КГЭУ

АО «СО ЕЭС»

cigré Российский Национальный Комитет

cigré

ФСК ЕЭС

РОССЕТИ

НАДЕЖНАЯ СМЕНА

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ

КГЭУ-2018

МАТЕРИАЛЫ

IX Международной молодежной научно-технической конференции

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2018

Казань, 1–5 октября

Том III

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2018 ТОМ III

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»
ПАО «ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»
ПАО «РОССЕТИ»
РОССИЙСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОВЕТА
ПО БОЛЬШИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ (РНК СИГРЭ)
БЛАГОТВОРИТЕЛЬНЫЙ ФОНД «НАДЕЖНАЯ СМЕНА»

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА ГЛАЗАМИ МОЛОДЕЖИ – 2018

Материалы
IX Международной молодежной научно-технической конференции

1–5 октября 2018 г.

В трех томах

Том 3

Казань
2018

УДК 621.313
ББК 31.2
Э45

Рецензенты:
канд. техн. наук, проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» П.В. Илюшин
д-р хим. наук, директор Института теплоэнергетики, заведующая кафедрой «Тепловые электрические станции» ФГБОУ ВО «КГЭУ» Н.Д. Чичирова
д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.К. Ильин
канд. техн. наук, заведующая кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» ФГБОУ ВО «КГЭУ» Н.В. Роженцова
заместитель начальника Департамента организационного развития, начальник отдела развития персонала АО «СО ЕЭС» А.А. Шутенко
д-р пед. наук, первый проректор – проректор по учебной работе ФГБОУ ВО «КГЭУ» А.В. Леонтьев

Редакционная коллегия:
Э.В. Шамсутдинов (отв. редактор), А.Г. Арзамасова, И.А. Москвин

Э45 **Электроэнергетика глазами молодежи – 2018:** матер. IX Междунар. молод. науч.-техн. конф. (Казань, 1–5 октября 2018 г.): в 3 т. / редкол.: Э.В. Шамсутдинов (отв. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – Т. 3. – 368 с.

ISBN 978-5-89873-520-3 (т. 3)
ISBN 978-5-89873-517-3

Опубликованы материалы IX Международной научно-технической конференции «Электроэнергетика глазами молодежи» по научным направлениям «Перспективные направления развития электроэнергетики, экономика и экология», «Промышленная энергетика. Энергоэффективность», «Образовательные технологии и программы подготовки специалистов для электроэнергетики»: распределенная энергетика; накопители энергии в электроэнергетических системах; управление спросом; управляемые линии электропередач (FACTS); возобновляемые источники электроэнергии; экология в электроэнергетике; рыночные механизмы в электроэнергетике; энергосберегающие системы и оборудование при транспортировке топливно-энергетических ресурсов, а также при выработке, распределении и использовании энергии; энергоэффективные решения для инженерных систем, систем электро- и теплоснабжения зданий и сооружений; энергоэффективные оборудование, устройства, изделия и материалы; системы учета и мониторинга для энергосбережения и потребления топливно-энергетических ресурсов; программы и методики повышения квалификации работников; реновация образовательных процессов профильных кафедр вузов по подготовке специалистов для электроэнергетической отрасли; системы тренажерной подготовки.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.313
ББК 31.2

ISBN 978-5-89873-520-3 (т. 3)
ISBN 978-5-89873-517-3

© Министерство энергетики Российской Федерации, 2018
© Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 2018
© Казанский государственный энергетический университет, 2018

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕЛИОАБСОРБЦИОННОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ С ЛЬДОАККУМУЛЯТОРОМ ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА

Халлыев И.А., Платонова А.В.
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
Казань, Россия
ezker@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты моделирования гелиоабсорбционной теплонасосной системы отопления с льдоаккумулятором (ЛА) для жилого дома малоэтажной застройки в климатических условиях Поволжья. Показано, что изучаемая система отопления имеет коэффициент эффективности около 1,2.

Состояние вопроса: Проведен математический расчет эффективности использования гелиоабсорбционной теплонасосной системы отопления для жилого дома.

Материалы и методы: Математическое моделирование.

Результаты: Солнечные коллекторы являются основным источником тепла для теплового насоса во всех временных интервалах. Доля тепла, извлеченного из льдоаккумулятора, небольшая, около 10 %. Разряженный (замороженный) к январю месяцу льдоаккумулятор регенерируется в апреле с помощью солнечного коллектора. Теплопритоки от грунта к льдоаккумулятору значительно ниже (менее 2 %) от общей тепловой нагрузки.

Выводы: Как и следовало ожидать, основная тепловая нагрузка на систему совпадает с осенне-зимним периодом, когда запаса энергии льдоаккумулятора и сезонной солнечной радиации недостаточно для покрытия потребностей на отопление. В таких условиях недостаток энергии восполняется включением пикового резервного электрокотла.

Ключевые слова: солнечные коллекторы, малоэтажная застройка, отопление, тепловой насос, льдоаккумулятор, эффективность.

MODELING OF THE HELIOR-ABSORPTION HEAT PUMPS HEATING SYSTEM WITH AN ICEBOX FOR A DWELLING HOUSE

I. Hallyev, A. Platonova
Kazan State Power Engineering University
Kazan, Russian Federation
ezker@mail.ru

Abstract

Background: The results of simulation of the helioabsorption heat pump heating system with an ice accumulator for a residential house of low-rise buildings in the climatic conditions of the Volga region are presented. It is shown that the heating system under study has an efficiency factor of about 1.2.

Materials and methods: Math modeling.

Results: Solar collectors are the main source of heat for a heat pump in all time intervals. The fraction of heat extracted from the ice accumulator is small, about 10%. Discharged (frozen) by January, the ice accumulator is regenerated in April with the help of a solar collector. Heat inflow from the ground to the ice accumulator is much lower (less than 2%) of the total heat load.

Conclusions: As expected, the main thermal load on the system coincides with the autumn-winter period, when the energy reserve of the accumulator and seasonal solar radiation is insufficient to cover the heating needs. In such conditions, the lack of energy is compensated by the inclusion of a peak backup electric boiler.

Key words: solar collectors, low-rise buildings, heating, heat pump, ice accumulator, efficiency.

I. Введение

Мы давно привыкли к тому, что в пригородных домах и коттеджах в качестве источника тепловой энергии стоит газовый или электрический котёл, который работает по принципу сжигания природных ископаемых. Однако, для того чтобы установить такой котёл, к постройке необходимость провести выделенные тепловые и газовые сети, что приводит к большим затратам.

За границей давно используют альтернативные источники тепловой энергии – воздух, грунтовые воды, воды водоемов, энергию солнца. Извлекают теплоту из окружающей среды

с помощью теплонаносной системы теплоснабжения (ТСТ), основой которого является тепловой насос. Большими преимуществами данной системы является экологичность и экономичность.

Недавно были представлены эффективные теплонасосные системы отопления с применением ЛА, которые могут быть установлены там, где глубокое бурение невозможно или запрещено.

Центральным компонентом теплонасосной системы отопления с применением ЛА является тепловой насос «рассол/вода». Основным источником низкопотенциального тепла для теплового насоса является солнечный коллектор, который собирает солнечную радиацию и тепло окружающего воздуха. Подземный ЛА работает «буферным складом» тепловой энергии и источником тепла для теплового насоса при нехватке тепловой энергии от солнечного коллектора. ЛА накапливает тепло (около 80 %) в виде скрытой теплоты, т. е. в фазе перехода воды в лед. Кроме того, ЛА может получать тепло от грунта и стоков. В случае замораживания ЛА (около –10 °С) тепловой насос выключается, и теплоснабжение обеспечивается пиковым электронагревателем.

Поддержание оптимального рабочего режима системы будет осуществлять программа, разработанная на основе нашей математической модели.

Комбинированное использование солнечных коллекторов и теплонасосных систем без ЛА получило популярность в последнее десятилетие, благодаря возможности увеличения использования возобновляемых источников энергии в области теплоснабжения и на объектах местной водоподготовки. Исследования систем солнечных коллекторов и тепловых насосов ведутся на протяжении многих лет. Несмотря на это, только недавно было достигнуто значительное увеличение количества установленных таковых систем на Европейском промышленном рынке.

Первые попытки включения льдоаккумулятора в состав системы солнечного коллектора и теплового насоса были предприняты в 1970-х годах. Однако только на протяжении последнего десятилетия компании начали заказывать такой комплект отопительной системы.

Благоприятный поворот в развитии энергетической политики страны связан с широким внедрением в практику систем теплоснабжения, использующих возобновляемые источники энергии. Эффективные системы отопления и горячего водоснабжения возможны на основе коллекторов солнечной энергии совместно с тепловыми насосами. В отсутствие естественных водоемов самыми эффективными источниками тепла для теплонасосных систем теплоснабжения являются скважины, пробуренные до водоносного слоя, которые весьма дороги. Однако недавно были представлены эффективные теплонасосные системы отопления с ЛА, не требующие глубокого бурения, т. е. не связанные с рисками получения разрешения и в то же время имеющие сопоставимую стоимость [1–3]. Льдохранилище может быть установлено там, где глубокое бурение невозможно или запрещено, а также в водоохранных зонах, так как ЛА заполняется чистой водой. Цель работы – определить сезонную эффективность гелиоабсорбционной теплонасосной системы (ГАТНС) отопления с льдоаккумулятором жилого дома малоэтажной застройки в климатических условиях Поволжья. Схема энергетических потоков в ГАТНС представлена на рис. 1.

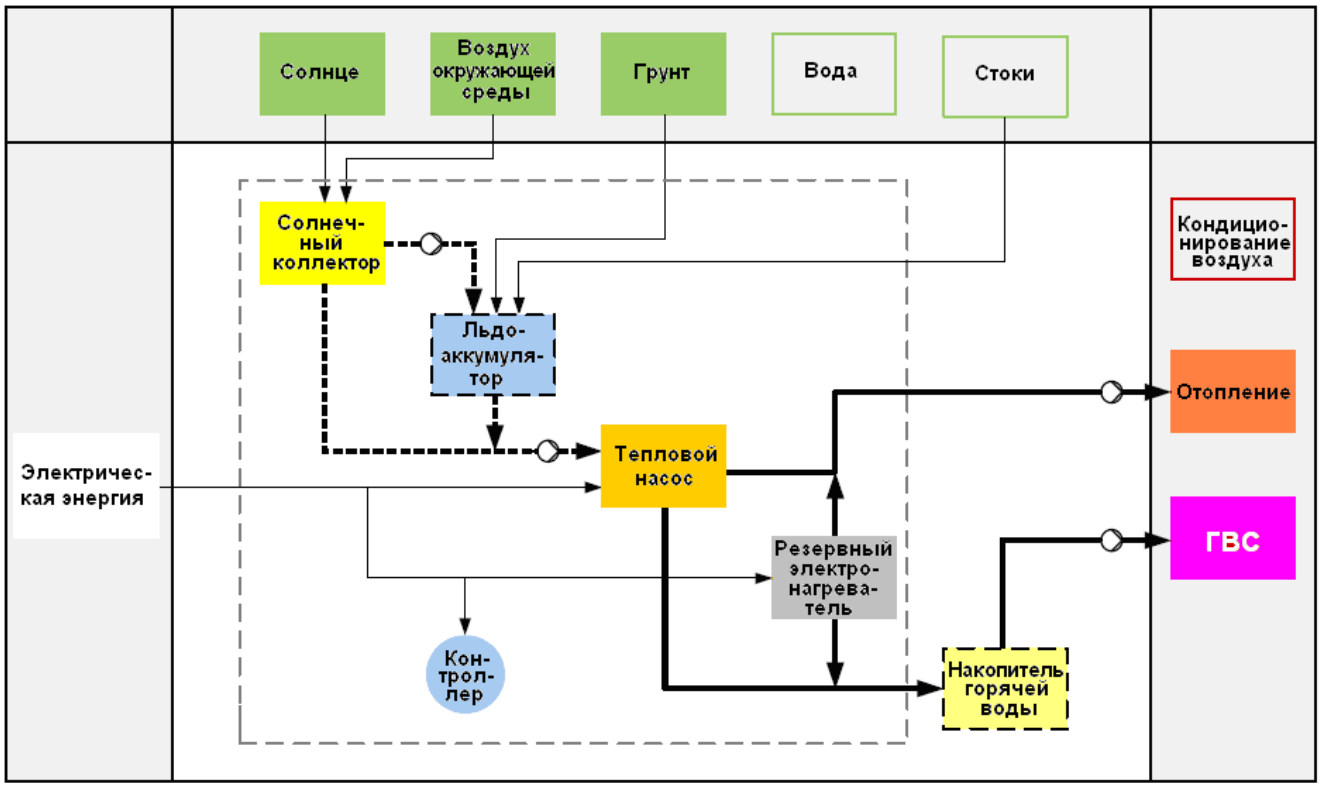

Рис. 1 – Структурная схема энергетических потоков в ГАТНС с ЛА

II. Математическая модель

Математическая модель ГАТНС с ЛА базируется на уравнениях теплового баланса:

$$Q_{от} + Q_{ГВС} + Q_{СК} + Q_{пос} + Q_{ЛА} + E_{ЭН} = 0, \qquad (1)$$

где $Q_{от} = Q_{пот}$ – тепло, расходуемое на отопление, Вт; $Q_{пот}$ – потери тепла здания, Вт; $Q_{ГВС}$ – тепло, расходуемое на горячее водоснабжение, Вт; $Q_{СК}$ – тепло, полученное солнечным коллектором, Вт; $Q_{пос}$ – тепло поступающее в здание через окна и фасад от солнечной радиации, Вт; $Q_{ЛА}$ – теплопоступления из льдоаккумулятора посредством теплового насоса, Вт; $E_{ЭН}$ – теплопоступления от резервного «пикового» электронагревателя, Вт.

ЛА является «буферным складом» тепла, которая в основном хранится в виде скрытой энергии кристаллизации воды. Тепло, полученное солнечным коллектором, может быть накоплено в льдоаккумуляторе или в летнее время, непосредственно бак – аккумулятор ГВС. Следует отметить, что в период «стагнации», когда система находится в спящем режиме, температура высококипящего теплоносителя (пропиленгликоль + вода) может достигнуть более 100 °С. В зависимости от температуры воды и грунта ЛА может передавать энергию или получать энергию от грунта. Аналогично в летний период ЛА может служить источником холода, одновременно накапливая тепло и повышая энтальпию воды.

Тепло, вырабатываемое солнечным коллектором, состоит из конвективного и радиационного составляющих.

Конвективный теплоприток определяется по формуле:

$$\mathrm{Nu} = 0{,}135 \cdot \mathrm{Ra}^{1/3}.$$

Здесь:

$\mathrm{Nu} = \dfrac{\alpha \cdot l}{\lambda}$ – число Нуссельта, где α – коэффициент теплоотдачи, $\mathrm{Вт}/\mathrm{м}^2 \cdot \mathrm{К}$; λ – коэффициент теплопроводности воздуха, $\mathrm{Вт}/\mathrm{м} \cdot \mathrm{К}$; $l = S_к / P_к$ – характерный размер, м; $S_к$ –площадь коллектора, м^2; $P_к$ – периметр коллектора, м;

$\mathrm{Ra} = \mathrm{Gr} \cdot \mathrm{Pr}$ – число Рэлея, где $\mathrm{Gr} = l^3 \rho^2 g \Delta T \beta \dfrac{1}{\mu^2}$ – число Грасгофа; ρ – плотность воздуха, $\mathrm{кг}/\mathrm{м}^3$; g – ускорения свободного падения, $g = 9{,}81$ $\mathrm{м}/\mathrm{с}^2$; $\Delta T = T_{о.с} - T_{с.к}$ – температурный напор, К; $T_{о.с}$ – температура воздуха окружающей среды, К; $T_{с.к}$ – температура коллектора, К; β – коэффициент объемного расширения, $1/K$; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с;

$\mathrm{Pr} = \dfrac{\mu C_p}{\lambda}$ – число Прандтля, где C_p – изобарная теплоемкость воздуха, Дж/кг·К.

Коэффициент полезного действия солнечного коллектора принимается $\eta_{ск} = 0{,}8$.

III. Вычислительный эксперимент

Потери рассчитываются в зависимости от средней температуры наружного воздуха. Влияние ветра на потери не учитывается.

Архитектура здания следующая. Конструкция стен 1-го этажа: наружная стена – кирпич силикатный 0,12 м (0,5 кирпича), утеплитель пенополистирол 0,1 м, кирпич керамический пустотелый 0,5 м (2 кирпича), без вентилируемой прослойки. Дом 2-этажный со скатной кровлей 9×10 м^2 (уклон 45°), высота 1 этажа 3 м. Окна 1,2×0,9 м двухкамерный пластик: 6 на 1 этаже (по 1 на торцах, 3 на одной стороне, 1 на противоположной) и 2 на мансарде. Дверь входная утепленная 1×2,16 м. Утепление пола – минеральная вата толщиной 0,15 м, подвал неотапливаемый с окнами.

Суммарные теплопотери аппроксимированы формулой, кВт:

$$Q_{пот} = 0{,}00148 t_{о.с} - 0{,}035.$$

Горячее водоснабжение (ГВС) принимается согласно нормам Республики Татарстан 2015 г. 3,44 м^3/чел.·месяц. Температура воды 45–55 °С. В пересчете на нагрев холодной воды с 10 до 50 °С на семью из 4-х человек:

$$Q_{ГВС} = 4 \cdot 215 = 860 \text{ Вт}.$$

Теплопоступления в здание от солнечной радиации через окна рассматривается по данным, исходя из величин прямой и солнечной радиации на горизонтальную и вертикальную поверхности с учетом пространственной ориентации при действительных условиях. Общие теплопоступления в зданиях определяется с учетом 18 % остекленности.

Резервный электрокотел включается при наружной температуре воздуха ниже бивалентной или замораживании (ниже 0 °С) ЛА.

Моделирование начинается с 00 ч 00 мин 1 сентября. Дискретность моделирования по времени равна 200 с, по пространству 0,01 м. Прогретый к сентябрю грунт имеет равномерно распределенную температуру 8 °С. При моделировании приняты следующие технические характеристики компонентов ГАТНС: гелиоабсорбер (батарея солнечных коллекторов) открытого типа, расположенный с наклоном 45° и общей площадью 18 м^2, ЛА бетонный объемом 18,4 м^3, коэффициент преобразования теплового насоса мощностью 12 кВт равен 4,5. Данные параметры приняты на основе источников [1–4].

Результаты моделирования представлены на рис. 2. Теплопритоки от грунта к ЛА значительно ниже (менее 2 %) общей тепловой нагрузки.

IV. Результаты

Как и следовало ожидать, основная тепловая нагрузка на ГАТНС совпадает с осенне-зимним периодом, когда запаса энергии льдоаккумулятора и сезонной солнечной радиации недостаточно для покрытия потребностей на отопление. В таких условиях недостаток энергии восполняется включением пикового резервного электрокотла. Стагнация (неполное использование солнечной энергии)

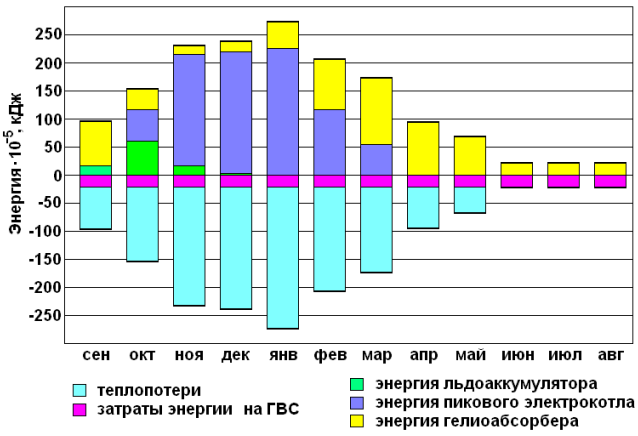

Рис. 2 – Ежемесячный энергетический баланс ГАТНС с ЛА

наступает в мае, когда работоспособность льдоаккумулятора восстановлена, потребности в тепловой энергии ограничиваются ГВС. Эффективность ГАТНС определяется коэффициентом, представляющим собой отношениесуммы извлеченной с помощью теплового насоса энергии и переданной системе ГВС непосредственно гелиабсорбером к сумме всех электроэнергетических затрат. Коэффициент эффективности моделируемой системы отопления при принятых технических характеристиках оценен как 1,1–1,2, что безусловно является низким показателем по сравнению с данными (около 4) исследований [1–4], проведенными для условий мягкого климата западной и центральной Европы. Тем не менее, моделирование показывает, что для принятых исходных данных экономия энергетических ресурсов возможна на уровне 50–55 %.

Список литературы

[1] Айнштейн В. Г., Захаров М. К., Носов Г. А. Оптимизация полного теплового насоса в процессах химической технологии // Химическая промышленность. 2001. № 1. С. 18.

[2] Об одном направлении повышения эффективности энергетических систем на базе авиационных газотурбинных двигателей / В.Е. Алемасов [и др.] // Известия РАН. Энергетика. 1998. № 4. С. 92–96.

[3] Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / Р.А. Амерханов [и др.]. М.: Колос-Пресс, 2002. 424 с.

[4] Амерханов Р.А. Тепловые насосы. М.: Энергоатомиздат, 2005. 160 с.

[5] Аминов Р.З. Векторная оптимизация режимов работы электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1994. 304 с.

ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ В СТРУЙНО-ПЛЕНОЧНОМ КОНТАКТНОМ УСТРОЙСТВЕ

Хафизова А.И.[1], Круглов Л.В.[1], Дмитриева О.С.[2]
[1]ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»
[2]Казанский национальный исследовательский технологический университет
Казань, Россия
aliyahi@mail.ru

Аннотация:

Состояние вопроса: Существующие контактные устройства обладают малой эффективностью охлаждения оборотной жидкости. Разработка новых контактных устройств позволит существенно увеличить производительность энергетического предприятия.

Материалы и методы: Моделирование происходило в программном пакете ANSYS Fluent.

Результаты: Предложен оригинальный подход к моделированию истечения жидкости из отверстий струйно-пленочного контактного устройства. Получены графические зависимости.

Выводы: Дальнейшие исследования струйно-пленочных контактных устройств являются перспективным направлением в области энергетики.

Ключевые слова: контактное устройство, насадка, тепломассообмен.

FLOW OF FLUID THROUGH THE HOLE IN THE JET-FILM CONTACT DEVICE

A. Khafizova[1], L. Kruglov[1], O. Dmitrieva[2]
[1]Kazan State Power Engineering University
[2]Kazan National Research Technological University
Kazan, Russian Federation
aliyahi@mail.ru

Abstract

Background: Existing contact devices have low efficiency of cooling the circulating fluid. The development of new contact devices will significantly increase the productivity of the energy enterprise.

Materials and Methods: The simulation took place in the software package ANSYS Fluent.

Results: An original approach to modeling the flow of liquid from the holes of the jet-film contact device is proposed. Graphic dependences are obtained.

Conclusions: Further research of jet-film contact devices is a promising direction in the field of energy.

Key words: contact device, nozzle, heat and mass transfer

I. Введение

Сложно представить какое-либо энергетическое предприятие без системы оборотного водоснабжения. Именно оборотное водоснабжение позволяет сократить расходы водных ресурсов в несколько десятков раз. Охлаждение оборотного водоснабжения на предприятиях происходит в градирнях. Наибольшее распространение на сегодняшний день получили вентиляторные градирни благодаря своей компактности и высокой эффективности. Основным элементом градирни, определяющим его охлаждающую способность, является ороситель. Существует большое множество вариаций конструкций оросителей, однако каждая из них обладает рядом недостатков: плохая смачиваемость, высокое гидравлическое сопротивление [1–3].

Модернизация существующих контактных устройств является одним из перспективных направлений при увеличении эффективности работы градирен. В связи с этим возникает необходимость создания новых конструкций насадок, которые бы обеспечили низкое гидравлическое сопротивление, высокий тепломассообмен и большую площадь контакта двух фаз. Проанализировав большое количество существующих устройств, пришли к выводу, что устройство, рассмотренное в статье [4], наиболее эффективно. Данные устройства обладают высокой пропускной способностью, большой плотностью орошения жидкостью, а гидравлическое сопротивление не превышает значения аналогов.

II. Основная часть

Целью исследований являлось выявление закономерностей истечения воды из отверстий струйно-пленочного контактного устройства.

В программном пакете ANSYS Fluent моделировался один канал устройства шириной 100 мм и высотой 320 мм. Толщина стенки всех элементов составляла 0,5 мм.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4522.2018.8.