

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ СИСТЕМ «ТЕПЛЫЙ ПОЛ» В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИANALYSIS OF THE USE OF SELF-REGULATING HEATING ELEMENTS
FOR HEATED FLOOR SYSTEMS IN RURAL AREAS

Ключевые слова: саморегулируемый нагревательный элемент, сетко-трафаретная печать, энергосбережение, системы отопления, сельскохозяйственные дома.

Создание комфортных условий для проживания в сельской местности является важной государственной задачей. Основываясь на реальных условиях, уровне доходов сельских жителей, необходимо внедрять новые технологии в системы отопления их домов, которые являлись бы более эффективными по сравнению с аналогами, обеспечивали комфорт, были не дорогими при монтаже и эксплуатации. В работе исследованы параметры микроклимата при водяной системе отопления с электродкотлом, печном отоплении со встроенным бойлером, системе обогрева «теплый пол», при совместной работе системы обогрева «теплый пол» и водяной системы отопления с электродкотла. Рассмотрена новая разработка саморегулируемого нагревательного элемента, изготовленного по технологии сетко-трафаретной печати. Нагревательный элемент изготовлен из порошков графита и технического углерода, гомогенизированных с ультрадисперсным металлическим порошком Ni₃B в полимерном связующем, который обеспечивает эффект саморегуляции. Натурные исследования проводились в сельской местности в помещении площадью 24 м², для экспериментов был изготовлен стенд на основе прибора марки УКТ 138. Параметры теплоощущений оценивались по методике О. Фангера. Проведенные натурные исследования показали, что использование саморегулируемых нагревательных элементов целесообразно, они эффективно работают совместно с другими системами обогрева помещений. В ходе экспериментов было показано, что независимое использование регуляторов температуры отрицательно влияет на параметры микроклимата и приводит к перерасходу тепловой энергии в районе 20%. При использовании са-

морегулируемых нагревательных элементов не требуются внешние регулирующие устройства, при этом экономия энергетических ресурсов ориентировочно составляет около 10%.

Keywords: self-regulating heating element, screen printing, energy saving, heating systems, farm houses.

Creating comfortable living conditions in rural areas is an important state task. It is necessary to introduce new technologies in the heating systems of rural residents' houses, based on real conditions and their income level as the new technologies would be more efficient than their counterparts, they provide comfort and they are not expensive to install and operate. The research investigated the microclimate parameters in a water heating system with an electric boiler, furnace heating with integrated boiler, the heating system «warm floor», and a joint work of the heating system «warm floor» and a water heating system with a boiler. A new elaboration of a self-regulating heating element was created using grid-stencil printing technology. The heating element is made of graphite and technical carbon black powders homogenized with ultrafine Ni₃B metal powder in a polymer binder that provides a self-regulating effect. Backlot studies were carried out in rural areas in a room with an area of 24 m², and a stand was made for experiments based on a device of the UKT 138 brand. The parameters of heat sensations were evaluated by the method of O. Fanger. Backlot studies have shown that the use of self-regulating heating elements is appropriate; they work effectively together with other space heating systems. In the course of experiments, it was shown that the independent use of temperature controllers negatively affects the parameters of the microclimate and leads to 20% overspend of heat energy. When using self-regulating heating elements no external regulating devices are required and at the same time, energy savings are approximately 10%.

Шелехов Игорь Юрьевич, к.т.н., доцент, Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Российская Федерация, e-mail: promteplo@yandex.ru.

Shelekhov Igor Yuryevich, Cand. Tech. Sci, Assoc. Prof., Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation, e-mail: promteplo@yandex.ru.

Алтухов Игорь Вячеславович, д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, пос. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: altukhigor@yandex.ru.

Очилов Вадим Дансарунович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, пос. Молодежный, Иркутская область, Российская Федерация, e-mail: ochirov@igsha.ru.

Altukhov Igor Vyacheslavovich, Dr. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State University, village Molodezhny, Irkutsk region, Russian Federation, e-mail: altukhigor@yandex.ru.

Ochirov Vadim Dansurovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Irkutsk State University, village Molodezhny, Irkutsk region, Russian Federation, e-mail: ochirov@igsha.ru.

Введение

В постановлении Правительства РФ от 31 марта 2020 г. № 391 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий» особое внимание уделено благоустройству сельских территорий и улучшению среды обитания людей, проживающих в сельской местности.

Для создания комфортной среды проживания в жилых домах сельских жителей используются различные системы отопления, в том числе система «теплый пол». Применение системы «теплый пол» в сельской местности имеет свои особенности, связанные не только с конструктивными особенностями строения, но и с тарифной политикой региона на энергоносители. С учетом того, что в Иркутской области стоимость электрической энергии является самой низкой в стране, электрический нагрев для потребителей, которые удалены от центральной системы отопления, является приоритетным.

Используя систему «теплый пол», потребитель хочет иметь комфортную и экономную систему отопления, но применение других отопительных систем вносит серьезные изменения не только в параметры микроклимата, но и в экономичность работы. Влиянию различных систем друг на друга посвящены работы [1-4], в которых авторы приходят к одному выводу, что для того, чтобы общая система отопления работала слаженно и максимально эффективно, необходимо обеспечивать позонное управление.

Цель исследования – разработка саморегулируемого нагревательного элемента, с помо-

щью которого возможно будет конструировать позонную систему «теплый пол», чтобы в каждой зоне осуществлялся самоконтроль нагрева и равномерный нагрев всего отапливаемого пространства. Для этого необходимо подобрать состав греющего элемента, который будет иметь такой коэффициент термического сопротивления, при котором температура на нагревательном элементе будет находиться в заданном диапазоне.

Объекты и методы

Для исследований была выбрана комната площадью $S = 24 \text{ м}^2$ в одноэтажном жилом доме с наружной однослойной стеной из полного кирпича на цементно-песчаном растворе. Оконный проем комнаты заполнен блоком из клеёной древесины с двухкамерным стеклопакетом. Тепловые потери помещения составляют $Q = 2410 \text{ Вт}$ при температуре внутреннего воздуха $t_{в} = 20^{\circ}\text{C}$, температуре наружного воздуха $t_{н} = -33^{\circ}\text{C}$, температуре «точки росы» $t_{р} = 10,7^{\circ}\text{C}$, коэффициенте теплоотдачи внутренней поверхности стены $\alpha_{вст} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, коэффициенте теплоотдачи внутренней поверхности оконного блока $\alpha_{вок} = 8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$, коэффициенте теплоотдачи наружной поверхности стены и оконного блока $\alpha_{н} = 23,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Помещение отапливается 14 секциями чугунных батарей, в которые теплоноситель поступает из электробойлера, установленного в подвальном помещении, и бойлера, установленного в кирпичную печь с декоративным покрытием из керамической плитки. Нагреваемая поверхность печи, обращенная в сторону комнаты, составляет $0,7 \text{ м}^2$.

Экспериментальная часть

В комнате была установлена система «теплых полов» на основе пленочных саморегулируемых нагревательных элементов. Пленочные нагревательные элементы укладывались на деревянное покрытие пола через подложку, сверху нагревательных элементов был уложен ламинат. Пленочный нагревательный элемент был изготовлен по технологии сетко-трафаретной печати, описанной в патенте № 2713729 [5], где на полимерную поверхность через трафарет, нанесенный на сетке, наносится нагревающий слой из резистивной пасты в виде топологического рисунка. Резистивная паста состоит из смеси мелкодисперсных порошков графита и технического углерода, гомогенизированных с ультрадисперсным металлическим порошком Ni₃V в полимерном связующем. Порошок Ni₃V обеспечивает необходимый коэффициент термического сопротивления нагревательному элементу, чтобы обеспечить эффект саморегуляции. Длина и ширина топологического рисунка были выбраны так, чтобы обеспечить удельную расчетную мощность нагревательного элемента в 100 Вт/м², установленная номинальная мощность системы составила 1,7 кВт, а площадь покрытия пола – 70%.

Для контроля параметров микроклимата исследуемое помещение было разделено на во-

семь зон, в каждой зоне был установлен датчик температуры, данные с которого поступали в восьмиканальный измеритель температуры фирмы ОВЕН УКТ38, через интерфейс – в персональный компьютер, в персональном компьютере осуществлялся анализ температурной обстановки в помещении. Схема измерений представлена на рисунке 1.

Параметры микроклимата сопоставлялись с температурными параметрами, фиксируемые датчиками температуры на уровне пола, на уровне головы сидящего человека и на уровне головы стоящего человека, и оценивались в стационарном режиме в соответствии с методикой, предложенной П.О. Фангером, по параметрам теплоощущений исследуемых людей. Также оценивалась область распространения идентичных параметров теплоощущений. Каждому параметру теплоощущения соответствует цифровой показатель: -3 – холодно; -2 – прохладно; -1 – слегка прохладно; 0 – комфорт; 1 – слегка тепло; 2 – тепло; 3 – жарко [6]. На рисунке 2 представлен план комнаты, где проводились эксперименты с расположением датчиков температуры. В зонах, где расположены датчики температуры, оценивались параметры теплоощущений исследуемых людей.

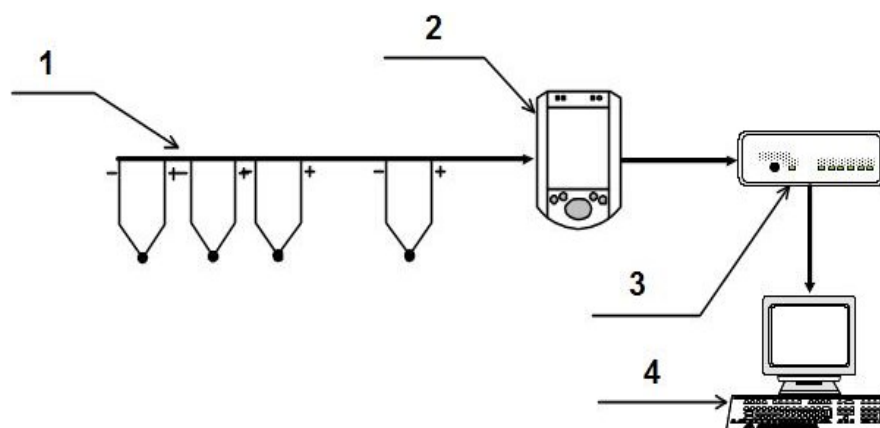


Рис. 1. Система контроля параметров микроклимата:
 1 – датчики температуры; 2 – прибор контроля температуры;
 3 – интерфейс; 4 – персональный компьютер

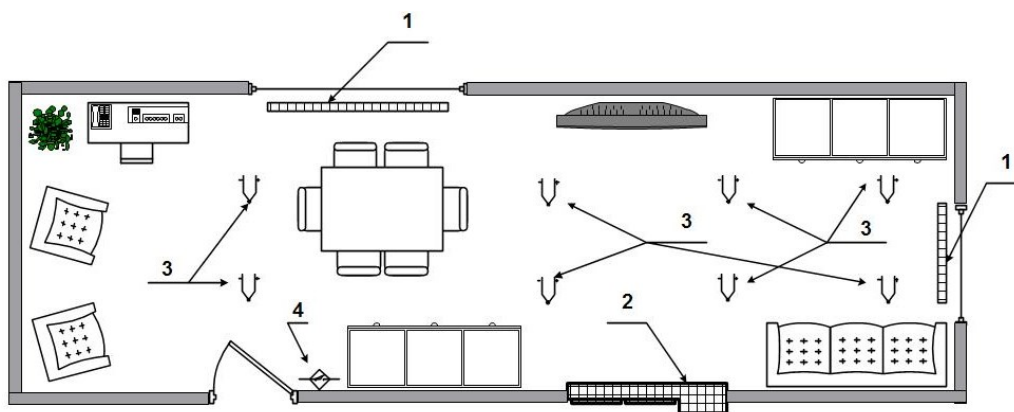


Рис. 2. План комнаты:

1 – отопительные приборы; 2 – поверхность печи, обращенная в сторону комнаты; 3 – место установки датчиков температуры; 4 – комнатный датчик температуры

Результаты и их обсуждение

В первом эксперименте рассматривались параметры микроклимата при работе водяной системы отопления с электродотом. Температура наружного воздуха в начале эксперимента составила -15°C с постепенным повышением до -10°C . Мощность электродота за период эксперимента менялась со значения 1640 до 1290 Вт. На рисунке 3 в графическом виде представлены параметры теплоощущений по площади комнаты.

Анализ параметров теплоощущений показал, что комфортные теплоощущения наблюдаются вдоль стены, где расположен комнатный датчик температуры, в районе расположения отопительных приборов – на уровне «слегка тепло», а в зонах постоянного пребывания людей – на уровне «слегка прохладно». Контрольный замер потребляемой электродотом электроэнергии был осуществлен при внешней температуре -12°C , потребляемая энергия электродота составила величину 1410 Вт·ч.

Во втором эксперименте рассматривались параметры микроклимата при работе печного отопления со встроенным бойлером. Температура наружного воздуха в начале эксперимента составила -14°C с постепенным повышением до -10°C . Потребляемая мощность оценивалась косвенным методом в период срабатывания комнатного датчика температуры. Для того, чтобы не было перерасхода топлива при работе печного отопления, рекомендуется использовать дополнительный источник энергии, ко-

торый может обеспечить регулировку своих параметров в зависимости от изменения внешних метеорологических параметров [7]. Подключение или отключение дополнительного источника говорит о том, что в этот момент мощность отопительной системы находится на грани «недотопа» и «перетопа», а фактически, в данный момент соотношение производимой тепловой мощности печным отоплением ориентировочно совпадает с теплотреблением системы, которая поддерживает заданные параметры микроклимата.

Анализ параметров теплоощущений, показанных на рисунке 4, показал, что в зоне постоянного пребывания людей теплоощущения перешли в уровень «комфортно», но при этом в зоне расположения рабочего стола установились теплоощущения «слегка прохладно». Учитывая температуру поверхности печи, обращенной в сторону комнаты, которая составила 64°C в момент температуры на улице -12°C . Градиент температуры между комнатой и поверхностью составляет 44°C , с учетом площади в $0,7 \text{ м}^2$, выделяемая тепловая мощность достигнет 523 Вт. Дополнительно комнату отапливают 14 секций радиаторов МС-140-108, площадь одной секции которого составляет $0,244 \text{ м}^2$, средняя температура воды в секции радиатора на момент проведения исследований достигала $t_{\text{ср}} = 57,5^{\circ}\text{C}$ при температуре воды на входе $t_{\text{вх}} = 65^{\circ}\text{C}$ и температуре воды на выходе $t_{\text{вых}} = 50^{\circ}\text{C}$ из отопительного прибора.

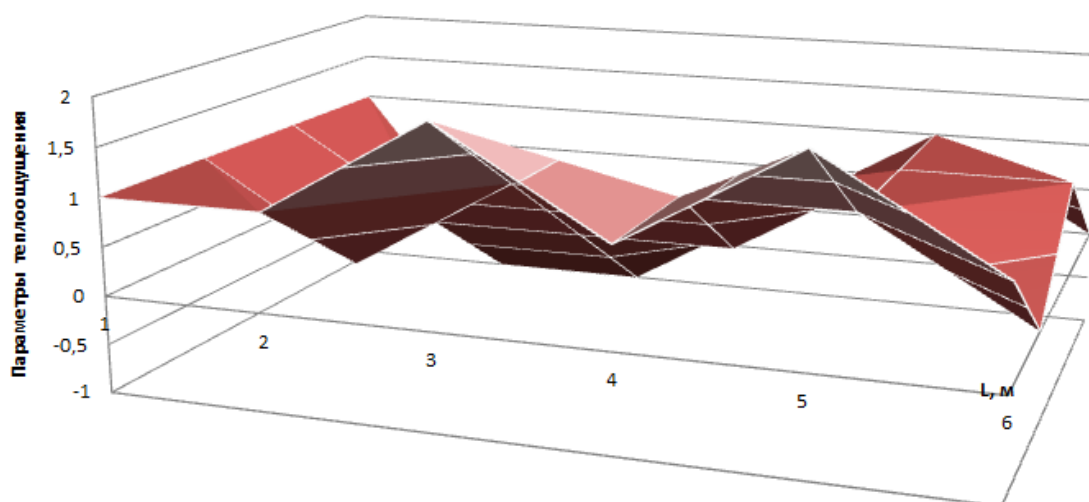


Рис. 3. Параметры теплоощущений при работе электрокотла

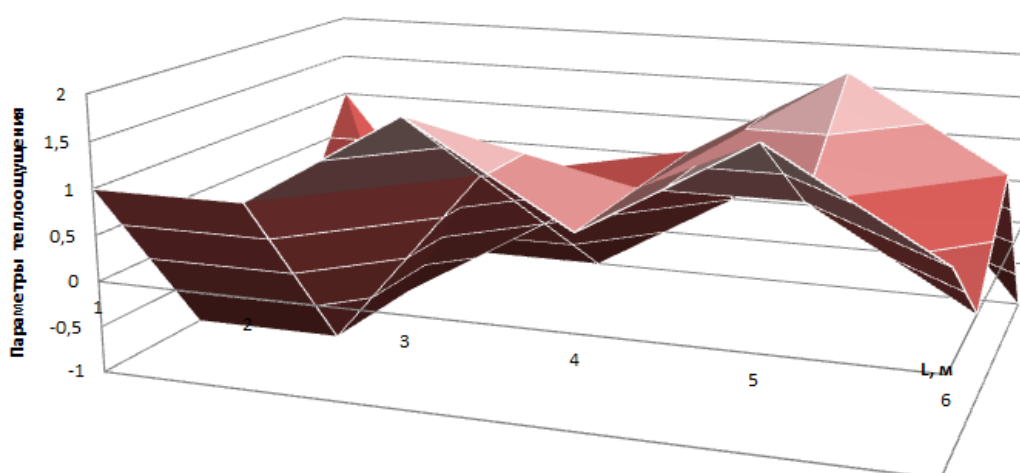


Рис. 4. Параметры теплоощущений при работе печного отопления со встроенным бойлером

Плотность теплового потока при $\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} - t_{\text{в}} = 57,5 - 20 = 32,5^{\circ}\text{C}$ определяем по формуле $q_{\text{пр}} = q_{\text{ном}}(\Delta t_{\text{ср}}/70)^{1,3} = 758 (32,5/70)^{1,3} = 279,6 \text{ Вт/м}^2$. Умножив данное значение на количество секций радиаторов, получим тепловыделение от отопительных приборов 955,11 Вт, а в сумме с поверхностью печи – 1478,11 Вт.

Как и следовало ожидать, количество тепловой энергии для обеспечения заданных параметров практически не изменилось, но произошло перераспределение тепловой энергии по площади помещения.

В третьем эксперименте рассматривались параметры микроклимата при работе системы «теплый пол», регулировка мощности осуществлялась от автоматики, аналогичной, что установлена в электрокотле. Температура

наружного воздуха в начале эксперимента составила -18°C с постепенным повышением до -12°C . В момент времени, когда температура на улице установилась в диапазоне -12°C , потребление электроэнергии системы составило 1618 Вт·ч. Параметры микроклимата представлены на рисунке 5.

Параметры теплоощущений в помещении при системе «теплый пол» показали, что в местах, где нет нагревательных элементов, теплоощущения на уровне «слегка прохладно», особенно это ярко видно в области окон.

В местах постоянного пребывания людей теплоощущения на уровне «комфортно», в местах, где отсутствует движение воздушных потоков, – на уровне «слегка тепло».

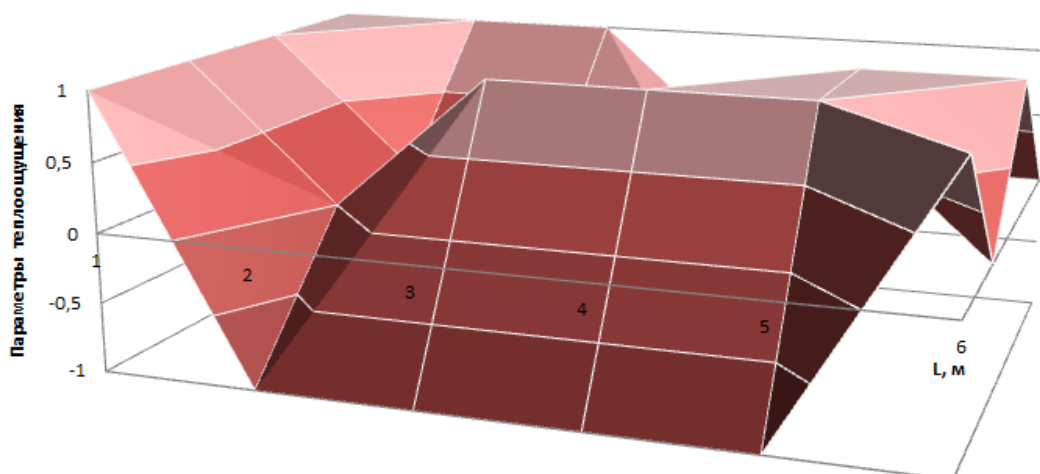


Рис. 5. Параметры теплоощущений при работе системы «теплый пол»

В четвертом эксперименте заданные параметры поддерживались системой «теплый пол» и водяной системой отопления с электродкотлом. Параметры у обеих систем поддерживались собственными автоматическими регуляторами температуры.

Несмотря на то, что параметры «слегка прохладно» по площади помещения отсутствуют, появилось несколько дополнительных зон «слегка тепло», общий расход энергии увеличился до значения 1744 Вт·ч. Анализируя параметры, представленные на рисунке 6, видно, независимая регулировка двух систем отопления отрицательно сказывается на общей работе. В данной ситуации установка интеллектуального алгоритма, скорее всего, выправила бы ситуацию, но по многим причинам установка данных систем в сельской местности мало реальна.

В пятом эксперименте заданные параметры поддерживались системой «теплый пол» и водяной системой отопления, работающей от печного отопления со встроенным бойлером. Все регулирующие устройства, предназначенные для поддержания заданных параметров, были отключены. Основываясь на данных второго эксперимента, количество твердого топлива в печь закладывалось в районе 50% от того количества, которое было необходимо для поддержания заданных параметров. При этом параметры микроклимата в помещении установились близкие к состоянию «комфортно», что наглядно видно на рисунке 7.

Отклонения от параметра «комфортно» в нескольких местах помещения незначительны. В основном они находились в промежуточном состоянии между «комфортно» и «слегка тепло» или «слегка холодно».

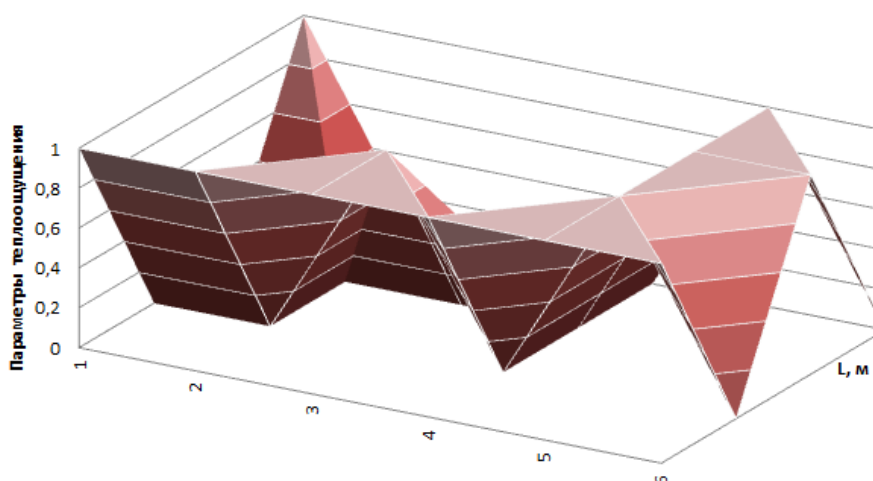


Рис. 6. Параметры теплоощущений при совмещенной работе двух систем отопления

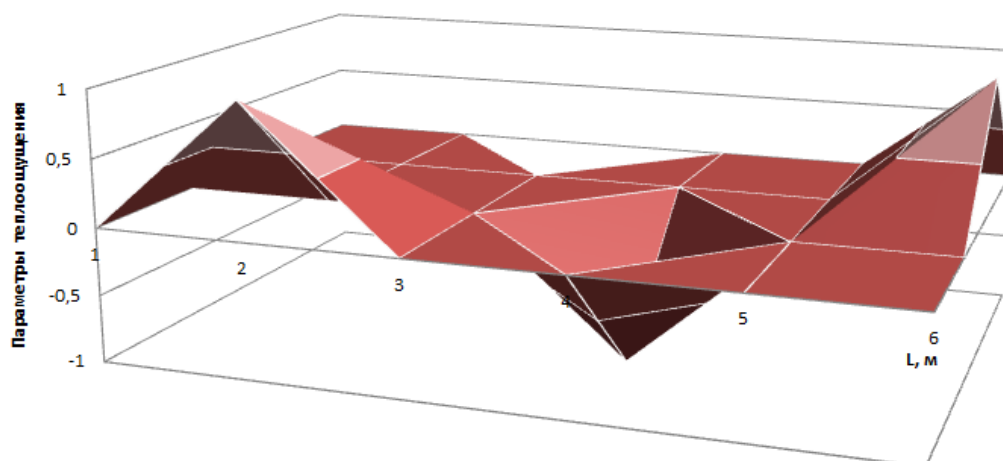


Рис. 7. Параметры теплоощущений при работе печного отопления со встроенным бойлером и системы «теплый пол»

Оценивая естественное движение воздушных потоков от одного окна к другому, наблюдалось отклонение в сторону «слегка холодно» у окна, где осуществляется естественный приток воздуха, а у окна, где осуществляется удаление воздуха, наблюдалось отклонение в сторону «слегка тепло». При внешней температуре -12°C потребление электроэнергии системой «теплый пол» составило 624 Вт·ч.

Эксперимент проводился при температуре от -20 до -12°C , высокая теплоотдача как системы водяного отопления, так и системы «теплый пол» смогла обеспечить благоприятные условия в течение длительного времени.

Заключение

Анализ экспериментальных данных показал, что при разумном расходовании энергетических ресурсов, включая твердое топливо, возможно обеспечить комфортное и экономичное проживание в сельской местности. При независимом использовании терморегулирующих устройств в различных системах отопления происходит перерасход энергии на величину около 20%, а параметры микроклимата ухудшаются. При использовании саморегулируемых нагревательных элементов в системе «теплый пол» не требуются регулирующие устройства, при этом параметры микроклимата остаются на уровне «комфортно», даже при значительных изменениях внешней температуры. Сравни-

тельные показатели систем отопления показали, что при использовании системы «теплый пол» с саморегулируемыми нагревательными элементами экономия энергетических затрат составляет в районе 10%.

Библиографический список

1. Pukhkal, V. The study of flat convective stream formed by use of recessed flood convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing / V. Pukhkal // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2017. – Т. 692. – С. 512-519.
2. Pukhkal, V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation / V. Pukhkal, V. Taurit // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2017. – Т. 692. – С. 379-390.
3. Труфанова, Н. М. Влияние различных условий обогрева на температурное поле в жилой комнате / Н. М. Труфанова, В. Э. Салаватов. – Текст: непосредственный // *Научно-технический вестник Поволжья*. – 2017. – № 4. – С. 208-211.
4. Qian Wang. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting – an investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses / Wang Qian, Ploskic Adnan, Holmberg Sture // *Journal of Energy and Buildings*. – 2016. – P. 250-264.

5. Патент на изобретение РФ № 2713729. Нагревательный элемент широкого спектра применения / Шелехов И. Ю.; дата регистрации 07.02.2020; опубл. 07.02.2020, Бюл. № 4. – Текст: непосредственный.

6. Банхиди, Л. Тепловой микроклимат помещений: Расчет комфортных параметров по теплоощущениям человека / Л. Банхиди; перевод с венгерского В. М. Беляева; под редакцией В. И. Прохорова – Москва: Стройиздат, 1981. – 248 с. – Текст: непосредственный.

7. Шелехов, И. Ю. Особенности использования отопительного оборудования в зданиях с переменным тепловым режимом / И. Ю. Шелехов, Т. И. Шишелова, Л. И. Духовный. – Текст: непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – Ч. 2. – С. 437-440.

References

1. Pukhkal, V. The study of flat convective stream formed by use of recessed flood convection heaters with natural air circulation in high height rooms with continuous glassing / V. Pukhkal // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Т. 692. – P. 512-519.

2. Pukhkal, V. The study of compact convective stream formed by use of recessed floor convection heaters with natural air circulation / V. Pukhkal, V. Taurit // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2017. – Т. 692. – P. 379-390.

3. Trufanova, N. M. Vliyaniye razlichnykh usloviy obogreva na temperaturnoe pole v zhiloy komnate / N. M. Trufanova, V. E. Salavatov. – Tekst: neposredstvennyj // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ya. – 2017. – № 4. – S. 208-211.

4. Qian, Wang. Ventilation heat recovery jointed low-temperature heating in retrofitting – an investigation of energy conservation, environmental impacts and indoor air quality in Swedish multifamily houses / Wang Qian, Ploskic Adnan, Holmberg Sture // Journal of Energy and Buildings. – 2016. – P. 250-264.

5. Patent na izobretenie RF № 2713729. Nagrevatel'nyj element shirokogo spektra primeneniya / Shelekhov I. Yu. // Data registracii 07.02.2020, opublikovano 07.02.2020. – Byul. № 4. – Tekst: neposredstvennyj.

5. Banhidi, L. Teplovoj mikroklimat pomeshchenij: Raschet komfortnykh parametrov po teplooshchushcheniyam cheloveka / L. Banhidi; per. s veng. V. M. Belyaeva; pod red. V. I. Prohorova. – M.: Strojizdat, 1981. – 248 s. – Tekst: neposredstvennyj.

7. Shelekhov, I. Yu. Osobennosti ispol'zovaniya otopitel'nogo oborudovaniya v zdaniyah s peremennym teplovym rezhimom / I. Yu. Shelekhov, T. I. Shishelova, L. I. Duhovnyj. – Tekst: neposredstvennyj // Fundamental'nye issledovaniya. – 2012. – № 3. – Ch. 2. – S. 437-440.



УДК 631.362

С.В. Леканов, А.П. Ломакин, Н.И. Стрикунов
S.V. Lekanov, A.P. Lomakin, N.I. Strikunov

СОВРЕМЕННЫЙ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНО-СУШИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС В ООО «АГРОЛАД» ПЕРВОМАЙСКОГО РАЙОНА АЛТАЙСКОГО КРАЯ

MODERN GRAIN CLEANING AND DRYING COMPLEX AT ООО «AGROLAD» IN THE PERVOMAYSKY DISTRICT OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: зерновой ворох, технологии очистки семян, зерноочистительный агрегат, зерноочистительная машина, зерновой материал, зерносушилка.

Keywords: grain heap, seed cleaning technology, seed cleaning plant, grain cleaning machine, grain material, grain dryer.