оптимизации конструктивных параметров гидродинамического нагревателя и установления режимов работы его

электропривода с минимальным электропотреблением электроэнергии, на основе методов планирования многофакторных экспериментов, имитационного и физического моделирования и экспериментальных исследований.

Методы исследования. Общая методика исследования в работе базируется на использовании методов планировании многофакторного эксперимента, теории электропривода, теории гидравлических цепей, с сочетанием методов имитационного компьютерного моделирования в среде информационно-графической системы, а также физического моделирования на специальном стенде с частотно-регулируемым электроприводом.

Объект исследования. Электротехнологический комплекс для автономного теплоснабжения.

Научная новизна заключается в:

– методах управления режимами работы электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения с частотно-регулируемым электроприводом, обеспечивающих снижение энергозатрат в переходных и установившихся режимах работы;

– использовании комбинированных методах энергообеспечения ЭКАТ, использующих как традиционные источники энергии, так и ВИЭ;

– методах определения оптимальных геометрических параметров элементов конструкции электротехнологических комплексов, обеспечивающих максимум теплопроизводительности на основе проведенного многофакторного эксперимента;

– разработке математических зависимостей, устанавливающих взаимосвязи между теплопроизводительностью и конструктивно-эксплуатационными параметрами ЭКАТ.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, 7 приложений. Содержит 127 страниц машинописного текста, 45 рисунков, 69 формул, 32 таблицы, список использованных источников, включающий 127 наименований.

Содержание работы. Во введении приводится краткое обоснование актуальности, решаемой прикладной научно-технической проблемы, связанной с необходимостью повышения энергоэффективности электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения (ЭКАТ), сформулированы цель и основные задачи диссертационной работы, приводятся методика выполнения работы и практическая ценность диссертации, указывается связь темы с государственными программами и грантами.

В первой главе проведен обзор конструкций электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения, содержащих гидродинамические нагреватели, приведены основные достоинства этих комплексов. Вместе с тем указано, что одним из главных недостатков таких источников автономного теплоснабжения является значительное потребление электроэнергии при их работе от систем центрального электроснабжения. Дается обоснование актуальности исследования.

Во второй главе осуществлена разработка стенда для экспериментального изучения электротехнологического комплекса для автономного

теплоснабжения. Приведены требования к компонентам ЭКАТ, разработана конструктивная и технологическая схема стенда. Создана система диспетчерского управления ЭКАТ, которая реализует как функции управления электромеханическим оборудованием ЭКАТ, так и функции исследования. Разработана цифровая модель стенда для расчета элементов конструкции и параметров гидравлического режима работы ЭКАТ. На их основе составлена матрица планирования многофакторного эксперимента.

В третьей главе разработана программа проведения многофакторного эксперимента по определению оптимальных конструктивных параметров гидродинамических нагревателей, обеспечивающих максимум теплопроизводительности ЭКАТ. Проведены экспериментальные исследования различных режимов работы ЭКАТ. Найдены уравнения регрессии, устанавливающие взаимосвязи теплопроизводительности с конструктивно-эксплуатационными параметрами ЭКАТ.

В четвертой главе разработаны алгоритмы энергоэффективного управления электротехнологическим комплексом с частотно-регулируемым электроприводом для автономного тепло- и горячего водоснабжения на базе гидродинамических нагревателей. Представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность разработанных алгоритмов. Достигнуто снижение электропотребления 8% за счет циклической работы, а также до 45% за счет управления производительностью насосного агрегата. Предложены энергоэффективные методы комбинированного энергообеспечения ЭКАТ.

В заключении автор подводит итоги по проделанной работе в рамках диссертации.

Результаты работы. На основании выполненных исследований получены следующие результаты:

- проведен анализ основных направлений исследований и разработок в области создания и изучения электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения, содержащих гидродинамический нагреватель и частотно-регулируемый электропривод;
- проведены, основанные на методах планирования многофакторного эксперимента, исследования в различных режимах работы ЭКАТ в режиме реального времени средствами SCADA-системы Genesis32;
- найдены математические зависимости (уравнения регрессии), устанавливающие взаимосвязи теплопроизводительности с конструктивно-эксплуатационными параметрами ЭКАТ;
- установлены методы снижения энергопотребления ЭКАТ за счет дискретного управления режимами работы электропривода, обеспечивающие экономию электропотребления до 8 %;
- разработаны алгоритмы и установлены методы управления режимами работы электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения с регулируемым по скорости электроприводом насосного агрегата с экономией электроэнергии до 45% за счет управления производительностью насосного агрегата;

- предложены энергоэффективные методы комбинированного энергообеспечения ЭКАТ;
- получены патенты РК на варианты конструкции ЭКАТ, а также получено свидетельство на интеллектуальную собственность на программное обеспечение по расчету параметров теплообеспечения потребителя и выбору ЭКАТ;
- разработана методика проектирования и эксплуатации электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения, содержащего ГДН и частотно-регулируемый электропривод, и области их применения;
- осуществлено внедрение в эксплуатацию ряда комплексов ЭКАТ, включающих ГДН, на предприятиях Республики Казахстан.

Практическая значимость полученных результатов заключается в:

- разработке комплекса технических решений по конструкции ГДН, защищенных патентами РК;
- установлении области рационального применения электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения с регулируемым электроприводом;
- методике проектирования электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения, содержащего ГДН;
- внедрение в эксплуатацию в частных и производственных объектах жилищно-коммунального хозяйства электротехнологических комплексов для автономного теплоснабжения, содержащих ГДН.

Основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

- энергоэффективные алгоритмы управления электротехнологическим комплексом с электроприводом для автономного теплоснабжения, содержащего ГДН, в процессе эксплуатации;
- принципы комбинированного энергообеспечения ЭКАТ;
- методы установления оптимальных параметров комплекса на этапе проектирования, обеспечивающих максимум теплопроизводительности, на основе проведения многофакторного эксперимента;
- математические зависимости, устанавливающие взаимосвязи между теплопроизводительностью и конструктивно-эксплуатационными параметрами ЭКАТ.

Связь темы диссертации с государственными программами, грантами и хозяйственными темами.

Грант Министерство образования и науки Республики Казахстан (МОН РК). Тема 2920/ГФ4 «Разработка гидродинамической модели и теории расчета конструктивных параметров экологически чистых альтернативных источников энергии на принципах механоактивации жидких сред» (2015-2017 гг.). По бюджетной программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований», специфика: 156 «Оплата консалтинговых услуг и исследований», по приоритету «Энергетика и машиностроение» (Казахстанская национальная академия естественных наук, государственный регистрационный номер 0115РК00385).

Грантовое финансирования научных исследований по программе «Разработка чистых источников энергии Республики Казахстан на 2013-2017 годы в рамках ЭКСПО-2017». Тема «Разработка проектно-конструкторской и технологической документации по созданию производственной базы и изготовление серии демонстрационных образцов экологически чистых гидродинамических нагревателей» (государственный регистрационный номер 0213РК03283).

Реализация работы в промышленности. Экспериментальные образцы электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения, содержащего ГДН, установлены и функционируют: на паркинге АО Научно-технологический центр «Парасат» (г. Астана, проспект Республики 24) (установки ГДН37 и ГДН45); в Доме Правительства РК (г. Астана, улица Орынбор, 6) (установка ГДН22).

По результатам работы выставки ЕХРО 2017 (Энергия будущего) (г. Астана, 2017 г.), где в Национальном Павильоне Казахстана в числе 27 проектов республики демонстрировался стенд «Демонстрационный образец серии экологически чистых гидродинамических нагревателей жидких сред», получено два акта внедрения результатов диссертации – от КазНАЕН и Комитета атомного и энергетического надзора и контроля Министерства энергетики Республики Казахстан.

Личный вклад соискателя заключается в проведении как теоретических, так и в большом объеме экспериментальных исследований, направленных на достижение цели диссертационной работы, а также в подготовке публикаций по теме исследования и в получении охранных документов. Соискатель разработал функциональную схему и цифровую модель стенда для экспериментального изучения ЭКАТ, принимал участие в разработке конструктивной и технологической схемы ЭКАТ и создании опытного стенда, в разработке программного обеспечения и алгоритмов работы компонентов системы диспетчерского управления и сбора данных. Также с его непосредственным участием разработана методология планирования эксперимента и программа проведения многофакторного эксперимента, найдены математические зависимости и проанализированы результаты исследования, предложены методы управления режимами работы и энергообеспечения ЭКАТ.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждалось и получили одобрение:

- на научно-технических семинарах КарГТУ;
- на научно-технических семинарах АО «Научно-технический центр «Парасат» (г. Астана);
- на выставке ЕХРО 2017 (Энергия будущего) в Национальном Павильоне Казахстана. Разработка «Демонстрационный образец серии экологически чистых гидродинамических нагревателей жидких сред»;
- в работе выставки «Третья модернизация - эпоха зеленых инноваций», которая состоялась в рамках XXV Сессии Ассамблеи народа Казахстана, с участием Главы государства. Организатор - ОЮЛ «Коалиция за зеленую экономику и развитие G-Global»;

- в работе выставки «Разработка чистых источников энергии Республики Казахстан на 2013-2017 годы в рамках ЭСКПО-2017» в г.Астана на территории компании «Led System Media» СЭЗ «Астана – новый город»;
- на республиканском Форуме лидеров зеленой экономики «Зеленый Казахстан» (г.Астана, апрель 2017 года);
- в выставке научных достижений, организованной в рамках Коллегии МОН РК (г.Астана, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, 2015 г.);
- на научно-практической конференции «Информатизация инженерного образования» (Инфорино 2014 и 2016) (Россия, Москва);
- в работе VI Международной науч.-техн. интернет-конференции молодых ученых «Автоматизация, мехатроника, информационные технологии» (Россия, Омск, 17 мая 2016 г.);
- в работе 2-й Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (Россия, Челябинск, 2016 г.);
- в работе 27th DAAAM International Symposium (Vienna, Austria, 2016);
- в работе International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2017 (Riga, Latvia, 2017).

Основные научные результаты докторской диссертации опубликованы в 34 научных трудах, в том числе 5 публикации в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 5 публикаций, входящих в информационную базу компаний Scopus и Web of Science, из них 2 статьи в периодических изданиях, 18 публикаций в международных научно-практических конференциях, в том числе 11 в зарубежье, 2 монографии. Получены 3 патента РК, 2 свидетельства об интеллектуальной собственности (СИС) РК и одно СИС РФ.

Наиболее значимые публикации и патенты:

1 Breido Josif, Kuchin Valery, Kalinin Alexey. Determining heating capacity and coefficient of energy transformation of hydrodynamic set // Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium. – Vienna: DAAAM International, 2017. –P. 600-607.

2 Breido J.V., Kalinin A.A., Lissitsyn D.V. Algorithms of Energy Efficient Control of Electric Technological Complex for Autonomous Heat Supply // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2018. – Vol. 18, Iss. 19: e2. – 8 p.

3 Breido I.V., Zyuzev A.M., Kalinin A.A. Methods of Studying Electric-Hydrodynamic Heater // Energy Procedia. – Vol. 128. – P. 59-65.

4 Брейдо И.В., Зюзев А.М., Калинин А.А. Экспериментальные исследования частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – №4. – С.128-134.

5 Пат. 30705 Республика Казахстан, МПК F24H 1/10, F24J 3/00, F24H 7/00, F24D 3/02. Теплогенератор механоактиваторный / Кучин В.Н., Бектурганов Н.С., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1278.1; заявл. 03.10.2014; опубл. 15.12.2015, Бюл. № 12(I).

6 Пат. 31003 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00, F24H 1/10, F24D 15/00. Механикалық жылу генератор. Теплогенератор механический / Кучин

В.Н., Зейнуллин А.А., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1303.1; заявл. 13.10.2014; опубл. 15.03.2016, Бюл. № 3(І).

7 Пат. 31624 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00 (2006.1), F24H 1/10 (2006.1), F24D 15/00(2006.1). Теплогенератор кавитационно-вихревой / Кучин В.Н., Брейдо И.В., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1800.1; заявл. 04.12.2014; опубл. 30.09.2016, Бюл. № 12.

8 Кучин В.Н., Калинин А.А., Юрченко В.В. Экспериментальные исследования энергетических характеристик опытно-промышленных установок экологически чистых гидродинамических нагревателей жидких сред: монография. – Караганда: КарГТУ, 2015. – 78 с.

9 Брейдо И.В., Карасев Н.И., Калинин А.А. Параметрическая оптимизация элементов конструкции ГДН методами планирования эксперимента: монография. – Караганда: КарГТУ, 2016. – 118 с.

10 Калинин А.А. Автоматизированная система научных исследований гидродинамических нагревателей // Междунар. науч.-метод. конф. «Информатизация инженерного образования». – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 604 с.

Калинин Алексей Анатольевичтің

6D071800 «Электр энергетика» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алуға ұсынылған
**«Автономды жылумен қамтамасыз ету үшін электр-
технологиялық кешенді параметрлік оңтайландыру»**
докторлық диссертациялық жұмысының

АҢДАТПАСЫ

Диссертациялық жұмыс автономды жылытуға арналған электр техникалық кешеннің энергия тиімділігін арттыру мәселесіне арналды.

Зерттеу өзектілігі. Қазіргі уақытта Қазақстанның энергетикалық саласы күрделі жағдайларда жұмыс істейді, бір жағынан, дәстүрлі энергия көздерінің бірте-бірте төмендеуі (мұнайды, газды, көмірді табу қымбат бизнес болып табылады), екінші жағынан, жаңартылатын немесе баламалы энергия көздерін пайдалану арқылы таза энергияны шығару өндірістерін жасау мақсаты.

Осыған байланысты, жаңартылатын және баламалы энергия көздерін іздестіру және пайдалану Қазақстандағы энергия үнемдеуді дамыту үшін басымдыққа ие болды, бұл республиканың экономикасының энергия сыйымдылығын төмендетуден тұрады. Осы саладағы зерттеу бағыттарының бірі күйінды жылу генераторларын және олардың электр техникалық кешендерін зерттеу болып табылады. Мұндай қондырғыларды дербес жылыту жүйелерінде және ыстық сумен қамтамасыз етуде пайдалануға болады.

Алайда, автономды жылумен жабдықтау көздерінің негізгі кемшіліктерінің бірі орталық электрмен жабдықтау жүйесінен жұмыс істеу кезінде айтарлықтай энергияны тұтыну болып табылады. Сондай-ақ, осындай кешендердің жұмыс істеу алгоритмдері жұмыс жағдайын өзгерту кезінде өзін қалай ұстайтыны белгісіз, мысалы, маусымға, қоршаған ортаның температурасына және күн ішінде жұмыс істеуге байланысты жағдайларда.

Қазіргі уақытта электр энергиясын жылу энергиясына түрлендіруі процестері толығымен зерттелмеген. Жылу берудің автономды жылумен жабдықтау электр техникалық кешендерінің (АЖЭК) жұмыс режимдерімен өзара байланысын анықтайтын ешқандай зерттеулер жоқ, АЖЭК жұмысының ұсынылған алгоритмдері және жұмыс істеу әдістері жоқ, оларды талдау және оларды энергиямен жабдықтау әдістері жоқ.

Жұмыстың мақсаты – автономды жылытуға арналған электр техникалық кешеннің энергия тиімділігін арттыру.

Жұмыстың идеясы. Гидродинамикалық жылытқыштың жобалау параметрлерін оңтайландыру және электр энергиясын минималды тұтынумен жұмыс режимдерін белгілеу арқылы жоспарлау әдістеріне негізделген, жобалау сатысында да, пайдалану кезеңінде де гидродинамикалық қыздырғыш және жиілікпен басқарылатын электр жетегі бар автономды жылытуға арналған электр техникалық кешендердің энергия тиімділігін арттыру. Көп факторлық эксперименттер жасау, имитациялық және физикалық модельдеуді өткізу және

эксперименталды зерттеулер жасау.

Зерттеу әдістері. Жұмыста жалпы зерттеу әдіснамасы жоспарлау әдістерін қолдануға негізделген, көп факторлық эксперименттер, электр жетегінің теориясы, гидравликалық сұлбалардың теориясы, ақпараттық-графикалық жүйедегі компьютерлік модельдеу әдістерін үйлестіру, сондай-ақ жиілікпен реттелетін электр жетегі бар арнайы стендтегі физикалық модельдеу әдістеріне негізделеді.

Зерттеу объектісі. Автономды жылытуға арналған электр техникалық кешені.

Ғылыми жаңашылықтары келесілерден тұрады:

- өтпелі және тұрақты күйдегі жұмыс режимдерінде энергияны тұтынуды азайтуды қамтамасыз ететін жиілікті басқарылатын электр жетегі бар дербес жылумен жабдықтау үшін электр технологиялық кешеннің жұмыс режимдерін бақылау әдісі;

- дәстүрлі энергия көздері мен жаңартылатын энергия көздерін пайдалана отырып, АЖЭК электр энергиясын жеткізудің аралас әдістерін пайдалану;

- жүргізілген көп факторлық эксперимент негізінде максималды жылулық көрсеткіштерін қамтамасыз ететін электр техникалық кешендерді жобалау элементтерінің оңтайлы геометриялық параметрлерін анықтау әдістемесі;

- жылу беру өнімділігі мен АЖЭК құрылымдық-пайдалану параметрлері арасындағы қатынастарды белгілейтін математикалық тәуелділіктерді жасау.

Жұмыстың құрамы мен көлемі. Жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, 7 қосымшалардан тұрады. Диссертация құрамында 127 баспа беті, 45 сурет, 69 формулалар, 32 кесте, 127 атауы бар әдебиеттер тізімі бар.

Жұмыстың мазмұны. Кіріспеде автономды жылытуға арналған электр техникалық кешеннің (АЖЭК) энергия тиімділігін арттыру туралы, диссертацияның мақсаты мен негізгі міндеттерін тұжырымдауы, диссертацияның практикалық құндылығы мен жұмысын жүргізу әдістемесін қамтамасыз ету қажеттілігіне байланысты қолданбалы ғылыми-техникалық проблеманың өзектілігі көрсетілген, сонымен қатар мамалекеттік бағдарламалар, гранттармен байланысын көрсетеді.

Бірінші тарауда гидродинамикалық жылытқыштары бар автономды жылумен жабдықтауға арналған электр техникалық кешендердің конструкцияларына шолу жасалды және осы кешендердің негізгі артықшылықтары ұсынылды. Сонымен қатар, автономды жылумен жабдықтау көздерінің негізгі кемшіліктерінің бірі олардың орталық электрмен жабдықтау жүйелерінен жұмыс істеу кезінде маңызды энергия тұтынуы болып табылатынын көрсетті. Зерттеудің өзектілігіне негіздеме берілген.

Екінші тарауда автономды жылумен қамтамасыз ету үшін электр технологиялық кешенді эксперименттік зерттеу стендін жасау жүзеге асырылды. АЖЭК компоненттеріне қойылатын талаптар ұсынылды, стендтің жобалау-технологиялық схемасы әзірленді. АЖЭК электр механикалық жабдықтың басқару функцияларын және зерттеу функцияларын жүзеге асыратын АЖЭК диспетчерлік басқару жүйесі құрылды. АЖЭК гидравликалық жұмыс режимінің құрылымдық элементтері мен параметрлерін есептеу үшін стендтің цифрлық

моделі жасалды. Олардың негізінде көп факторлық эксперименттің жоспарлау матрицасы жасалды.

Үшінші тарауда АЖЭК максималды жылу тиімділігін қамтамасыз ететін гидродинамикалық жылытқыштардың оңтайлы жобалау параметрлерін анықтау үшін көп факторлы эксперимент жүргізу үшін бағдарлама жасалды. АЖЭК жұмысының түрлі режимдерін эксперименттік зерттеу жүргізілді. АЖЭК-тың жылу және құрылымдық-пайдалану параметрлері арасындағы қатынастарды орнататын регрессиялық теңдеулер табылған.

Төртінші тарауда гидродинамикалық жылытқыштар негізінде тәуелсіз жылу және ыстық сумен қамтамасыз ету үшін жиілікте басқарылатын электр жетегі бар электр техникалық кешенді энергияны тиімді басқаруға арналған алгоритмдер жасалды. Дайындалған алгоритмдердің тиімділігін растайтын эксперименттік зерттеулер нәтижелері келтірілген. Циклды жұмыс істеу арқасында энергиямен тұтынуды 8% төмендету, сондай-ақ сорғы қондырғысының жұмысын бақылау арқылы 45% -ға дейін жеткізді. АЖЭК үшін энергияны тиімді энергиямен жабдықтау әдісі ұсынылды.

Қорытындыда, диссертация аясында жасалған жұмыстар түйінделді.

Жұмыстың нәтижелері. Аяқталған зерттеулер негізінде келесі нәтижелер алынды:

- гидродинамикалық жылытқышы бар және ауыспалы жиіліктегі қозғалтқышы бар дербес жылумен жабдықтау үшін электр техникалық кешендерді құру және зерттеу саласындағы ғылыми зерттеулер мен әзірлемелердің негізгі бағыттарын талдау;

- Genesis32 SCADA-жүйесін пайдалана отырып, көп факторлық эксперименттің жоспарлау әдістеріне негізделген, нақты уақыт режимінде АЖЭК жұмысының түрлі режимдерінде зерттеулер жүргізіледі;

- АЖЭК -тың жылу және құрылымдық-пайдалану параметрлері арасындағы өзара байланыс орнататын математикалық тәуелділіктер (регрессиялық теңдеулер) табылды;

- 8 есеге дейін энергия үнемдеуді қамтамасыз ететін электр жетегінің жұмыс режимдерін дискретті бақылауға байланысты АЖЭК энергиясын тұтынуды азайтудың белгіленген әдістері;

- электр технологиялық кешендердің жұмыс режимдерін бақылау үшін алгоритмдер әзірленді, әдістеме құрылды. Сорғы қондырғысының жылдамдықты басқарылатын электр жетегі бар сорғы қондырғысының жұмысын бақылау арқылы 45% -ға дейін энергияны үнемдеуге қол жеткізілді.

- АЖЭК үшін энергияны тиімді энергиямен жабдықтау әдісі ұсынылды;

- АЖЭК конструкция нұсқалары бойынша Қазақстан Республикасының патенттері, сондай-ақ тұтынушылардың жылумен жабдықтау параметрлерін есептеу және АЖЭК жүйесін таңдау бойынша бағдарламалық қамтамасыз ету бойынша зияткерлік меншік сертификаты алынды;

- автономды жылытуға арналған электр технологиялық кешенді газтурбиналық қондырғылар мен айнымалы жиілік дискіден тұратын және олардың қолданылу салалары бар жобалау және пайдалану үшін әдістеме әзірленді;

- Қазақстан Республикасының кәсіпорындарында бірқатар АЖЭК кешендерін, соның ішінде ГДЖ-ны пайдалануға енгізілген.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы:

- Қазақстан Республикасының патенттерімен қорғалатын газтурбиналық қондырғыларды салу үшін техникалық шешімдер кешенін әзірлеу;

- реттелетін электр жетегі бар автономды жылыту үшін электр техникалық кешендерді ұтымды пайдалану ауданын құру;

- гидродинамикалық жылытқыштары бар дербес жылумен жабдықтауға арналған электр техникалық кешенді жобалау әдістемесі;

- гидродинамикалық жылытқыштары бар дербес жылумен жабдықтау үшін электр технологиялық кешендердің тұрғын үй-коммуналдық шаруашылығының жеке және өндірістік нысандарында пайдалануға беру.

Қорғауға ұсынылатын негізгі ғылыми ережелер мен зерттеу нәтижелері:

– жұмыс кезінде ГДН-нен тұратын автономды жылумен жабдықтау электр жетегі бар электртехнологиялық кешенмен энергияны тиімді басқару алгоритмдері;

– АЖЭК біріктірілген электрмен жабдықтау принциптері;

– көпфакторлы экспериментті жүргізуге негізделген максималды жылуды қамтамасыз ету жобалау кезеңінде кешеннің тиімді параметрлерін анықтау әдістері;

– жылу өнімділігі мен АЖЭК конструктивті-пайдалану параметрлері арасындағы қатынастарды орнататын математикалық тәуелділіктер.

Диссертация тақырыбын мемлекеттік бағдарламалармен, гранттармен және келісімшарттық тақырыптармен байланыстыру.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің гранты (ҚР БҒМ). Тақырыбы 2920/ГФ4 «Гидродинамикалық модельді және сұйық ортада механикалық активтендіру принциптеріне негізделген экологиялық таза альтернативті энергия көздерінің конструкциялық параметрлерін есептеу теориясын жасау» (2015-2017 жж.). Бюджеттік бағдарламаға сәйкес 217 «Ғылымды дамыту», кіші бағдарлама 102 «Ғылыми зерттеулерді грантпен қаржыландыру», ерекшеліктері: 156 «Кеңес беру қызметтері мен зерттеулерді төлеу», басымдығы бойынша «Энергетика және машина жасау» (Қазақстан Ұлттық жаратылыстану ғылымдары академиясы, мемлекеттік тіркеу нөмірі 0115РК00385).

«2013-2017 жылдары ЭКСПО-2017 аясында Қазақстан Республикасының таза энергия көздерін дамыту» бағдарламасы бойынша ғылыми зерттеу гранттық қаржыландыруы. Тақырыбы «Өндірістік базаны құру және экологиялық таза гидродинамикалық жылытқыштардың демонстрациялық үлгілері бойынша жобалық-конструкторлық және технологиялық құжаттаманы жасау» (мемлекеттік тіркеу нөмірі 0213РК03283).

Өнеркәсіптегі жұмыстарды орындау. ГДН-нен тұратын, автономды жылумен жабдықтауға арналған электртехнологиялық кешеннің экспериментальды үлгілері «Парасат» АҚ ғылыми-технологиялық орталық тұрағында (Астана қ., Республика даңғылы 24) (ГДН37 және ГДН45

қондырғылары); Қазақстан Республикасының Үкімет үйінде (Астана қ., Орынбор көшесі, 6) (ГДН22 қондырғы) орнатылған және жұмыс істейді.

ЕХРО 2017 көрменің нәтижелері бойынша (Болашақ энергиясы) (Астана қ., 2017 ж.), Қазақстанның Ұлттық павильонында республиканың 27 жобасының арасында «Сұйық ортадағы экологиялық таза гидродинамикалық жылытқыш сериясының демонстрациялық үлгісі» стенді көрсетілді, диссертацияның нәтижелерін енгізу екі актісі— КазНАЕН және Қазақстан Республикасы энергетика Министрлігінің атомдық және энергетикалық қадағалау және бақылау комитетінен алынды.

Ізденушінің қосқан жеке үлесі диссертациялық жұмыстың мақсатына бағытталған теориялық және эксперименталды зерттеулердің үлкен көлемде жүргізілуі, сондай-ақ зерттеу тақырыбы мен қауіпсіздік құжаттарын алу бойынша мақалаларды дайындау.

Ізденуші АЖЭК эксперименттік зерттеуі үшін стендтің функционалдық схемасын және сандық моделін жасады, АЖЭК конструктивті және технологиялық схемасын және тәжірибелі стендін құруға, диспетчерлік басқару жүйесінің құрамдас бөліктері және деректерді жинау үшін бағдарламамен қамтамасыз етуді және алгоритмдерді құрып дайындауға қатысты. Сонымен қатар, ізденушінің тікелей қатысуымен экспериментті жоспарлау әдістемесі және көп факторлы эксперимент бағдарламасы жасалды, математикалық тәуелділіктер табылды және зерттеудің нәтижелері талданды, АЖЭК жұмыс режимдерін басқару әдістері және энергиямен жабдықтау ұсынылды.

Диссертация нәтижелерінің апробациясы. Диссертацияның негізгі ережелері баяндалды, талқыланды және мақұлданды:

- ҚарМТУ ғылыми-техникалық семинарларында;
- «Парасат» АҚ Ғылыми-техникалық орталығы» ғылыми-техникалық семинарларында (Астана қ.);
- ЕХРО 2017 көрмесінде (Болашақ энергиясы) Қазақстанның Ұлттық павильонында. «Сұйық ортадағы экологиялық таза гидродинамикалық жылытқыш сериясының демонстрациялық үлгісі» жасау;
- Мемлекет басшысының қатысуымен, Қазақстан халқы Ассамблеясының XXV сессиясы аясында өткен «Үшінші модернизация - жасыл инновация дәуірі» көрме жұмысына қатысты. Ұйымдастырушы – БЗТ «Жасыл экономика үшін коалиция және G-Global дамыту»;
- «Led System Media» компания аумағында СЭЗ «Астана – жаңа қала» Астана қ. «2013-2017 жылдары ЭКСПО-2017 аясында Қазақстан Республикасының таза энергия көздерін дамыту» көрмесіне қатысу;
- «Жасыл Қазақстан» жасыл экономика көшбасшыларының республикалық форум (Астана қ., сәуір 2017 жыл) көрмесіне қатысу;
- ҚР БҒМ Коллегия шеңберінде ұйымдастырылған ғылыми жетістіктер көрмесіне қатысу (Астана қ., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, 2015 ж.);
- «Инженерлік білім беруді ақпараттандыру» (Инфорино 2014 және 2016) (Ресей, Мәскеу) ғылыми-практикалық конференцияға қатысу;

- «Автоматтандыру, мехатроника, ақпараттық технологиялар» VI Халықаралық ғылыми-техникалық жас ғалымдардың интернет-конференциялары (Ресей, Омбы, 17 мамыр 2016 ж.) жұмысына қатысу;
- «Пром-Инжиниринг» 2-ші Халықаралық ғылыми-техникалық конференция (Ресей, Челябинск, 2016 ж.) жұмысына қатысу;
- 27th DAAAM International Symposium (Vienna, Austria, 2016) жұмыстарына қатысу;
- International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2017 (Riga, Latvia, 2017) жұмыстарына қатысу.

Докторлық диссертацияның негізгі ғылыми нәтижелері 34 ғылыми еңбектерде жарияланды, оның ішінде 5 мақала ҚР БҒМ білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда жарияланды, 5 мақала Scopus және Web of Science ақпараттық база компанияларына кіретін, оның ішінде мерзімді басылымдарда 2 мақала жарияланды. 18 мақалалар халықаралық ғылыми-практикалық конференцияларда жарияланды, оның ішінде шетелде 11, 2 монография шықты. ҚР 3 патенті алынды, 2 зияткерлік меншік сертификаттары (ЗМС) ҚР және бір ЗМС РФ алынды.

Ең маңызды басылымдар мен патенттер:

11 Breido Josif, Kuchin Valery, Kalinin Alexey. Determining heating capacity and coefficient of energy transformation of hydrodynamic set // Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium. – Vienna: DAAAM International, 2017. –P. 600-607.

12 Breido J.V., Kalinin A.A., Lissitsyn D.V. Algorithms of Energy Efficient Control of Electric Technological Complex for Autonomous Heat Supply // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2018. – Vol. 18, Iss. 19: e2. – 8 p.

13 Breido I.V., Zyuzev A.M., Kalinin A.A. Methods of Studying Electric-Hydrodynamic Heater // Energy Procedia. – Vol. 128. – P. 59-65.

14 Брейдо И.В., Зюзев А.М., Калинин А.А. Экспериментальные исследования частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – №4. – С.128-134.

15 Пат. 30705 Республика Казахстан, МПК F24H 1/10, F24J 3/00, F24H 7/00, F24D 3/02. Теплогенератор механоактиваторный / Кучин В.Н., Бектурганов Н.С., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1278.1; заявл. 03.10.2014; опубл. 15.12.2015, Бюл. № 12(І).

16 Пат. 31003 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00, F24H 1/10, F24D 15/00. Механикалық жылугенератор. Теплогенератор механический / Кучин В.Н., Зейнуллин А.А., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1303.1; заявл. 13.10.2014; опубл. 15.03.2016, Бюл. № 3(І).

17 Пат. 31624 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00 (2006.1), F24H 1/10 (2006.1), F24D 15/00(2006.1). Теплогенератор кавитационно-вихревой / Кучин В.Н., Брейдо И.В., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1800.1; заявл. 04.12.2014; опубл. 30.09.2016, Бюл. № 12.

18 Кучин В.Н., Калинин А.А., Юрченко В.В. Экспериментальные исследо-

вания энергетических характеристик опытно-промышленных установок экологически чистых гидродинамических нагревателей жидких сред: монография. – Караганда: КарГТУ, 2015. – 78 с.

19 Брейдо И.В., Карасев Н.И., Калинин А.А. Параметрическая оптимизация элементов конструкции ГДН методами планирования эксперимента: монография. – Караганда: КарГТУ, 2016. – 118 с.

20 Калинин А.А. Автоматизированная система научных исследований гидродинамических нагревателей // Междунар. науч.-метод. конф. «Информатизация инженерного образования». – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 604 с.

ABSTRACT

to the dissertation for the academic degree of Doctor of Philosophy (PhD)
in specialty 6D071800 – Electric Power Engineering

Kalinin Alexei Anatolyevich

PARAMETER OPTIMIZATION OF THE ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX FOR AUTONOMOUS HEAT SUPPLY

The dissertation work deals with the problem of increasing the energy efficiency of the electro-technological complex for autonomous heat supply.

Relevance of the work. At present the energy sector of Kazakhstan is working in difficult conditions, when, on the one hand, there takes place gradual depletion of traditional energy sources (oil, gas, coal, which extraction an expensive business), and on the other hand, there is gaining high positions clean energy production using renewable or alternative energy sources. In this regard searching for and using renewable and alternative energy sources has recently become a priority for the development of energy saving in Kazakhstan that consists in reducing the energy intensity of the Republic economy. One of the research trends in this area is studying vortex heat generators and their electro-technological complexes. Such plants can be used in autonomous heating systems and hot water supply. However, one of the main drawbacks of such sources of autonomous heat supply is significant electrical power consumption during their operation from central power supply systems. The algorithms of operating such complexes were not revealed when the operating conditions changed depending on the season, the ambient temperature, as well as operation within a day.

At present the processes of conversion of electric energy into heat energy with intermediate conversion into mechanical energy have not been fully investigated. There are no studies that establish interconnections between the heat output and the operating modes of the electro-technological complexes for autonomous heating (ECAH), there are no proposed working algorithms and methods for operation of the ECAH, no analysis and methods for their energy supply.

The purpose of the work is to increase the energy efficiency of the electro- technological complexes for autonomous heating.

The idea of work. Improving the energy efficiency of electro-technological complexes for autonomous heating, containing a hydrodynamic heater and a frequency-controlled electric drive, both at the design stage and at the operation stage by optimizing the design parameters of the hydrodynamic heater and establishing the operating modes of its electric drive with minimal electricity consumption, based on the methods of planning multifactor experiments, simulation and physical modeling and experimental studies.

Methods of study. The general research methodology in the work is based on the use of the methods of planning multifactor experiment, electric drive theory, hydraulic circuit theory, with combination of computer simulation methods in the information-graphic system environment, as well as physical modeling on a special stand with a frequency-controlled electric drive.

Object of study. Electro-technological complex for autonomous heating.

Scientific novelty consists in:

- methods of controlling the operating modes of the electro-technological complex for autonomous heat supply with a variable-frequency electric drive, ensuring reduction of energy consumption in transitional and steady-state operating modes;
- the use of combined methods of energy supply of the ECAH using both traditional energy sources and renewable energy sources;
- methods for determining the optimal geometrical parameters of the elements of the electro-technological complexes design that provide the maximum thermal performance on the basis of the multifactor experiment carried out;
- the development of mathematical dependencies that establish the relationship between the heating performance and the structural and operational parameters of the ECAH.

The scope and structure of the work. The work consists of introduction, four chapters, conclusion, 7 appendices. It contains 127 typewritten pages, 45 figures, 69 formulas, 32 tables, a list of references including 127 titles.

The content of the work. The introduction provides a brief substantiation of the relevance of the applied scientific and technical problem related to the need to improve the energy efficiency of the electro-technological complex for autonomous heating (ECAH), formulates the purpose and the main tasks of the dissertation, provides the methodology for doing the work and the practical value of the work, there is indicated the subject connection with state programs and grants.

In the first chapter a review of the designs of electro-technical complexes for autonomous heat supply containing hydrodynamic heaters and the main advantages of these complexes are given. At the same time, it is indicated that one of the main drawbacks of such sources of autonomous heat supply is significant electrical power consumption during their operation from central power supply systems. The rationale for the relevance of the study is given.

In the second chapter the development of a stand for experimental studying the electro-technological complex for autonomous heat supply has been carried out. The requirements for the components of the ECAH are presented, the design and technological scheme of the stand has been developed. The dispatch control system of the ECAH has been formed that realizes both the control functions of the ECAH electromechanical equipment and the research functions. There has been developed a digital model of the stand for calculation of structural elements and parameters of the hydraulic mode of operation of the ECAH. Based on them, a planning matrix of the multifactor experiment has been compiled.

In the third chapter the program has been developed to carry out the multifactor experiment for determining the optimal design parameters of hydrodynamic heaters, ensuring the maximum thermal performance of the ECAH. Experimental studies of various modes of the ECAH operation have been carried out. The regression equations have been found that establish the relationship between the heat output and the structural and operational parameters of the ECAH.

In the fourth chapter the algorithms have been developed for energy-efficient control of the electro-technological complex with a frequency-controlled electric drive

for independent heat and hot water supply based on hydrodynamic heaters. The results of experimental studies confirming the effectiveness of the developed algorithms are presented. There has been achieved power consumption reduction by 8% due to cycling, as well as up to 45% due to controlling the performance of the pump unit. Energy efficient combined energy supply methods for the ECAH are proposed.

In the conclusion the author summarizes the work done in the framework of the dissertation.

The results of the work. Based on the completed studies, the following results have been obtained:

- the analysis of the main trends of research and development in the field of designing and studying electro-technological complexes for autonomous heat supply containing a hydrodynamic heater and a variable frequency drive has been carried out;

- based on the methods of planning a multifactor experiment, studies in various modes of the ECAH operation have been carried out in real time using the Genesis32 SCADA system;

- mathematical dependencies (regression equations) have been found that establish the relationship between the heat output and the structural and operational parameters of the ECAH;

- methods for reducing energy consumption of the ECAH have been developed based on discrete control of the operating modes of the drive, providing energy savings of up to 8%;

- the algorithms and methods have been developed for controlling the operation modes of electro-technological complexes for autonomous heat supply with a speed-controlled electric drive of a pump unit with energy savings of up to 45% due to controlling the pump unit performance;

- energy efficient methods of combined energy supply of the ECAH have been proposed;

- patents of the Republic of Kazakhstan for variants of the ECAH design, as well as a certificate of intellectual property for software of calculating the parameters of consumer heat supply and selecting the ECAT have been received;

- a technique has been developed for the design and operation of an electro-technological complex for autonomous heat supply containing a gas generator and a variable frequency drive, and the scope of their use;

- the commissioning of a number of the ECAH complexes including HDHs, has been carried out at the enterprises of the Republic of Kazakhstan.

Practical significance of the results consists in:

- the development of a set of technical solutions for designing gas turbine units protected by patents of the Republic of Kazakhstan;

- establishing the scope of rational using electro-technological complexes for autonomous heating with an adjustable electric drive;

- methodology for designing an electro-technological complex for autonomous heating supply containing gas generator sets;

- putting into operation in private and industrial facilities of the housing and utilities sector of electro-technological complexes for autonomous heating containing gas turbine units.

The main scientific statements and results of research submitted to the defense:

- energy-efficient algorithms for controlling an electro-technological complex with an electric drive for autonomous heat supply containing gas generator sets during operation;

- principles of combined energy supply of the ECAH; methods for establishing the optimal parameters of the complex at the design stage, ensuring maximum heat output, based on a multifactor experiment;

- mathematical dependencies that establish the relationship between heat production and structural and operational parameters of the ECAH.

Connection of the dissertation subject with governmental programs, grants and contractual projects.

Grant of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (MES RK). Project 2920 / GF4 "Development of a hydrodynamic model and the theory of calculating the design parameters of environmentally friendly alternative energy sources based on the principles of mechanical activation of liquid media" (2015-2017). In the budget program 217 "Development of Science", subprogramme 102 "Grant funding for scientific research", specificity: 156 "Payment for consulting services and research", in priority "Energy and mechanical engineering" (Kazakhstan National Academy of Natural Sciences, state registration number 0115PK00385).

Grant funding for research under the program "Development of Clean Energy Sources of the Republic of Kazakhstan for 2013-2017 in the framework of EXPO-2017". The project is "Development of design and technological documentation for forming a production base and production of a series of demonstration specimens of environmentally friendly hydrodynamic heaters" (state registration number 0213PK03283).

Implementation of the work in industry. Experimental specimens of the electro-technological complex for autonomous heat supply containing a gas generator set, are mounted and functioning: at the parking of the Scientific and Technological Center Parasat JSC (Astana, Republic Avenue 24) (HDH37 and HDH45 sets); in the Government House of the Republic of Kazakhstan (Astana, Orynbor Street, 6) (gas pump unit number 22).

According to the results of the exhibition EXPO 2017 (Energy of the Future) (Astana, 2017), where in the National Pavilion of Kazakhstan, among the 27 projects of the Republic the stand "A demonstration specimen of a series of environmentally friendly hydrodynamic heaters of liquid media" was demonstrated, there were received two acts of implementing the dissertation results: from KazNANS and the Committee for Atomic and Energy Supervision and Control of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan.

Personal contribution of the applicant consists in conducting both theoretical and large-scale experimental studies aimed at achieving the purpose of the dissertation, as well as in preparing publications on the research subject and in obtaining protective documents. The applicant has developed a functional scheme and a digital model of an experimental study bench for the ECAH, participated in the development of the structural and technological scheme of the ECAH and of the experimental test bench, in the

development of software and algorithms for the operation of dispatcher control and data collection systems. With his direct participation an experimental planning methodology and a program for a multifactor experiment have been developed, mathematical dependencies have been found and the research results have been analyzed, methods for controlling the operating modes and energy supply of the ECAH have been proposed.

Approbation of the dissertation results. The main statements of the dissertation work have been reported, discussed and approved:

- at scientific and technical seminars of KSTU;
- at scientific and technical seminars of the “Parasat” Scientific and Technical Center JSC (Astana);
- at the exhibition EXPO 2017 (Energy of the Future) in the National Pavilion of Kazakhstan, the development of the “Demonstration model of a series of environmentally friendly hydrodynamic heaters of liquid media”;
- in the work of the exhibition “The Third Modernization is the Era of Green Innovations”, which took place within the framework of the XXV Session of the Assembly of People of Kazakhstan with the participation of the Head of State. The organizer is the ALE “Coalition for Green Economy and Development of G-Global”;
- at the exhibition “Development of Clean Energy Sources of the Republic of Kazakhstan for 2013-2017 in the framework of EXPO-2017” in Astana in the territory of the company “Led System Media” of the free economic zone “Astana is a new city”;
- at the Republican Forum of Green Economy Leaders "Green Kazakhstan" (Astana, April 2017);
- at the exhibition of scientific achievements organized within the framework of the Board of the RK MES (Astana, ENU n.a. L.N. Gumilyov, 2015);
- at the scientific-practical conference "Informatization of engineering education" (Inforino 2014 and 2016) (Moscow, Russia);
- in the work of the VI International Scientific and Technical. Internet conferences of young scientists “Automation, mechatronics, information technologies” (Russia, Omsk, May 17, 2016);
- in the work of the 2nd International Scientific and Technical Conference "Prom-Engineering" (Russia, Chelyabinsk, 2016);
- at the 27th DAAAM International Symposium (Vienna, Austria, 2016);
- at the International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”, CONECT 2017 (Riga, Latvia, 2017).

The main scientific results of the PhD dissertation have been published in 34 scientific works including 5 publications in the editions recommended by the Committee for controlling in the sphere of education and science of the RK MES, 5 publications in the editions included in the information bases of the Scopus and Web of Science companies, 2 articles in periodicals, 18 publications at international scientific- practical conferences including 11 abroad, 2 monographs. There have been received 3 RK patents, 2 RK certificates of intellectual property (CIP) and one RF CIP.

The most important publications and patents:

21 Breido Josif, Kuchin Valery, Kalinin Alexey. Determining heating capacity and coefficient of energy transformation of hydrodynamic set // Proceedings of the

27th DAAAM International Symposium. – Vienna: DAAAM International, 2017. –P. 600-607.

22 Breido J.V., Kalinin A.A., Lissitsyn D.V. Algorithms of Energy Efficient Control of Electric Technological Complex for Autonomous Heat Supply // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2018. – Vol. 18, Iss. 19: e2. – 8 p.

23 Breido I.V., Zyuzev A.M., Kalinin A.A. Methods of Studying Electric-Hydrodynamic Heater // Energy Procedia. – Vol. 128. – P. 59-65.

24 Брейдо И.В., Зюзев А.М., Калинин А.А. Экспериментальные исследования частотно-регулируемого электропривода насосного агрегата электротехнологического комплекса для автономного теплоснабжения // Труды университета 2017. – Караганда: КарГТУ, 2017. – №4. – С.128-134.

25 Пат. 30705 Республика Казахстан, МПК F24H 1/10, F24J 3/00, F24H 7/00, F24D 3/02. Теплогенератор механоактиваторный / Кучин В.Н., Бектурганов Н.С., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1278.1; заявл. 03.10.2014; опубл. 15.12.2015, Бюл. № 12(I).

26 Пат. 31003 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00, F24H 1/10, F24D 15/00. Механикалық жылу генератор. Теплогенератор механический / Кучин В.Н., Зейнуллин А.А., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1303.1; заявл. 13.10.2014; опубл. 15.03.2016, Бюл. № 3(I).

27 Пат. 31624 Республика Казахстан, МПК F24J 3/00 (2006.1), F24H 1/10 (2006.1), F24D 15/00(2006.1). Теплогенератор кавитационно-вихревой / Кучин В.Н., Брейдо И.В., Исаев В.Л., Калинин А.А., Юрченко В.В. – № 2014/1800.1; заявл. 04.12.2014; опубл. 30.09.2016, Бюл. № 12.

28 Кучин В.Н., Калинин А.А., Юрченко В.В. Экспериментальные исследования энергетических характеристик опытно-промышленных установок экологически чистых гидродинамических нагревателей жидких сред: монография. – Караганда: КарГТУ, 2015. – 78 с.

29 Брейдо И.В., Карасев Н.И., Калинин А.А. Параметрическая оптимизация элементов конструкции ГДН методами планирования эксперимента: монография. – Караганда: КарГТУ, 2016. – 118 с.

30 Калинин А.А. Автоматизированная система научных исследований гидродинамических нагревателей // Междунар. науч.-метод. конф. «Информатизация инженерного образования». – М.: Издательство МЭИ, 2014. – 604 с.