

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 536.24

ИОКОВА
Ирина Леонидовна

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПОЛЕВОГО ГОСПИТАЛЯ,
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Минск, 2015

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель –

Несенчук Анатолий Петрович, лауреат Государственной премии Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

Журавский Геннадий Иванович, доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела электродуговой плазмы Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси»;

Копко Виктор Михайлович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция» Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация:

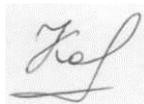
Научно-исследовательское и проектное республиканское унитарное предприятие «БелТЭИ»

Защита состоится «11» июня 2015 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.01 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корпус 2, аудитория 201, e-mail: pte_bntu@mail.ru, телефон ученого секретаря (017)293-92-16.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «7» мая 2015 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат химических наук, доцент



О. Ф. Краевская

© Иокова И. Л., 2015

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Как показывает мировая практика, происходит увеличение числа техногенных катастроф, стихийных бедствий и вооруженных конфликтов, что требует особого внимания и серьезных средств для их предотвращения и ликвидации. Значительное количество погибших в таких экстремальных ситуациях во многом связано с невозможностью вовремя оказать первую медицинскую помощь. Отсюда видна значимость проблемы оказания медицинской помощи пострадавшим как можно быстрее. Для этих целей служат мобильные полевые госпитали.

В Республике Беларусь мобильные медицинские комплексы для развертывания полевого госпиталя есть на вооружении Министерств по чрезвычайным ситуациям и Вооруженных сил.

Развитие технологий позволяет уже сегодня изготовить такой мобильный госпиталь, который будет обладать достаточной подвижностью для доставки к пострадавшим, функционировать в непосредственной близости от эпицентра природной (техногенной) катастрофы или зоны военных действий.

Теплоснабжение полевого госпиталя нового типа должно учитывать вероятность работы в холодных условиях, а также возможность срочного оказания медицинской помощи нетранспортабельным пострадавшим под открытым небом без возведения временных сооружений. Поэтому создание эффективной, надежной и простой системы теплоснабжения является важной задачей.

Такая система теплоснабжения может применяться для отопления не только мобильных медицинских полевых госпиталей, но и для теплоснабжения любого мобильного объекта.

Теплоснабжение существующих полевых (мобильных) госпиталей чаще всего производится с помощью горячего воздуха. Вода в качестве теплоносителя для этих целей практически не используется. Установки для обогрева воздухом имеют достаточно большой вес и занимают много места при транспортировке. Для быстрой смены места дислокации можно предусматривать использование легких и гибких элементов системы теплоснабжения полевого госпиталя одноразового применения. Кроме того, такие элементы теплоснабжения (отопительные приборы) должны обеспечивать необходимую теплопроизводительность. В силу новизны таких элементов (отопительных приборов) в настоящее время не существует методики оценки теплоотдачи от их поверхности и не изучены возможности интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения полевого госпиталя с применением (одноразовых) гибких отопительных приборов.

Настоящая работа посвящена вопросу разработки новой системы теплоснабжения мобильных госпиталей, обеспечивающей эффективную работу, а также характеризующуюся гибкостью и простотой подключения, малыми габаритными размерами и весом, что имеет большое значение при транспортировке.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами и темами

Настоящая работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) в соответствии с планом НИР кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», утвержденным НТС БНТУ, в рамках темы «Научные и технические проблемы разработки и применения инновационных технологий в промышленной теплоэнергетике» (ГБ 11–215). Тема диссертации утверждена Советом энергетического факультета БНТУ (протокол № 4 от 27.12.2010).

Цель и задачи исследования

Целью настоящей работы является разработка новой системы теплоснабжения мобильного госпиталя с использованием теплогенератора двойного преобразования форм движения материи и гибких отопительных приборов нового типа.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Произвести выбор современного, надежного и эффективного источника теплоснабжения для полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций (техногенные катастрофы, стихийные бедствия, военные конфликты).
2. Предложить принципиально новый тип отопительного прибора, имеющего незначительную массу и обеспечивающего безопасное и комфортное использование в непосредственной близости от пострадавшего.
3. Разработать систему теплоснабжения мобильного полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций.
4. Разработать методику оценки теплообмена и расчета отопительных приборов нового типа в системе теплоснабжения полевого госпиталя.
5. Предложить способы интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения мобильного объекта.

Научная новизна

Впервые получены следующие научные результаты:

- разработана система теплоснабжения мобильного объекта (полевого госпиталя), функционирующего в экстремальных ситуациях;

– предложено и обосновано использование вихревого теплогенератора с двойным преобразованием энергии в качестве источника теплоснабжения мобильного объекта с целью уменьшения массы системы, а также увеличения надежности и безопасности использования системы теплоснабжения, работающей в условиях чрезвычайных ситуаций;

– предложен отопительный прибор нового типа, имеющий незначительную массу, выполненный из гибкого и прочного материала – поливинилхлорида;

– получены новые критериальные зависимости для расчета коэффициента теплоотдачи от поверхности гибкого отопительного прибора в ограниченном пространстве, отличающиеся учетом случайного (вероятностного) положения отопительного прибора, на основе которых проведена оценка теплообмена в системе «отопительный прибор – окружающая среда»;

– предложен способ интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения полевого госпиталя, повышающие теплопроизводительность отопительного прибора на 28 %.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

– система теплоснабжения полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций с применением в качестве источника теплоснабжения вихревого теплогенератора с двойным преобразованием энергии;

– методика оценки теплообмена в системе теплоснабжения мобильного объекта, отличающаяся учетом произвольного (вероятностного) положения отопительного прибора;

– принципиально новая конструкция отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя, обеспечивающая функционирование госпиталя даже без возведения временных помещений;

– способ интенсификации теплообмена в системе «отопительный прибор – окружающая среда».

Личный вклад соискателя

Основные научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, получены автором лично или при его непосредственном участии. Личный вклад соискателя заключается в разработке схемы теплоснабжения полевого госпиталя, а также выполнении экспериментальных исследований, касающихся оценки теплообмена в системе «отопительный прибор – окружающая среда». Автор принимал непосредственное участие в разработке новой конструкции гибкого отопительного прибора и написании статей по теме диссертации.

Определение цели и задач исследования, обсуждение и обобщение основных научных результатов исследований проводились совместно с

научным руководителем, д. т. н., профессором А. П. Несенчуком. Другие соавторы совместных публикаций оказывали помощь при обсуждении методик проведения экспериментальных исследований, анализе и проверке полученных результатов.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, лауреату Государственной премии Республики Беларусь, доктору технических наук, профессору А. П. Несенчуку за неоценимую помощь и поддержку при проведении совместных исследований и численных экспериментов.

Автор также выражает благодарность сотрудникам лаборатории терморегулирования ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси» за помощь в организации исследований по определению величины коэффициента теплопроводности материала поверхности нового отопительного прибора и получение ценных советов.

Апробация результатов диссертации

Результаты диссертационной работы докладывались на республиканских и международных конференциях профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БНТУ (г. Минск, 2011, 2012, 2013, 2014 гг.), а также на второй международной научно-практической конференции «Интегрированные энергоэффективные технологии в архитектуре и строительстве» – «Энергоинтеграция-2012», проходившей в Киевском национальном университете строительства и архитектуры (Украина, г. Киев, 22–24 мая 2012 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные положения диссертации опубликованы в двенадцати работах, в том числе в семи статьях в журнале, рекомендованном ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований «Энергетика – Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ», пяти статьях в тематических сборниках научных трудов и материалов научных конференций. Общее количество страниц опубликованных работ составляет 52 (1,9 авторского листа).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, общих выводов, списка использованных литературных источников и приложений. Общий объем диссертации – 210 страниц. Всего иллюстраций – 73 на 34 страницах; таблиц – 19 на 9 страницах. Объем приложений – 49 страниц. Список использованных литературных источников состоит из 125 наименований на 13 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В общей характеристике работы обоснована научно-техническая проблема, определившая актуальность исследования теплоснабжения полевого госпиталя, работающего в условиях экстремальных ситуаций, приведены исходные предпосылки для выполнения работы.

Отражена научная новизна и практическая значимость теоретических и экспериментальных исследований.

В первой главе «Теплоснабжение мобильных медицинских сооружений» представлен обзор современных полевых госпиталей, рассмотрены их основные конструктивные особенности, а также источники их теплоснабжения.

Современные мобильные госпитали широко используются в условиях чрезвычайных ситуаций, при проведении аварийно-спасательных работ, при стихийных бедствиях и техногенных катастрофах, а также во время вооруженных конфликтов.

Полевой госпиталь сегодня представляется мобильным, с независимым источником энергии (топливо, электроэнергия, рабочие жидкости), который, в случае необходимости, способен непрерывно менять дислокацию и перемещаться в направлении пострадавших, требующих медицинской помощи, а не наоборот, когда пострадавшие (требующие медицинской помощи) направляются к медицинскому сооружению.

Анализ современных источников теплоснабжения полевых госпиталей показывает, что они имеют ряд значительных недостатков (незначительное время работы, большие габаритные размеры и масса, взрыво- и пожароопасность, хрупкость, малая мощность, шум, медленный разогрев и т. д.) поскольку не разрабатывались специально под мобильные госпитали.

В результате обзора источников для создания системы теплоснабжения мобильного госпиталя предложено использовать кавитационный теплогенератор. Это – теплогенераторы ТГ, ВТГ и другие, используемые во многих странах в качестве источника теплоснабжения для жилых и промышленных зданий.

За последнее десятилетие появилось множество конструкций вихревых кавитационных теплогенераторов и работ описывающих принцип действия таких источников тепловой энергии. КПД кавитационных теплогенераторов составляет 93–96 %.

Схемы с вихревым теплогенератором могут обрести широкое применение при снижении массы отопительных приборов, которые должны обладать хорошей теплоотдачей.

Необходимо учитывать, что такие отопительные приборы в помещении могут размещаться хаотично и использоваться разово (в случае необходи-

мости). При хаотичном размещении предлагаемых отопительных приборов научный и практический интерес представляют вопросы, связанные с теплообменом (конвективным) в ограниченных пространствах (между прибором и ограждающей поверхностью), а также вопросы интенсификации такого теплообмена. Все эти вопросы поднимаются впервые, однако в классической постановке они достаточно неплохо изучены.

В заключительной части первой главы автором сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе «Структура и состав системы теплоснабжения мобильного объекта» произведен окончательный выбор источника теплоснабжения и отопительных приборов для создания надежной системы теплоснабжения мобильного госпиталя, функционирующего в экстремальных ситуациях.

При выборе источника теплоснабжения мобильного сооружения, вопрос энергетической целесообразности, наряду с условиями, диктующими этот выбор, имеет немаловажное значение. Здесь электрическая энергия будет затратно превращаться в теплоту, поступающую в отопительную систему мобильных сооружений, поскольку речь идет о сохранении человеческих жизней.

С целью экспериментальной проверки эффективности вихревого теплогенератора были проведены исследования вихревого теплогенератора марки ВТГ-2,2. Экспериментально определена эффективность (КПЭ) вихревого теплогенератора ВТГ-2,2, которая составила 84,8 %, что подтверждает целесообразность его применения для системы теплоснабжения мобильного госпиталя.

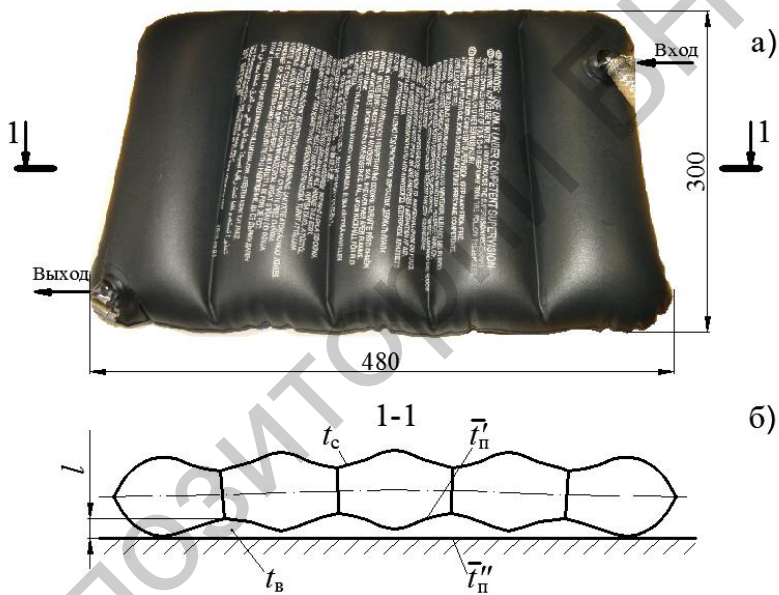
Для снижения массы системы теплоснабжения полевого госпиталя предложено использовать гибкие отопительные приборы нового типа, изготовленные из пластичного материала с низкой плотностью. Это также открывает возможность иметь в грузовом отсеке несколько комплектов уже подготовленных к эксплуатации схем.

В качестве материала для изготовления отопительных приборов автором настоящей работы впервые для этой цели предлагается поливинилхлорид, воздействие которого на поверхность тела пациента безопасно. Поливинилхлорид (ПВХ) широко применяется в медицине. Продукция из ПВХ (ГОСТ 14332-78) также отличается высокой гибкостью и прочностью даже при меняющихся внешних условиях (например, температуре). ПВХ легко совместим практически со всеми фармацевтическими продуктами. Он также устойчив к воде и химическим реакциям. Кроме того, поливинилхлорид – один из самых дешевых материалов.

В третьей главе «Исследование теплообмена в системе «отопительный прибор – окружающая среда» разработана схема эксперименталь-

ной установки, предложена методика изучения теплообмена и способ интенсификации.

Предлагаемый отопительный прибор (рисунок 1, а) для системы теплоснабжения мобильного госпиталя имеет две поверхности нагрева: внешняя – обращенная в пространство помещения и внутренняя – обращенная к ограждающим конструкциям (или к другой поверхности). Внутренняя поверхность образует с ограждающими плоскостями каналы, теплообмен в которых отличается от теплообмена на внешней поверхности прибора.



l – характерный размер; \bar{t}'_n и \bar{t}''_n – соответственно температуры теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей; t_c – температура свободной поверхности; t_v – температура в щели
Рисунок 1. – Общий вид отопительного прибора (а) и расчетная схема (б)

Значительный практический и научный интерес представляет изучение теплообмена при условии естественной конвекции в замкнутом пространстве (со стороны ограждающей поверхности) и его вклад в суммарную теплопроизводительность прибора. В экспериментах, проводимых в данной работе, замкнутое пространство представляет собой горизонтальную

(рисунок 1, б) и вертикальную щели, а также щель произвольной формы при случайном (хаотическом) расположении отопительного прибора во время монтажа при разворачивании полевого госпиталя.

В условиях конкретной задачи (произвольное расположение поверхности), отягощенной необходимостью интенсификации процесса, в рамках принципиально новой системы теплообменного устройства, экспериментов ранее не выполнялось, а, следовательно, нет методики и инструмента оценки теплоотдачи.

Для получения итоговой формулы, учитывающей любое положение отопительного прибора, а также определения наиболее вероятного положения отопительного прибора, необходимо прибегнуть к анализу теплообмена в ограниченном пространстве с применением теории вероятности.

Все эксперименты по изучению теплообмена проводились при установленном тепловом режиме и были связаны с измерением температур свободной поверхности, теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей в замкнутом пространстве, а также температуры в щели.

Для увеличения теплоотдачи от поверхности отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя и уменьшения затрат со стороны источника энергии, в третьей главе предложен способ интенсификации теплообмена (с помощью нанесения на поверхность искусственной шероховатости).

Искусственную шероховатость можно выполнить в виде «велюрового напыления», которое аналогично искусственной замше. Оно легко наносится на любую гибкую поверхность материала, в том числе и поливинилхлорид, из которого выполнен отопительный прибор.

Достаточным будет нанесение данного покрытия только на одну сторону отопительного прибора, обращенную к пострадавшему (на свободную поверхность).

Искусственная шероховатость в ограниченном пространстве (щели) будет препятствовать естественной конвекции и ухудшать теплоотдачу из-за роста гидравлического сопротивления. На свободной поверхности отопительного прибора нанесение искусственной шероховатости, напротив, увеличит теплоотдачу, а также обеспечит пациенту полевого госпиталя определенный комфорт (при непосредственном расположении пострадавшего на отопительном приборе).

Эксперименты по определению коэффициента эффективной теплопроводности поливинилхлорида (рисунок 2, а) и данного материала после создания шероховатости (рисунок 2, б) проводились на базе Белорусского национального технического университета (кафедры «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника») и ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси».

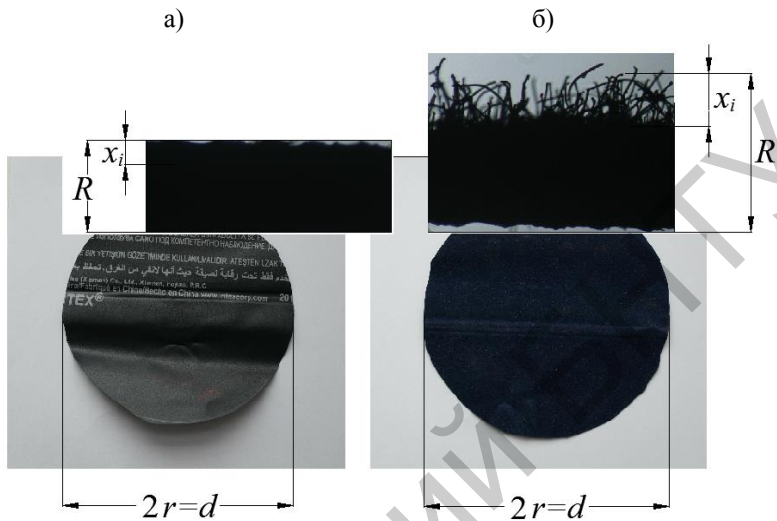
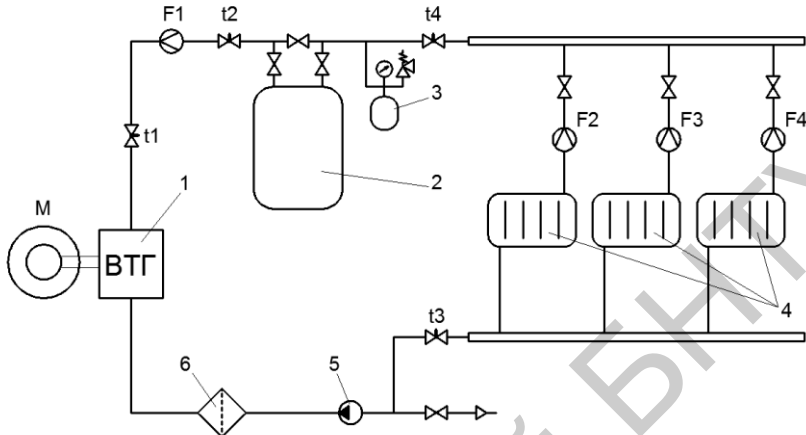


Рисунок 2. – Общий вид исследуемых образцов поверхности отопительных приборов без искусственной шероховатости (гладкая поверхность) (а) и с искусственной шероховатостью (б) (в верхней части рисунка показаны разрезы образцов, инвертированный микроскоп Nikon Eclipse TS100, $\times 10$)

Как показали измерения, коэффициенты эффективной теплопроводности в интервале температур $25\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляют соответственно $0,16\text{--}0,17\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ для гладкого поливинилхлорида и $0,13\text{--}0,14\text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ для поливинилхлорида с искусственной шероховатостью. Эти значения использовались для расчетов коэффициента теплопередачи и теплопроизводительности предлагаемого отопительного прибора.

Для создания системы теплоснабжения современного полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций, разработана схема экспериментальной установки, позволяющая изучить теплообмен в системе «отопительный прибор – окружающая среда», определить коэффициент теплоотдачи от поверхности отопительного прибора нового типа, а также изучить пути интенсификации процесса теплообмена (рисунок 3).

В соответствии с данной схемой была изготовлена экспериментальная установка с применением вихревого теплогенератора в качестве источника теплоснабжения, внешний вид которой представлен на рисунке 4.



1 – вихревой теплогенератор; 2 – бак-накопитель; 3 – блок группы безопасности (расширительный бак, контрольный манометр, предохранительный клапан); 4 – отопительные приборы; 5 – насос; 6 – фильтр; $t1...t4$ – измерение температур; $F1...F4$ – измерение расхода теплоносителя

Рисунок 3. – Схема экспериментальной установки



1 – расходомеры $F2...F4$; 2 – бак-накопитель (30 л); 3 – расходомер $F1$; 4 – вихревой теплогенератор ВТГ-2,2; 5 – насос

Рисунок 4. – Общий вид экспериментальной установки

Для обработки экспериментальных данных принят метод наименьших квадратов.

В четвертой главе «Экспериментальные исследования по теплообмену и интенсификация теплообмена» представлены результаты экспериментов.

В качестве теплоносителя, кроме воды, предложено использовать раствор NaCl, используемый для медицинских нужд с целью предотвращения замерзания установки теплоснабжения в случае использования ее при низких температурах окружающей среды. Экспериментальным путем было определено, что концентрация NaCl должна превышать 4 %.

При горизонтальном расположении отопительного прибора был определен коэффициент теплоотдачи для свободной поверхности $\alpha = 8,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

В результате обработки экспериментальных данных при помощи программного средства MathCAD 15 было получено критериальное уравнение, которое позволяет производить расчеты интенсивности теплообмена в условиях естественной конвекции в ограниченном пространстве (горизонтальная щель):

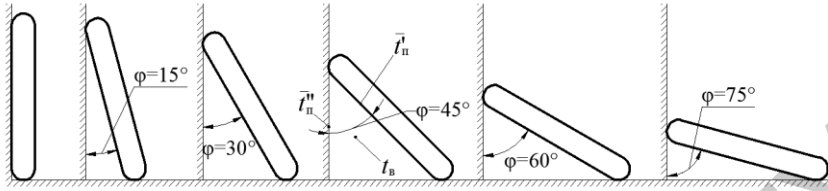
$$\text{Nu} = 0,236(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,251}. \quad (1)$$

В результате расчетов коэффициента теплоотдачи в трех произвольных точках по (1) были получены следующие значения: $\alpha_1 = 2,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_2 = 2,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $\alpha_3 = 3,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Это позволяет сделать вывод, что теплоотдача отопительного прибора в ограниченном пространстве (горизонтальная щель) меньше, чем теплоотдача от свободной поверхности.

Однако во время разворачивания полевого госпиталя возможно любое положение отопительного прибора, не только горизонтальное, так как нет никаких фиксирующих устройств. В связи с этим значительный интерес представляет изучение теплообмена с учетом произвольного расположения отопительного прибора с помощью теории вероятности.

Очевидно, что вероятное расположение отопительных приборов в рассматриваемой системе (полевой госпиталь, функционирующий в чрезвычайных ситуациях) должно учитываться в формулах, отражающих вероятностную (случайную) ориентацию поверхности отопительного прибора.

В ходе экспериментов изменялся угол φ между теплоотдающей поверхностью отопительного прибора и вертикальной плоскостью (при $\varphi = 0$ – вертикальное расположение; при $\varphi = 90^\circ$ – горизонтальное): $\varphi = 0; 15; 30; 45; 60; 75; 90^\circ$ (рисунок 5).



\bar{t}_n^1 и \bar{t}_n^2 – соответственно температуры теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей; t_n – температура в щели
Рисунок 5. – Произвольное расположение отопительного прибора

В окончательном виде расчетное критериальное уравнение при $\varphi = 0^\circ$ (вертикальная щель) запишется:

$$Nu = 0,516(Gr \cdot Pr)^{0,255}. \quad (2)$$

Для ориентации отопительного прибора (рисунок 5) $\varphi = 15-75^\circ$ получено:

$$\begin{aligned} - \text{при } \varphi = 15^\circ & \quad Nu = 0,467(Gr \cdot Pr)^{0,201}; \\ - \text{при } \varphi = 30^\circ & \quad Nu = 0,478(Gr \cdot Pr)^{0,197}; \\ - \text{при } \varphi = 45^\circ & \quad Nu = 0,402(Gr \cdot Pr)^{0,201}; \\ - \text{при } \varphi = 60^\circ & \quad Nu = 0,366(Gr \cdot Pr)^{0,199}; \\ - \text{при } \varphi = 75^\circ & \quad Nu = 0,296(Gr \cdot Pr)^{0,201}. \end{aligned} \quad (3)$$

Итоговая формула, учитывающая разные положения отопительного прибора:

$$Nu = 0,5 \left(\frac{1 + \cos \varphi}{2} \right) (Gr \cdot Pr)^{0,25} \quad \text{или} \quad Nu = 0,5 \left(\frac{1 + p_\Phi(\varphi)}{2} \right) (Gr \cdot Pr)^{0,25}, \quad (4)$$

где $p_\Phi(\varphi)$ – плотность распределения вероятностей.

Графическое представление результатов опытов показано на рисунке 6.

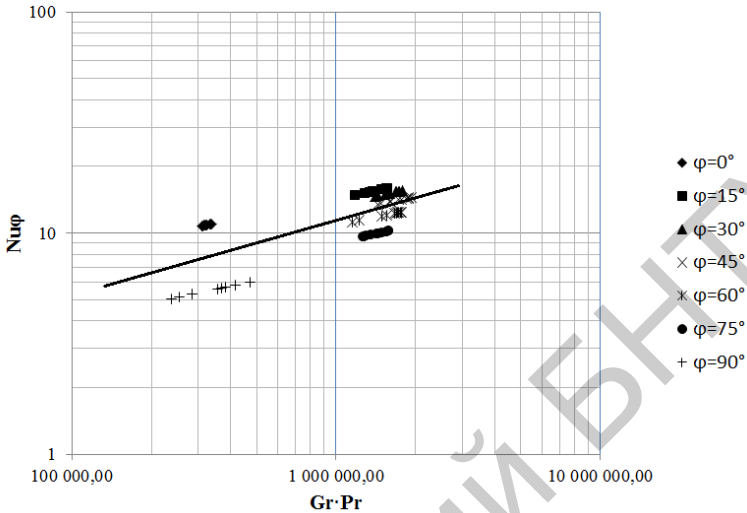


Рисунок 6. – Графическое представление результатов опытов $Nu = f(\varphi; (Gr \cdot Pr))$ при случайном расположении отопительного прибора

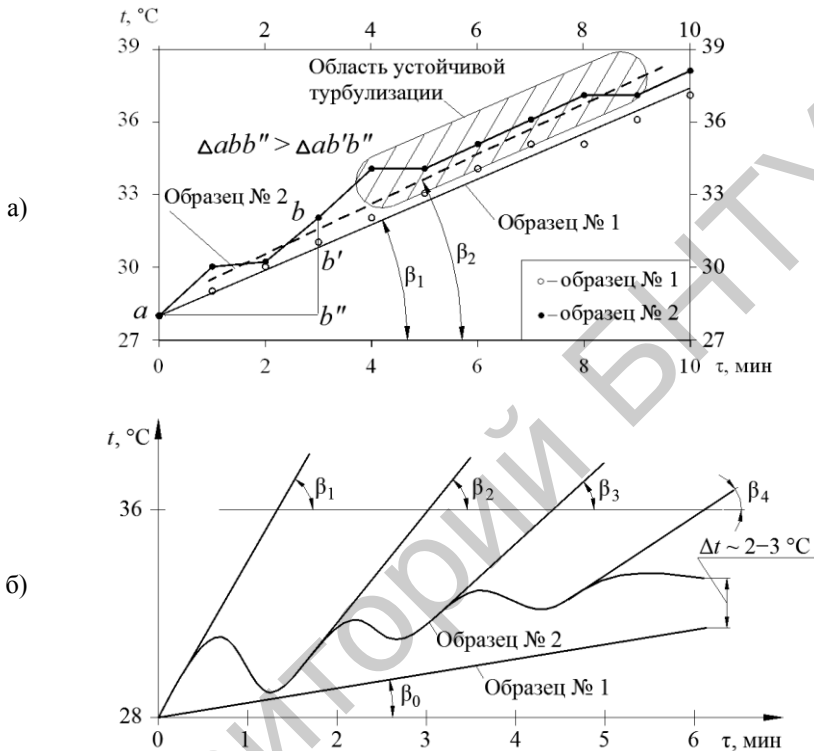
Используя теорию вероятности, было определено, что если многократно повторять эксперимент по произвольному расположению отопительного прибора, то в среднем в половине случаев значение угла φ не превысит 30° .

Оценка скорости развертывания объекта выполняется по разным факторам (в том числе и фактору запуска в рабочее состояние системы теплоснабжения). При этом время развертывания τ не должно превышать 7–15 минут, а следовательно запуск системы отопления по времени прогрева должен укладываться в 5–7 минут.

В результате проведенных экспериментов было определено, что время прогрева отопительного прибора не будет превышать 75 с, что в совокупности с временем монтажа отопительной системы не превысит 5 минут.

Создание искусственной шероховатости на поверхности теплообмена, как уже говорилось ранее, – один из наиболее эффективных и простых методов интенсификации конвективного теплообмена.

При прочих равных условиях (рисунок 7) переход из ламинарного течения в турбулентное на шероховатой поверхности наступает при меньших числах Re , нежели на гладкой. Шероховатость на теплоотдающей теплообменной поверхности вызывает локальные завихрения (рисунок 7, б) и усиливает перенос теплоты вблизи стенки.



а – эксперимент (измерено точечным прибором «Сосна-002»);
 б – гидродинамическая картина разрушения ламинарного слоя
 Рисунок 7. – Экспериментальные данные по измерению температуры
 воздуха со стороны шероховатой 2 и гладкой 1 поверхностей
 отопительного прибора

Анализ результатов эксперимента (рисунок 7, а) указывает на явную интенсификацию теплообмена на стороне с искусственной шероховатостью.

Наряду с реальным интенсифицирующим теплообмен эффектом, отопительный прибор остается нетяжелым и мало затратным в денежном выражении.

С учетом коэффициента C_K (доля роста теплоотдачи), полученное ранее уравнение (4) для мягкой поверхности отопительного прибора из поливинилхлорида при $2 \cdot 10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^8$ переписывается

$$\text{Nu}_{f_{CK}} = 0,5C_K \left(\frac{1 + P_{\Phi}(\varphi)}{2} \right) (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0,25}. \quad (5)$$

Полученное итоговое критериальное уравнение (5) позволяет производить необходимые расчеты для оценки теплоотдачи от поверхности отопительного прибора, учитывая особенности положения данного прибора, а также наличие мер по интенсификации теплообмена.

В результате обработки экспериментальных данных было определено, что теплоотдача от поверхности отопительного прибора с искусственной шероховатостью на 28 % больше, чем на поверхности без нее.

В пятой главе «Разработка рекомендаций для проектирования систем теплоснабжения мобильных объектов» рассмотрены основные этапы проектирования системы теплоснабжения мобильного объекта (полевого госпиталя), а также даны рекомендации для проектировщиков по выбору источника теплоснабжения и основным тепловым расчетам.

В качестве примера рассмотрен расчет необходимого количества гибких отопительных приборов (такого же вида как использовались в натуральных экспериментах, см. рисунок 1) для отопления пневмокаркасного модуля ПКП-А30 (производства компании «Азарт», г. Санкт-Петербург) с размерами 6,2×4,8×2,8 м (Д×Ш×В) при температуре наружного воздуха –24 °С. В результате данного расчета по укрупненным показателям было определено, что будет достаточно 8 отопительных приборов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В условиях развертывания и эксплуатации полевых госпиталей к системам их теплоснабжения, предъявляются особые требования по таким показателям как масса, габариты, время монтажа и запуска системы, безопасность для пациентов, надежность и экономичность. В результате анализа существующих мобильных полевых госпиталей и их систем теплоснабжения были обнаружены их существенные недостатки и несоответствия требованиям к мобильным объектам, которые используются при ликвидации последствий техногенных катастроф, стихийных бедствий и при военных конфликтах [1].

2. Предложена оригинальная система теплоснабжения на базе использования в качестве источника теплоснабжения вихревого теплогенератора (ВТГ) с двойным преобразованием форм движения материи и отопительных приборов нового типа, изготовленных из поливинилхлорида, что позволяет сочетать гибкость размещения приборов и их безопасность для па-

циентов. Основными преимуществами гибких отопительных приборов является малая масса, возможность быстрой доставки вместе с другим инженерным оборудованием к месту развертывания госпиталя, простота монтажа и ввода в эксплуатацию, соблюдение санитарно-гигиенических норм и надежность [1–4, 9–11].

Экспериментально определены основные теплофизические свойства материала (теплопроводность, теплоемкость, плотность), из которого были изготовлены образцы отопительных приборов [5, 11].

3. Выполнено экспериментальное исследование интенсивности конвективного теплообмена от поверхности нового отопительного прибора в ограниченном пространстве при свободной конвекции с имитацией возможного произвольного расположения отопительного прибора (горизонтальная и вертикальная щель, а также щель произвольной формы при наклонном расположении прибора). В результате обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов получено новое критериальное уравнение для определения коэффициента теплоотдачи, отличающееся учетом произвольного расположения поверхности нагрева. Погрешность расчета не превышает 5 % [2, 4, 6, 9, 10].

4. Предложен способ интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения для мобильных объектов за счет создания на поверхности отопительного прибора искусственной шероховатости, что позволяет увеличить интенсивность теплоотдачи на 28 % [6, 12].

Получено итоговое критериальное уравнение, обобщающее результаты предыдущих исследований, а также учитывающее долю роста теплоотдачи за счет применения мер по интенсификации теплообмена при $2 \cdot 10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^8$. Погрешность расчета числа Нуссельта не превышает 5 % [4, 6, 12].

5. На базе созданной лабораторной установки, моделирующей работу предложенной системы теплоснабжения, выполнены экспериментальные исследования эффективности ее функционирования и интенсивности теплообмена в системе «отопительный прибор – окружающая среда» [2–4, 9, 10, 12].

Установлено, что время запуска системы после ее монтажа не превышает 5 мин., включая время разогрева отопительных приборов (до 75 с) [5].

Определен интегральный коэффициент преобразования энергии в ВТГ при функционировании системы теплоснабжения, который в ходе испытаний составил 87 ± 2 % [3, 7, 8, 10].

6. Предложена методика расчета системы теплоснабжения полевого госпиталя с применением в качестве источника теплоснабжения вихревого теплогенератора с двойным преобразованием форм движения материи и

отопительных приборов новой конструкции с учетом их произвольного (вероятностного) размещения внутри обогреваемого помещения. Разработаны рекомендации по выбору вихревого теплогенератора для системы теплоснабжения мобильного госпиталя и определению числа отопительных приборов, предназначенные для проектирования. Приведен пример определения необходимого количества отопительных приборов [3, 5–7, 10].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты работы целесообразно использовать для расчета системы теплоснабжения, а также обеспечения горячей водой санитарного блока мобильных полевых госпиталей, функционирующих в условиях экстремальных ситуаций [1–4, 7, 8–12].

Разработанные методики расчета теплообмена и конструкция гибкого отопительного прибора одноразового использования, выполненного из поливинилхлорида, были использованы при проектировании и изготовлении опытного образца отопительного прибора для систем теплоснабжения мобильных объектов на ОАО «ММЗ имени С. И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО» [1–4, 8–12].

Методики оценки теплообмена в системе теплоснабжения с учетом произвольного расположения отопительного прибора и интенсификации теплообмена могут быть использованы при проектировании и изготовлении систем отопления мобильных полевых госпиталей [2, 4, 9–12].

Результаты исследований использованы при создании лабораторного стенда НТЦ-14.82 «Энергосберегающие технологии. Исследование вихревого генератора», который используется в учебном процессе Белорусского национального технического университета и ГККП "Кентауский многопрофильный колледж" (Казахстан).

Разработанные методики расчета теплообмена и результаты экспериментальных исследований внедрены при чтении лекций и проведении лабораторных работ по дисциплине «Тепломассообмен» на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника» Белорусского национального технического университета.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень ВАК Беларуси

1. Несенчук, А. П. Теплоснабжение полевого госпиталя, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций / А. П. Несенчук, Т. В. Рыжова,

И. Л. Качар, А. В. Бегляк // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2011. – № 3. – С. 91–93.

2. Качар, И. Л. Исследование теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций / И. Л. Качар // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2011. – № 4. – С. 60–63.

3. Несенчук, А. П. О целесообразности использования вихревого теплогенератора при реализации теплоснабжения объектов, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций / А. П. Несенчук, Т. В. Рыжова, И. Л. Качар, Д. И. Шкловчик, С. И. Прокопенко, В. В. Бегляк // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 1. – С. 45–51.

4. Несенчук, А. П. Оценка теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения с вихревым теплогенератором / А. П. Несенчук, И. Л. Иокова, Т. В. Рыжова, П. Г. Ласый, Д. И. Шкловчик, З. Б. Айдарова // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2012. – № 6. – С. 46–52.

5. Несенчук, А. П. Оценка времени выхода на рабочий режим теплообмена отопительного прибора, используемого при теплоснабжении полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций / А. П. Несенчук, Н. С. Конева, И. Л. Иокова, Т. В. Рыжова, Д. И. Шкловчик, М. А. Ярмольчик // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2013. – № 3. – С. 26–33.

6. Несенчук, А. П. Интенсификация конвективного теплообмена мягкого отопительного прибора мобильной системы отопления с теплогенератором ВН / А. П. Несенчук, И. Л. Иокова, Т. В. Рыжова, Д. И. Шкловчик, М. А. Ярмольчик, З. Б. Айдарова // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2013. – № 5. – С. 46–50.

7. Несенчук, А. П. К выбору источника теплоснабжения мобильного строительного сооружения (полевого госпиталя) / А. П. Несенчук, А. В. Бегляк, Т. В. Рыжова, И. Л. Иокова, В. В. Бегляк // Энергетика – Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. – 2014. – № 2. – С. 67–73.

Статьи в сборниках тезисов докладов и материалах конференций

8. Качар, И. Л. Использование вихревого теплогенератора для теплоснабжения мобильных объектов (полевого госпиталя) / И. Л. Качар // Наука – образованию, производству, экономике: материалы девятой Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2011. – Т. 1. – С. 96.

9. Несенчук, А. П. Исследование теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя, функционирующего в усло-

виях чрезвычайных ситуаций / А. П. Несенчук, И. Л. Качар // Материалы II Республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития энергетики в XXI веке». – Минск: БНТУ, 2012. – С. 47.

10. Несенчук, А. П. Исследование теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения, работающей на основе вихревого теплогенератора / А. П. Несенчук, И. Л. Качар // Интегрированные энергоэффективные технологии в архитектуре и строительстве – «Энергоинтеграция-2012»: материалы Международной научно-практической конференции. – Киев: КНУСиА, 2012. – С. 23–27.

11. Несенчук, А. П. Теплоотдача отопительного прибора, используемого при теплоснабжении полевого госпиталя, функционирующего в условиях экстремальных ситуаций / А. П. Несенчук, И. Л. Иокова, Н. С. Конева, А. В. Матусевич // Наука – образованию, производству, экономике: материалы одиннадцатой Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2013. – Т. 1. – С. 86–87.

12. Несенчук, А. П. Интенсификация конвективного теплообмена отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного объекта / А. П. Несенчук, И. Л. Иокова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы двенадцатой Междунар. науч.-техн. конф.: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2013. – Т. 1. – С. 101.



РЭЗІЮМЭ

Іокава Ірына Леанідаўна Цеплазабеспячэнне палявога шпіталя, які працуе ва ўмовах экстрэмальных сітуацый

Ключавыя словы: цеплазабеспячэнне, віхравы цеплагенератар, палявой шпіталь, ацяпляльны прыбор, цеплаадача, інтэнсіфікацыя цеплаабмену.

Мэта работы: распрацоўка новай сістэмы цеплазабеспячэнне мабільнага шпіталя з выкарыстаннем цеплагенератара падвойнага пераўтварэння формаў руху матэрыі і гнуткіх ацяпляльных прыбораў новага тыпу.

Метады даследавання і апаратура: ужываліся метады тэорыі верагоднасці, эксперыментальныя даследаванні, інжынерныя разлікі, аналіз, прыборы і абсталяванне для вывучэння цеплаадачы ад паверхні ацяпляльнага прыбора (пірометар, аптычны мікраскоп, цеплавізар і г. д.), улічваючы асаблівасці становішча дадзенага прыбора, а таксама наяўнасць мер па інтэнсіфікацыі цеплаабмену.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана сістэма цеплазабеспячэння мабільнага палявога шпіталя, здольнага функцыянаваць у экстрэмальных сітуацыях; прапанавана метадыка ацэнкі цеплаабмену ў абмежаванай прасторы (гарызантальная і вертыкальная шчыліны, а таксама шчыліна адвольнай формы) пры выпадковым (імавернасным) становішчы ацяпляльнага прыбора; распрацаваны прынцыпова новы гнуткі ацяпляльны прыбор; прапанаваны спосаб інтэнсіфікацыі цеплаабмену ў сістэме цеплазабеспячэння мабільнага аб'екта; атрыманы новыя крытэрыяльна залежнасці для разліку каэфіцыента цеплаадачы ад паверхні гнуткага ацяпляльнага прыбора ў абмежаванай прасторы, якія адрозніваюцца ўлікам выпадковага (імавернаснага) становішчы ацяпляльнага прыбора.

Рэкамендацыі па выкарыстанні: да практычнага выкарыстання прапануецца сістэма цеплазабеспячэння мабільных аб'ектаў, якія функцыянуюць ва ўмовах экстрэмальных сітуацый; метадыка ацэнкі цеплаабмену ў сістэме цеплазабеспячэння з улікам адвольнага размяшчэння ацяпляльнага прыбора; гнуткі ацяпляльны прыбор новага тыпу, выкананы з полівінілхларыду; спосаб інтэнсіфікацыі цеплаабмену ў сістэме цеплазабеспячэння мабільнага аб'екта.

Галіна ўжывання: стварэнне сістэм цеплазабеспячэння мабільных аб'ектаў.

РЕЗЮМЕ

Иокова Ирина Леонидовна

Теплоснабжение полевого госпиталя, работающего в условиях экстремальных ситуаций

Ключевые слова: теплоснабжение, вихревой теплогенератор, полевой госпиталь, отопительный прибор, теплоотдача, интенсификация теплообмена.

Цель работы: разработка новой системы теплоснабжения мобильного госпиталя с использованием теплогенератора двойного преобразования форм движения материи и гибких отопительных приборов нового типа.

Методы исследования и аппаратура: применялись методы теории вероятности, экспериментальные исследования, инженерные расчеты, анализ, приборы и оборудование для изучения теплоотдачи от поверхности отопительного прибора (пирометр, оптический микроскоп, тепловизор и т. д.), учитывая особенности положения данного прибора, а также наличие мер по интенсификации теплообмена.

Полученные результаты и их новизна: разработана система теплоснабжения мобильного полевого госпиталя, способного функционировать в экстремальных ситуациях; предложена методика оценки теплообмена в ограниченном пространстве (горизонтальная и вертикальная щели, а также щель произвольной формы) при случайном (вероятностном) положении отопительного прибора; разработан принципиально новый гибкий отопительный прибор; предложен способ интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения мобильного объекта; получены новые критериальные зависимости для расчета коэффициента теплоотдачи от поверхности гибкого отопительного прибора в ограниченном пространстве, отличающиеся учетом случайного (вероятностного) положения отопительного прибора.

Рекомендации по использованию: к практическому использованию предлагается система теплоснабжения мобильных объектов, функционирующих в условиях экстремальных ситуаций; методика оценки теплообмена в системе теплоснабжения с учетом произвольного расположения отопительного прибора; гибкий отопительный прибор нового типа, выполненный из поливинилхлорида; способ интенсификации теплообмена в системе теплоснабжения мобильного объекта.

Область применения: создание систем теплоснабжения мобильных объектов.

SUMMARY

Irina Iokova

Heat supply of field hospital in extreme case conditions

Keywords: heat supply, vortex heat-generator, field hospital, heating appliance, heat output, heat exchange intensification.

Purpose of the work: “Development of new heat supply system of removable hospital using double transformation matter motion form heat-generator and new type of flexible heating appliances”.

Methods of research and equipment: probability theory method, experimental studies, engineering calculations, analysis, instruments and equipment to study heat output from heating appliance surface (pyrometer, light microscope, thermal imager and etc), having regard to position characteristics of the appliance and also presence of heat exchange intensification measures.

Results and novelty: it is developed field removable hospital heat supply system, which is able to function in extreme cases; it is proposed evaluation technique of heat exchange in restricted space (horizontal and vertical slot, also slot of arbitrary shape) while random (probabilistic) position of heating appliance; it is developed brand new flexible heater; it is proposed method of heat exchange intensification in heat supply system of mobile object; it is received new criterion dependences for calculation of heat-transfer coefficient from surface of flexible heater in restricted space, dependences differentiate by taking into account random (probabilistic) position of heating appliance.

Extent of use: for practical usage it is proposed mobile objects heat supply system, functioning in extreme case conditions; evaluation technique of heat exchange in heat supply system with a glance of random position of heating appliance; flexible heater of new type, made from polyvinylchloride; heat exchange intensification method in removable object heat supply system.

Use area: development of mobile object heat supply systems.

Научное издание

ИОКОВА
Ирина Леонидовна

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ ПОЛЕВОГО ГОСПИТАЛЯ,
РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика

Подписано в печать 30.04.2015. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 90. Заказ 344.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск