

Исследование параметров индукционного электровакуумного нагревателя парового электрообогревателя низкого давления

¹МЕХТИЕВ Али Джаванширович, к.т.н., ассоциированный профессор, barton.kz@mail.ru,

²*БУЗЯКОВ Рустам Равильевич, докторант, r.buzyakov@gmail.com,

³КИМ Павел Михайлович, директор, levar_64@mail.ru,

²АЛЬКИНА Алия Даулетхановна, старший преподаватель, alika_1308@mail.ru,

¹Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

²Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

³ТОО «Конструктор 2014», Казахстан, 100017, Караганда, пр. Н. Абдирова, 47/2,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью данной статьи является анализ результатов исследования индукционного электровакуумного нагревателя парового электрообогревателя низкого давления. Рассмотрен вопрос необходимости применения систем с электрическими отопительными приборами для теплоснабжения производственных помещений. Проведен анализ литературы по теме исследования. Представлена конструктивная схема парового электрообогревателя низкого давления. Описана схема испытаний индукционного электровакуумного нагревателя. Проведены исследования с электровакуумными нагревателями. В результате исследований установлено, что паровой электрообогреватель низкого давления может быть заменой масляному и спиральному электрическому обогревателю, сочетая в себе их преимущества, при этом производя комфортное тепло, а также работать в более эффективном конвекционно-лучистом режиме теплообмена.

Ключевые слова: радиатор, электрообогреватель, энергосбережение, вакуум, тепловой прибор, система отопления.

Введение

В Казахстане сектор промышленности занимает значительную долю потребления энергетических ресурсов. Данная отрасль имеет большой потенциал энергосбережения, т.к. большинство производственных комплексов предприятий на данный момент значительно устарели. Актуальной также является проблема вредных выбросов в окружающую среду.

Одним из основных вопросов теплоснабжения промышленных предприятий является нерациональное использование тепла, т.к. при больших объемах помещений производственных цехов необходим обогрев только зоны, в которой работают люди и находится оборудование. Высота рабочей зоны составляет 2 метра и занимает около 20-30% общего объема. Нагрев около 75% воздуха относится к неэффективным затратам. Также часто требуется обеспечить микроклимат для каждого отдельного цеха.

Создание необходимых условий микроклимата производственных помещений с наименьшими затратами ресурсов возможно с помощью

систем с электрическими отопительными приборами [1].

Анализ литературы по теме исследований

Электрический обогреватель (ЭО) является компактным тепловым прибором, которому не требуется трубопровод, а только электрический кабель, что делает его более простым в эксплуатации. В начале XX века французский инженер основал компанию «Нуаро», а также разработал и наладил массовый выпуск спиральных ЭО. Электрическая спираль находилась в корпусе и обдувалась вентилятором, что является довольно простой и эффективной конструкцией. В 30-х годах XX века были разработаны конструкции масляных электрообогревателей, где было предложено трубчатый нагревательный элемент погрузить в масло, находящееся в герметизированном корпусе [2].

За долгие годы ЭО претерпели ряд модернизаций и усовершенствований, например, приобрели системы автоматического регулирования режима работы.

В мире насчитывается достаточно значительное количество производителей ЭО: Siemens,

General Climate, Polaris, Hansa, Timberk, Supra, Wika, Fluke, De'Longhi, Hyundai, Pесанта, ZASS, Kaiser, Ballu [3]. В Казахстане ЭО практически не производятся, подавляющее большинство экспортируются из Китая.

В источнике [4] рассмотрена термоакустическая теория, которая была использована в разработке опытного образца электровакуумного нагревателя. В источнике [5] приведены результаты исследований новой системы автономного теплоснабжения на основе тепловых насосов и накопителей энергии.

Конструкция исследуемого электровакуумного нагревателя выполнена на основе известной тепловой трубки, которая подробно описана в [6].

Описание объекта исследований и схемы измерений

Объектом исследования является индукционный электровакуумный нагреватель парового электрообогревателя низкого давления. Нагревательные элементы устанавливаются внутри защитного кожуха и контактируют с внешней лицевой поверхностью. Принцип работы парового электрообогревателя низкого давления (ПЭНД) подробно описан в [7, 8] и основан на использовании эффекта тепловой трубки с фитилем для отвода конденсата в зону нагрева. Внешний вид ПЭНД представлен на рисунке 1.

Изготовлены опытные лабораторные образцы с потребляемой электрической мощностью 600, 800 и 1000 Вт.

ПЭНД работает от сети переменного тока промышленной частоты 220 В.

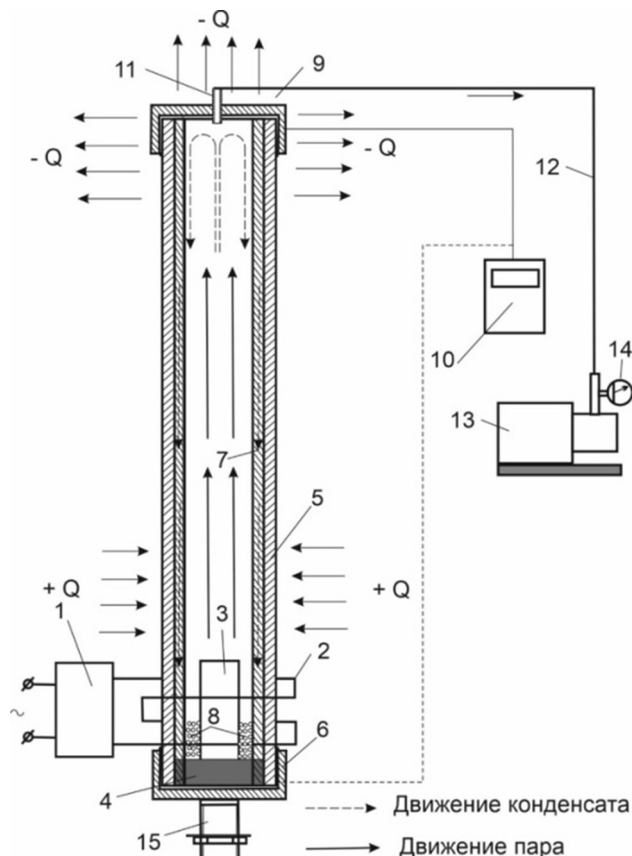
В ПЭНД для управления режимами работы используется электронное температурное реле с термодатчиком. Тип электрообогревателя лучисто-конвекционный. Основным элементом ПЭНД является индукционный электровакуумный нагреватель, схема которого представлена на рисунке 2. В качестве теплоносителя используется дистиллированная вода.

Особенностью протекания тепловых процессов является нагрев трубки в нижней части. На рисунке 2 стрелками показана область подвода теплоты (+Q), которая находится в нижней части. В верхней части происходит отдача тепла в окружающее пространство (-Q). Для измерения температуры использовались два прибора. Периодический контроль температуры различных участков трубки и наиболее нагретых областей осуществлялся при помощи лазерного измерителя температуры Fluke 51. Для постоянного контроля температуры областей подвода и отдачи теплоты использовался (+Q) 4-канальный цифровой термометр НТ-9815. В дальнейшем при построении графиков учитывалась температура нагретой поверхности тепловой трубки только в верхней части, так как была наибольшей.

Описание схемы испытаний индукционного электровакуумного нагревателя сводится к следующему: источник питания высокой частоты 1 подключен к обмотке 2, которая наводит токи Фуко (вихревой индукционный объемный электрический ток) в стальном сердечнике. Индукционный нагреватель мощностью 80 Вт способен разогреть сердечник до температуры в 300°C при необходимости. В номинальном режиме работы электровакуумный нагреватель работает в температурном диапазоне от 30 до 80°C. При нагреве теплоноситель 4 закипает в области подвода теплоты (+Q), испаряется и перемещается в верхнюю часть трубки в область отдачи теплоты (-Q). Перемещение теплоносителя показано стрелками (рисунок 2). Во внутренней полости трубки 5 создается вакуум, что позволяет теплоносителю перемещаться со звуковой скоростью. Трубка герметично закрыта с двух сторон крышками 6 и 9, которые припаяны к ней. После остывания теплоноситель перемещается вниз по пористому слою 7 в область нагрева и испарения 8. Данный слой необходим для возврата конденсата при случае, если трубка занимает горизонтальное положение.



Рисунок 1 – Внешний вид ПЭНД



- 1 – источник питания высокой частоты, 2 – обмотка высокой частоты, 3 – стальной сердечник, 4 – теплоноситель, 5 – стенки трубки, 6 – нижняя крышка трубки, 7 – пористый слой, 8 – зона кипения теплоносителя, 9 – верхняя крышка трубки, 10 – измеритель температуры, 11 – заправочная трубка, 12 – соединительный шланг, 13 – вакуумный насос, 14 – вакуумметр, 15 – элемент крепления трубки

Рисунок 2 – Схема испытаний индукционного электровакуумного нагревателя

ние. Температура контролируется при помощи измерителя 10. Вакуум создается при помощи заправочной трубки 11, которая при помощи соединительного шланга 12 присоединяется к вакуумному насосу 13. Параметры вакуума измерялись при помощи стрелочного прибора 14. Трубка была закреплена на штативе при помощи элемента крепления 15.

В исследованиях использованы теоретические сведения, связанные с процессом теплопередачи в электровакуумном нагревателе с использованием преобразования Фурье, а также соотношение Клаузиуса-Клайперона для конвективного теплопереноса паром, подробно рассмотрены ранее и приведены в источнике [2].

Результаты лабораторных исследований индукционного электровакуумного нагревателя

На рисунке 3 и 4 приведены усредненные данные набора температуры электровакуумным нагревателем мощностью 60 и 80 Вт, в зависимости от его массы. Объем теплоносителя 15 мл. Электровакуумный нагреватель выполнен из медной трубки диаметром 28 мм. Давление во внутренней полости трубки составило 5,066 кПа (0,05 Атм). Начальная температура трубки электровакуумного нагревателя составляла 23°C. После каждого нагрева трубка охлаждалась для проведения следующего опыта.

Проведены исследования с электровакуумными нагревателями (тепловые трубки) диаметром от 20 до 32 мм и длиной от 300 до 450 мм. Одни из результатов исследования приведены на рисунках 5 и 6, где приведен график зависимости времени набора температуры электровакуумного нагревателя весом 0,469 кг, при объеме теплоносителя 10 и 15 мл, потребляемая электрическая мощность

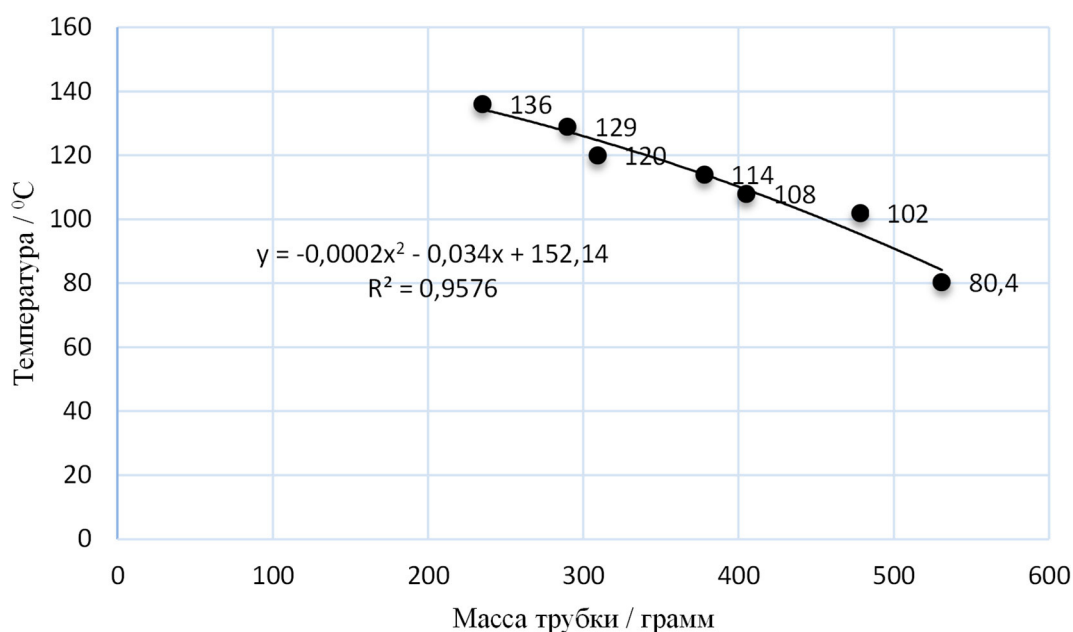


Рисунок 3 – График набора температуры электровакуумным нагревателем мощностью 60 Вт

составила 80 Вт. Использовалась тепловая трубка диаметром 32 мм и длиной 350 мм.

Обсуждение и выводы

Анализ графиков на рисунках 3 и 4 показал, что при увеличении массы электровакуумного нагревателя температура его поверхностей нагрева снижается, что позволяет при определенных параметрах выйти на температуру 80°C. Электровакуумный нагреватель способен работать в режиме конвективного и лучистого теплообмена. На рисунке 5 и 6 видно, что объем теплоносителя влияет на показатели набора температуры.

Исследования показали, что оптимальным объемом теплоносителя является объем от 10 до 15 мл. Установлено, что при увеличении объема на 20 мл и более показатели набора температуры снижаются, а уменьшение объема теплоносителя на 10 мл и менее негативно сказывается на достижении температуры трубки более 200°C. Соответственно объем теплоносителя должен быть в указанных пределах для трубки диаметром 32 мм, при увеличении диаметра трубки, а также ее длины, объем теплоносителя пропорционально увеличивается.

В процессе исследований установлено, что

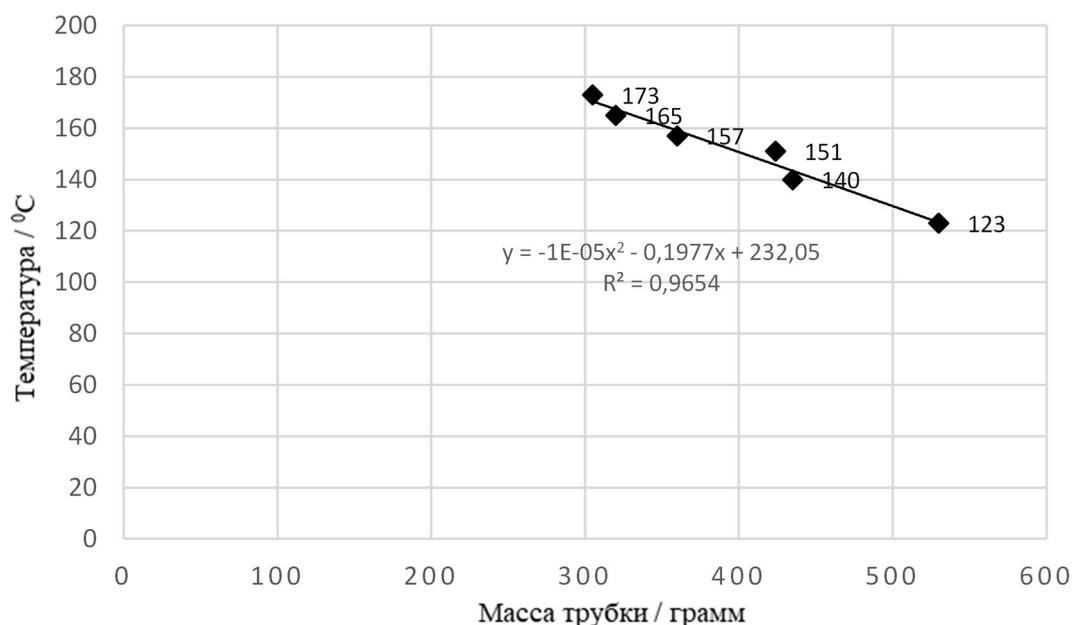


Рисунок 4 – График набора температуры электровакуумным нагревателем мощностью 80 Вт

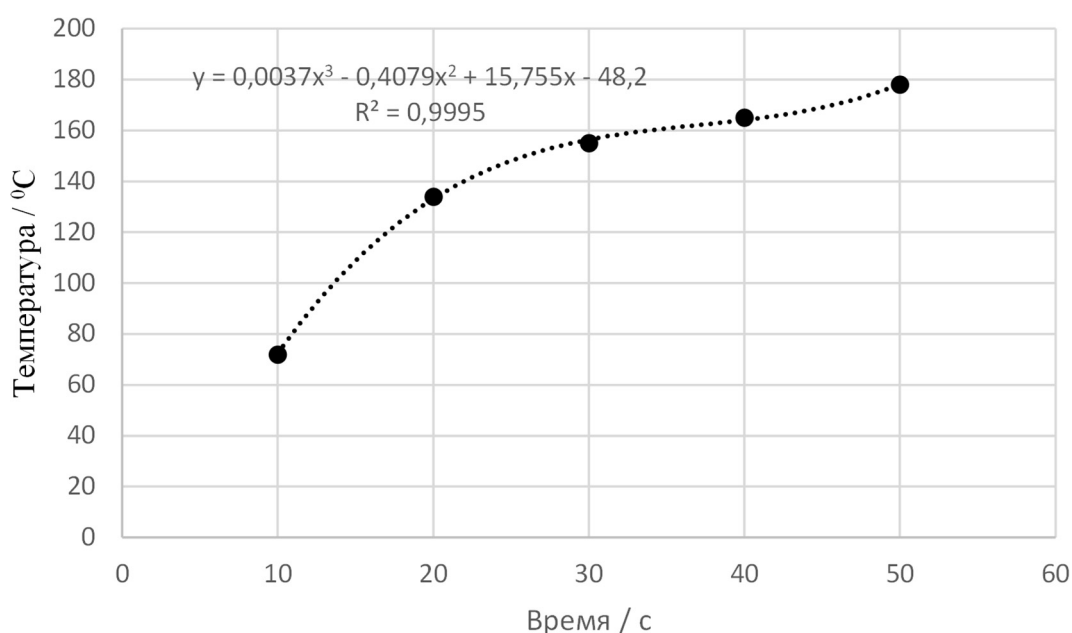


Рисунок 5 – График зависимости времени набора температуры электровакуумного нагревателя при объеме теплоносителя 10 мл

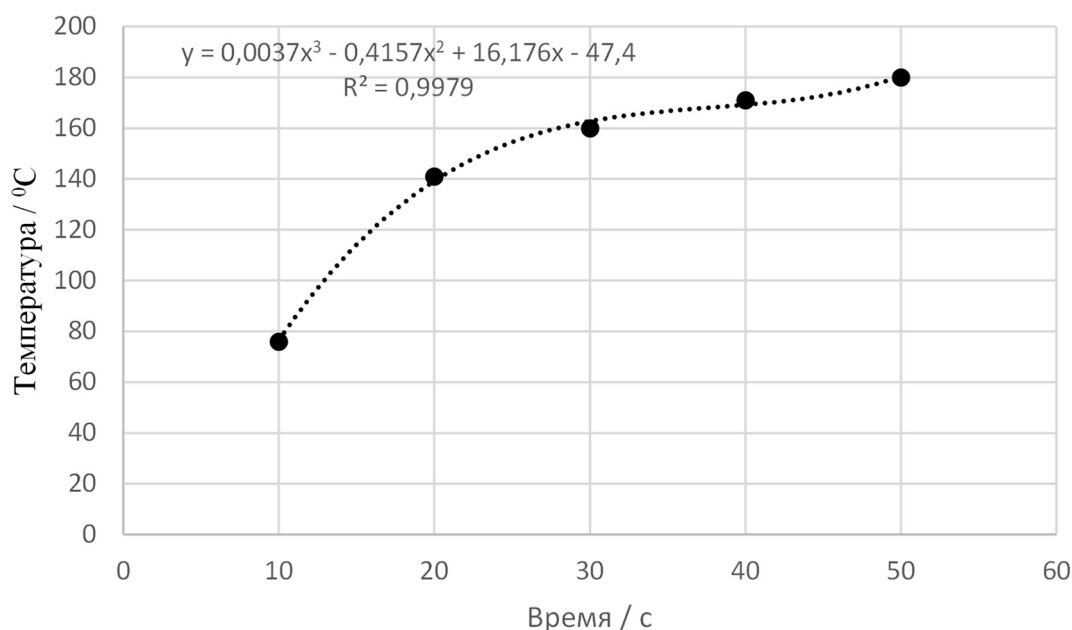


Рисунок 6 – График зависимости времени набора температуры электровакуумного нагревателя при объеме теплоносителя 15 мл

параметр давления внутри трубки влияет на эффективность нагрева электровакуумного нагревателя и снижение давления внутри трубки с 5,066 кПа (0,05 Атм) до 3,01 кПа (0,03 Атм) позволит увеличить эффективность работы электровакуумного нагревателя на 15-20%. Снижение давления позволяет уменьшить сопротивление движению тепловых частиц, что приводит к снижению потерь энергии на трение в более разреженной атмосфере. Скорость движения тепловых частиц электровакуумного нагревателя может достигать звуковой. В процессе исследований установлено, что при повышении давления во внутренней полости электровакуумного нагревателя, выше 0,1 Атм, эффект высокотемпературного нагрева полностью теряется и возникают проблемы с набором необходимой температуры.

Паровой электрообогреватель низкого давления может быть заменой масляному и спирально-

му электрическому обогревателю, сочетая в себе их преимущества, при этом производя комфортное тепло, а также работать в более эффективном конвекционно-лучистом режиме теплообмена. Паровой электрообогреватель низкого давления является экологически безопасным тепловым прибором, так как в качестве теплоносителя используется дистиллированная вода.

Благодарности

Все исследования, представленные в статье, проводились с использованием материально-технической базы Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина в рамках гранта ОК/00642 по теме «Энергосберегающий паровой электрообогреватель отрицательного давления» программы «Развитие связей между наукой и производством», а также в рамках диссертационного исследования докторанта Карагандинского технического университета Бузякова Р.Р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузяков Р.Р., Брейдо И.В. Перспективы применения электротехнологических систем для теплоснабжения промышленных предприятий // Сборник научн. статей IV междунар. науч. конф. «Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности». – Казань, 29-30 апреля 2020. – С. 42-47.
2. Мехтиев А.Д., Карпенко А.Н., Алдошина О.В., Югай В.В. Автономные системы отопления нового поколения: Монография. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2015. – 196 с.
3. Espatolero S., Romeo L.M., Escudero A.I., Kuivalainen R. An operational approach for the designing of an energy integrated oxy-fuel CFB power plant. International Journal of Greenhouse Gas Control. Vol. 64, pp. 204-211.
4. Taler J., Trojan M., Taler D., Dzierwa P., Kaczmarek K. Improving flexibility characteristics of 200 MW unit. Archives of thermodynamics. Vol. 38, i. 1, pp. 75-90.
5. Piccolo A., Pistone G. Estimation of heat transfer coefficients in oscillating flows: The thermoacoustic case. Int. J. Heat Mass Tran, 2006, Vol. 49, pp. 1631-1642.
6. Дан П.Д., Рей Д.А. Тепловые трубы / Пер. с англ. – М.: Энергия, 1979. – 272 с.
7. Мехтиев А.Д., Ким П.М. Радиатор отопления. Патент на полезную модель № 2816, опубл. 28.05.2018. Бюл. № 19.
8. Мехтиев А.Д., Ким П.М., Разинкин В.П. Радиатор отопления. Патент на изобретение № 32156, опубл. 15.06.2017. Бюл. № 11.

Бу электрлі жылытқыштың төмен қысымының индукциялық электр вакуумды жылдықтарының параметрлерін зерттеу

¹**МЕХТИЕВ Али Джаванширович**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, barton.kz@mail.ru,

²***БУЗЯКОВ Рустам Равильевич**, докторант, r.buzyakov@gmail.com,

³**КИМ Павел Михайлович**, директор, levap_64@mail.ru,

²**АЛЬКИНА Алия Даулетхановна**, аға оқытушы, alika_1308@mail.ru,

¹С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,

²Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

³«Конструктор 2014» ЖШС, Қазақстан, 100017, Қарағанды, Н. Абдиров даңғылы, 47/2,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл мақаланың мақсаты төмен қысымды бу электр жылытқышының индукциялық электр вакуумды қыздырғышын зерттеу нәтижелерін талдау болып табылады. Өндірістік бөлмелер кешендерін жылумен қамтамасыз ету үшін электр жылыту құрылғылары бар жүйелерді қолдану қажеттілігі туралы мәселе қарастырылады. Зерттеу тақырыбы бойынша әдебиеттерге талдау жүргізіледі. Төмен қысымды электрлі бу жылытқышының құрылымдық схемасы ұсынылған. Индукциялық электр вакуумды жылытқышты сынау схемасы сипатталған. Зерттеу электр вакуумды жылытқыштармен жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде төмен қысымды электрлі бу жылытқышы ыңғайлы жылуды өндіре отырып, олардың артықшылықтарын біріктіре отырып, май мен спиральды электр жылытқыштардың орнын басатыны анықталды, сонымен қатар конвекция-сәулелі жылу алмасу режимінде жұмыс істейді.

Кілт сөздер: радиатор, электр жылытқыш, энергия үнемдеу, вакуум, жылыту құрылғысы, жылыту жүйесі.

Research of Parameters of Induction Electric Vacuum Heater of Steam Electric Heater Low Pressure

¹**МЕКХТИЕВ Али**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, barton.kz@mail.ru,

²***БУЗЯКОВ Rustam**, doctoral student, r.buzyakov@gmail.com,

³**KIM Pavel**, Director, levap_64@mail.ru,

²**ALKINA Aliya**, Senior Lecturer, alika_1308@mail.ru,

¹S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis Avenue, 62,

²Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

³«Constructor 2014» LLP, Kazakhstan, 100017, Karaganda, N. Abdirov Avenue, 47/2,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this article is to analyze the results of a study of an induction electric vacuum heater of a low pressure steam electric heater. The question of the need to use systems with electric heating devices for heat supply of industrial premises is considered. The analysis of the literature on the research topic is carried out. The structural diagram of a low-pressure electric steam heater is presented. The scheme of testing an induction electric vacuum heater is described. Research has been carried out with electric vacuum heaters. As a result of research, it was found that a low-pressure electric steam heater can be a replacement for an oil and a spiral electric heater, combining their advantages, while producing comfortable heat, and also work in a more efficient convection-radiant heat exchange mode.

Keywords: radiator, electric heater, energy saving, vacuum, heating device, heating system.

REFERENCES

1. Buzyakov R.R., Breydo I.V. Perspektivy primeneniya elektrotekhnologicheskikh sistem dlya teplosnabzheniya promyshlennyykh predpriyatiy. Sbornik nauchn. statey IV mezhdunar. nauch. konf. «Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti» [Prospects of application of electrical technological systems for heat supply for industrial enterprises. Collection of scientific articles of the 4th international science conference «Priority areas of innovation in industry»]. – Kazan, 29-30.04.2020. – pp. 42-47.
2. Mekhtiev A.D., Karpenko A.N., Aldoshina O.V., Yugay V.V. Avtonomnye sistemy otopleniya novogo pokoleniya: Monografiya. [Autonomous heating systems of a new generation. Monograph.] – Karaganda: Publ. KSTU, 2015. – 196 p.
3. Espatolero S., Romeo L.M., Escudero A.I., Kuivalainen R. An operational approach for the designing of an energy integrated oxy-fuel CFB power plant. International Journal of Greenhouse Gas Control. Vol. 64, pp. 204-211.
4. Taler J., Trojan M., Taler D., Dzierwa P., Kaczmarek K. Improving flexibility characteristics of 200 MW unit. Archives of thermodynamics. Vol. 38, i. 1, pp. 75-90.
5. Piccolo A., Pistone G. Estimation of heat transfer coefficients in oscillating flows: The thermoacoustic case. Int. J. Heat Mass Tran. 2006, Vol. 49, pp. 1631-1642.
6. Dan P.D., Ray D.A. Heat Pipes / Transl. from English. Moscow, Energiya, 1979. 272 p.
7. Mekhtiev A.D., Kim P.M. Radiator otopleniya. Patent na poleznuyu model' [Radiator. Utility model patent] no. 2816, publ. 28.05.2018. Bull. No. 19.
8. Mekhtiev A.D., Kim P.M., Razinkin V.P. Radiator otopleniya. Patent na izobretenie [Radiator. Invention patent] no. 32156, publ. 15.06.2017. Bull. No. 11.