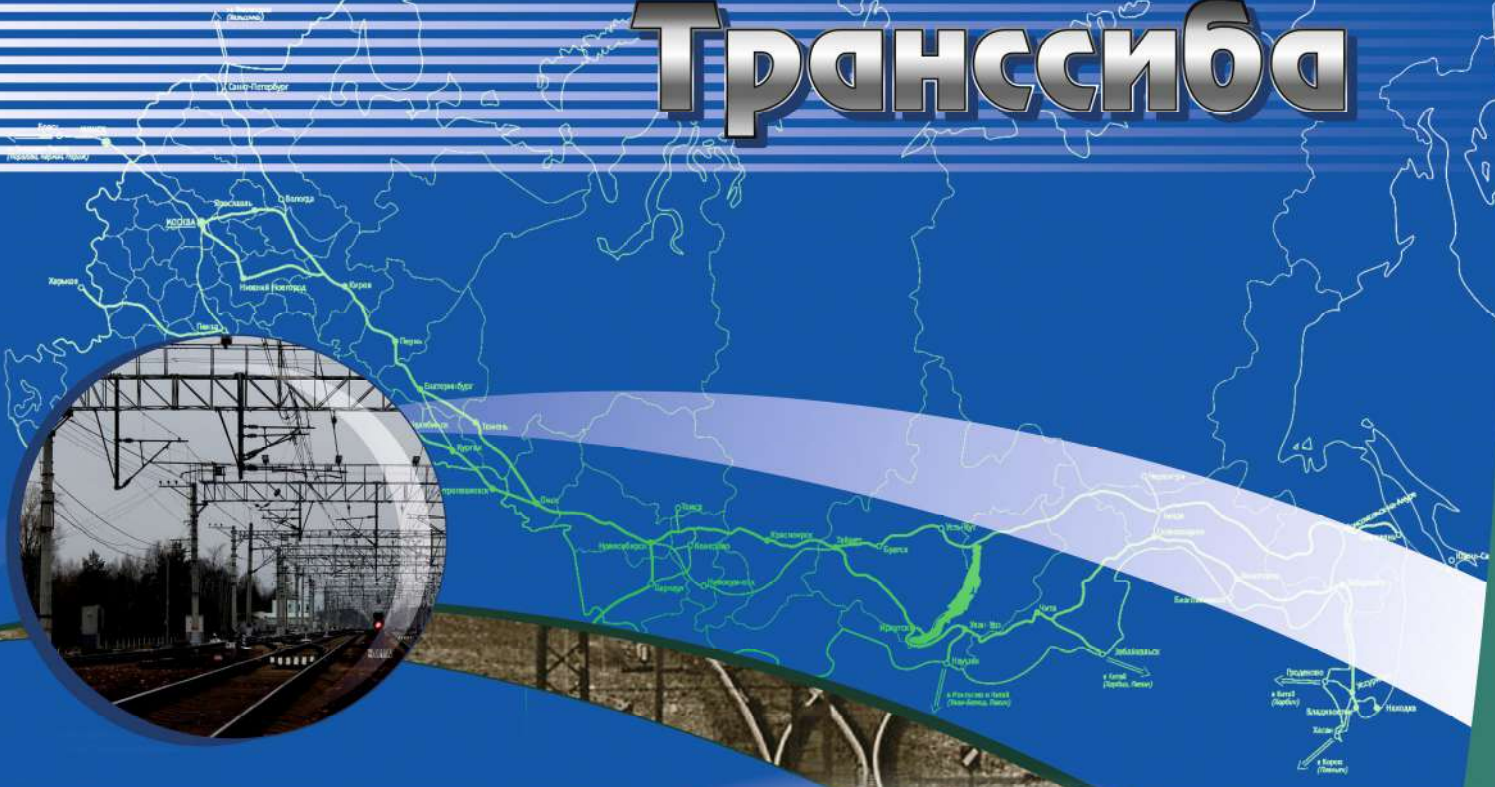


ИЗВЕСТИЯ

№ 4(40)

2019

Транссиб



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Тарута Виктор Федорович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 37-06-17.

E-mail: TarutaVF@gmail.com

Глухов Сергей Витальевич

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 37-06-23.

E-mail: svgluk@mail.ru

Глухова Мария Викторовна

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 37-06-23.

E-mail: Marta_omgups@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Тарута, В. Ф. Утилизация вторичных энергетических ресурсов при нагрузочных испытаниях тепловозов [Текст] / В. Ф. Тарута, С. В. Глухов, М. В. Глухова // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2019. – № 4 (40). – С. 70 – 77.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Taruta Victor Fedorovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the department «Locomotives», OSTU.

Phone: +7 (3812) 37-06-17.

E-mail: TarutaVF@gmail.com

Glukhov Sergey Vitalyevich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the department «Power system», OSTU.

Phone: +7 (3812) 37-06-23.

E-mail: svgluk@mail.ru

Glukhova Marya Victorovna

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. in Engineering, Associate Professor of the department «Power system», OSTU.

Phone: +7 (3812) 37-06-23.

E-mail: Marta_omgups@mail.ru

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Taruta V. F., Glukhov S. V., Glukhova M. V. Utilization of secondary energy resources load testing of locomotives. Journal of Transsib Railway Studies, 2019, vol. 4, no. 40, pp. 70 – 77 (In Russian).

УДК 699.865

Е. М. Резанов¹, П. В. Петров²

¹Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация,

²Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская проектная компания» (ООО «СПК»), г. Омск, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ СТЕН ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКАЕМОЙ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация. Предложена оптимизация утепления ограждающих конструкций стен зданий, учитывающая взаимосвязь конструктивных, теплотехнических, режимных параметров и экономических показателей. Целью исследования является определение оптимального значения толщины утепления теплоизоляционным материалом объекта, с учетом отпускаемой ему тепловой энергии. В проведенном исследовании использовались методы математического моделирования теплообмена, оптимизационной задачи. Приведены результаты исследования влияния толщины теплоизоляционного материала на технико-экономическую эффективность потребления зданием энергетических ресурсов и материальных затрат. Результаты показали снижение тепловых потерь через ограждающие конструкции, расхода потребления тепловой и электрической энергии на систему «отопление, вентиляция» и приведенных затрат.

Ключевые слова: теплоизоляция, толщина, эффективность, затраты, тепловая энергия, электроэнергия.

Evgeniy M. Rezanov¹, Pavel V. Petrov²

¹Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation,

²Limited Liability Company «Siberian Design Company» (LLC «SPK»), Omsk, the Russian Federation

INCREASING THE EFFICIENCY OF WARMING OF BUILDING WALLS TAKING INTO ACCOUNT THE REGULATION OF THE RELEASED HEAT ENERGY

Annotation. Optimization of insulation of walling of building walls is proposed, taking into account the relationship of structural, heat engineering, operating parameters and economic indicators. The purpose of research is to determine the optimal value of the thickness of the insulation with the heat-insulating material of the object, taking into account the thermal energy released to it. The study used methods of mathematical modeling of heat transfer, an optimization problem. The results of the study of the influence of the thickness of the insulating material on the technical and economic efficiency of the building's consumption of energy resources and material costs are presented. The results showed a decrease in heat losses through the building envelope, consumption of heat and electric energy for the heating, ventilation system and reduced costs.

Keywords: thermal insulation, thickness, efficiency, costs, thermal energy, electricity.

Сбережение энергетических ресурсов и материальных затрат является одним из направлений развития энергетики. Потребность в сбережении вызвана истощением природных ресурсов, экологическими проблемами. Оптимизация капитальных и эксплуатационных расходов в системах теплоснабжения объектов наиболее выгодна при выборе оптимального варианта, характеризуемого наименьшими затратами [1 – 3]. Поэтому актуальным вопросом является определение наиболее эффективных теплотехнических параметров утепления ограждающих конструкций зданий, учитывающих взаимосвязь с процессами регулирования энергетических ресурсов, затрачиваемых на систему «отопление, вентиляция и кондиционирование».

Объекты железнодорожной инфраструктуры (административные, общественные и производственные здания) подключены к инженерным сетям энергообеспечения теплотехнических систем. Указанные объекты имеют высокие эксплуатационные затраты на системы отопления, вентиляции и электроснабжения.

Применение теплоизоляционных материалов для утепления стен – основное мероприятие по повышению эффективности теплового режима зданий [4 – 6]. Однако это ведет к увеличению затрат на тепловую изоляцию, поэтому целесообразно определять оптимальную толщину утепления стен зданий.

Основной задачей является разработка эффективной методики расчета утепления стен зданий, способствующей определению минимальных капиталовложений и эксплуатационных расходов, с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии. Возможность решения данной задачи позволит уменьшить затраты на энергетические ресурсы.

Значение оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии (рисунок 1) можно найти исходя из минимума суммарных приведенных дисконтированных затрат на ограждающие конструкции стен здания $I_{ст}$ (р./год), при приравнении к нулю частных зависимых $Q_{ст}$ и $K_{ст}$ от $\delta_{ут}$ производных функции по оптимизируемому параметру [3]:

$$\frac{dI_{ст}}{d\delta_{ут}} = (86400z_{от}\Pi_T + b) \frac{dQ_{ст}}{d\delta_{ут}} + (E_{ст} + H) \frac{dK_{ст}}{d\delta_{ут}} = 0, \quad (1)$$

где $\delta_{ут}$ – толщина утепляющего слоя теплоизоляционного материала ограждающей конструкции стен здания, м; $z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут/год; Π_T – средняя годовая стоимость тепловой энергии, р./Дж; b – комплекс величин, учитывающий регулирование отпускаемой тепловой энергии; $Q_{ст}$ – тепловые потери через наружные стены,

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

Вт ; $E_{\text{ст}}$ – коэффициент эффективности инвестиций в утепление тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен здания, 1/год; H – норма отчислений в относительных единицах на амортизацию и ежегодное обслуживание системы теплового потребления здания, 1/год; $K_{\text{ст}}$ – капиталовложение в сберегающие мероприятия по утеплению тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен здания, р.

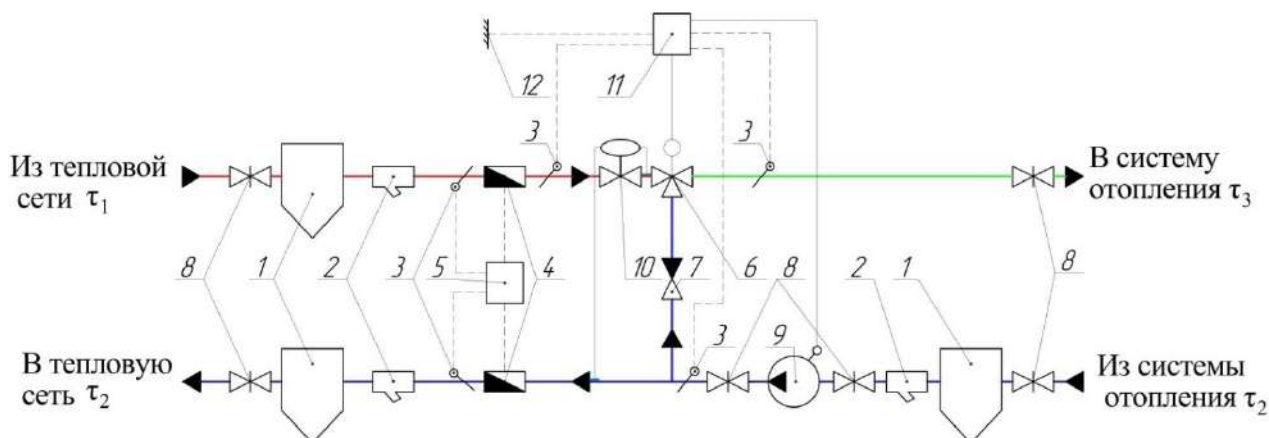


Рисунок 1 – Принципиальная схема узла регулирования отпускаемой тепловой энергии системы «отопление, вентиляция и кондиционирование» здания:

- 1 – грязевик; 2 – фильтр; 3 – датчик температуры; 4 – расходомер; 5 – тепловой вычислитель;
- 6 – трехходовой регулирующий клапан; 7 – обратный клапан; 8 – отключающая арматура;
- 9 – насос; 10 – регулятор перепада давления; 11 – регулятор по температурам;
- 12 – датчик температуры наружного воздуха

Решение уравнения (1) можно представить в виде:

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} = -R_{\text{уст}} \lambda_{\text{ут}} + \sqrt{\frac{(86400 z_{\text{от}} \Pi_{\text{т}} + b) \lambda_{\text{ут}} (\sum F_{\text{ст},i} (t_{\text{в},i} - t_{\text{от}}) n_i)}{r_0 \eta (E_{\text{ст}} + H) \Pi_{\text{ут}} F_{\text{ст}}}}; \quad (2)$$

$$b = \frac{\Pi_{\text{н}} k H_{\text{н}} \gamma Z_{\text{н}} N_{\text{н}}^{\text{раб}}}{\rho_{\text{в}} C_{\text{в}} (\tau_3 - \tau_2) \eta_{\text{п}} \eta_{\text{р}}}; \quad (3)$$

$$\tau_1 = t_{\text{в}} + \Delta t \bar{Q}_0^{-0,8} + (\delta \tau - 0,5 \Theta) \frac{\bar{Q}_0}{G_0}; \quad (4)$$

$$\tau_2 = t_{\text{в}} + \Delta t \bar{Q}_0^{-0,8} - 0,5 \Theta \frac{\bar{Q}_0}{G_0}; \quad (5)$$

$$\tau_3 = t_{\text{в}} + \Delta t \bar{Q}_0^{-0,8} + 0,5 \Theta \frac{\bar{Q}_0}{G_0}; \quad (6)$$

$$\bar{Q}_0 = \left(\frac{t_{\text{в}} - t_{\text{от}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{нх}}} \right); \quad (7)$$

где $\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}$ – оптимальная толщина утепляющего слоя теплоизоляционного материала стен здания, м; $R_{\text{уст}}$ – установленное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции стен здания, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $\lambda_{\text{ут}}$ – теплопроводность утепляющего слоя теплоизоляционного материала ограждающей конструкции стен здания, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; $F_{\text{ст},i}$ – площадь поверхности наружных ограждающих конструкций стен здания i -й зоны помещения, м^2 ; $t_{\text{в},i}$ – средняя температура внутреннего воздуха i -й зоны помещения здания, $^\circ\text{C}$; n_i – коэффициент, зависящий от положения i -й зоны наружной поверхности ограждающей конструкции стен здания по отношению к наружному воздуху; $t_{\text{от}}$ – среднесуточная температура наружного воздуха за отопительный период, $^\circ\text{C}$; r_0 – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции; η – коэффициент расхождения усредненности по площади условного сопротивле-

ния теплопередаче стен здания при утеплении его снаружи теплоизоляционным материалом; $\Pi_{\text{ут}}$ – стоимость 1 м³ утепляющего теплоизоляционного материала, р./м³; $F_{\text{ст}}$ – общая площадь поверхности наружных ограждающих конструкций стен здания после утепления его тепловой изоляцией, м²; $\Pi_{\text{н}}^{\text{эл}}$ – средняя годовая стоимость электрической энергии потребления перекачивающим насосом, р./(Вт·ч); $Z_{\text{н}}$ – продолжительность работы насоса в течение суток, ч; $N_{\text{н}}^{\text{раб}}$ – число рабочих дней в году насосного оборудования, 1/год; k – коэффициент запаса; $H_{\text{н}}$ – напор, развиваемый насосом, м; γ – удельный вес перекачиваемой жидкости, Н/м³; $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент полезного действия передачи; $\eta_{\text{р}}$ – коэффициент полезного действия насоса; $\rho_{\text{в}}$ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³; $C_{\text{в}}$ – теплоемкость перекачиваемой жидкости, Дж/кг·°С; τ_1 – текущая температура жидкости в подающем трубопроводе тепловой сети, °С; τ_3 – текущая температура перекачиваемой жидкости в подающем трубопроводе системы «отопление, вентиляция и кондиционирование», °С; τ_2 – текущая температура перекачиваемой жидкости в обратном трубопроводе системы «отопление, вентиляция и кондиционирование», °С; $t_{\text{в}}$ – средняя расчетная температура внутреннего воздуха помещений здания, °С; Δt – расчетный температурный напор в нагревательных приборах отопительной системы, °С; \bar{Q}_0 – относительная нагрузка системы «отопление, вентиляция и кондиционирование»; $t_{\text{нх}}$ – температура наружного воздуха в наиболее холодный период года, °С; $\delta\tau$ – расчетный температурный перепад в сети, °С; Θ – расчетный температурный перепад в отопительной системе, °С; \bar{G}_0 – относительный расход воды на систему «отопление, вентиляция и кондиционирование»:

- при качественном регулировании $\bar{G}_0 = 1$,
- при количественном регулировании

$$\bar{G}_0 = \frac{\bar{Q}_0}{1 + \frac{\Delta t}{\delta\tau - 0,5 \cdot \Theta} \cdot (1 - \bar{Q}_0^{0,8})}, \quad (8)$$

- при качественно-количественном регулировании

$$\bar{G}_0 = \bar{Q}_0^{0,33}. \quad (9)$$

На основании уравнений (1) – (9), свода правил «Тепловая защита зданий» [5] и методики [6] разработано программное обеспечение «Определение оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен здания» [7].

Расход отпускаемой тепловой энергии зданию на систему «отопление, вентиляция и кондиционирование» $Q_{\text{от}}$ (Вт) можно записать из баланса теплового потребления [5 – 9] в виде:

$$Q_{\text{от}} = G_{\text{в}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (\tau_3 - \tau_2) = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{ч}} + Q_{\text{ок}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{пол}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{тс}} - Q_{\text{с}} - Q_{\text{т}}, \quad (10)$$

где $G_{\text{в}}$ – расход перекачиваемой жидкости в системе «отопление, вентиляция и кондиционирование», м³/с; $Q_{\text{ч}}$ – тепловые потери через чердачные перекрытия (покрытия), Вт; $Q_{\text{ок}}$ – тепловые потери через светопрозрачные конструкции (оконные блоки, зенитные фонари и витражи), Вт; $Q_{\text{дв}}$ – тепловые потери через наружные двери и ворота, Вт; $Q_{\text{пол}}$ – тепловые потери через пол, Вт; $Q_{\text{инф}}$ – тепловые потери за счет инфильтрации и вентиляции, Вт; $Q_{\text{тс}}$ – тепловые потери трубопроводной системой «отопление, вентиляция и кондиционирование», проходящей через неотапливаемые помещения, Вт; $Q_{\text{с}}$ – тепловые поступления от солнечной радиации, Вт; $Q_{\text{т}}$ – бытовые тепловыделения в здании, Вт.

Годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при регулировании отпускаемой тепловой энергии (Вт·ч/год) [8]

$$\mathcal{E}_{\text{н}} = Z_{\text{н}} \cdot N_{\text{н}}^{\text{раб}} \cdot P_{\text{н}}, \quad (11)$$

где P_n – средняя мощность работы насосного оборудования, Вт,

$$P_n = \frac{k \cdot Q_{от} \cdot H_n \cdot \gamma}{\rho_v \cdot C_v \cdot (\tau_3 - \tau_2) \cdot \eta_n \cdot \eta_p} \quad (12)$$

Проведение численных исследований проводилось при реконструкции производственного здания с административно-бытовой вставкой Западно-Сибирской дирекции по тепловодоснабжению ОАО «РЖД», г. Омск, станция Омск-Пассажирский, Нобелевский тупик, 4 [10 – 12]. По проекту реконструкции здание состоит из технологических залов с расположенным в нем оборудованием и административно-бытовой вставкой. Административно-бытовой блок отделен от котельных залов существующими кирпичными стенами, дверями.

Отопление котельного зала осуществляется с помощью отопительно-воздушных агрегатов и за счет тепловых избытков от основного оборудования.

Система отопления административно-бытовой вставки двухтрубная с нижней разводкой, отпуск тепловой энергии осуществляется насосом (рекомендовано с частотным регулированием), а теплоотдача нагревательных приборов производится с помощью термостатических клапанов. Удаление воздуха осуществляется воздухоотводчиками в отопительных приборах и в верхних точках системы. Для балансировки системы отопления применяются балансировочные клапаны, установленные на каждом стояке системы отопления. Тепло в систему «отопление, вентиляция» поступает от котлоагрегатов с расчетным температурным графиком 95/70 °С. Средняя годовая стоимость тепловой энергии 0,3 р./МДж и средняя годовая стоимость электрической энергии потребления перекачивающим насосом 3,2 р./(кВт·ч) [12].

Система вентиляции котельного зала – приточная механическая вентиляция из расчета трехкратного воздухообмена и компенсации воздуха, идущего на горение, забираемого из помещения котельной. В помещениях административно-бытовой вставки предусмотрена естественная система вентиляции.

Кондиционирование предусматривает установку настенных моделей кондиционеров, что позволяет индивидуально регулировать параметры микроклимата помещений в рамках общего режима работы на охлаждение.

Наружные стены по проекту реконструкции административно-бытовой вставки [12]: кирпичная кладка толщиной 0,51 м с коэффициентом теплопроводности 0,5 Вт/(м·°С); рекомендованы теплоизоляционные сэндвич-панели из минеральных плит на основе базальтового волокна – 0,1 м, 0,044 Вт/(м·°С); ветрозащитная мембрана – 0,0015 м, 0,4 Вт/(м·°С).

Численные исследования влияния изменения толщины теплоизоляционных сэндвич-панелей из минеральных плит на основе базальтового волокна с коэффициентом теплопроводности 0,044 Вт/(м·°С) и стоимостью 1190 р./м³ [11] на технико-экономическую эффективность, показали: уменьшение затрат $I_{ст}$ при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии с оптимальной толщиной 0,096 м (рисунок 2); снижение тепловых потерь через наружные стены $Q_{ст}$, расхода тепловой энергии здания на систему «отопление, вентиляция» $Q_{от}$ (рисунок 3) и электрической энергии на перекачиваемую жидкость в системе «отопление, вентиляция» \mathcal{E}_n (рисунок 4).

На рисунках 2 – 4 приняты следующие обозначения:

$I_{ст}^{кач}$ – затраты по утеплению наружных ограждающих конструкций стен здания при качественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год;

$I_{ст}^{кач-кол}$ – затраты по утеплению наружных ограждающих конструкций стен здания при качественно-количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год;

$I_{ст}^{кол}$ – затраты по утеплению наружных ограждающих конструкций стен при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, р./год;

$\mathcal{E}_n^{кач}$ – расчетный годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при качественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт·ч/год;

Совершенствование промышленных теплосистем, теплотехнического и теплового оборудования

$\mathcal{E}_n^{\text{кач-кол}}$ – расчетный годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при качественно-количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт·ч/год;

$\mathcal{E}_n^{\text{кол}}$ – расчетный годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт·ч/год.

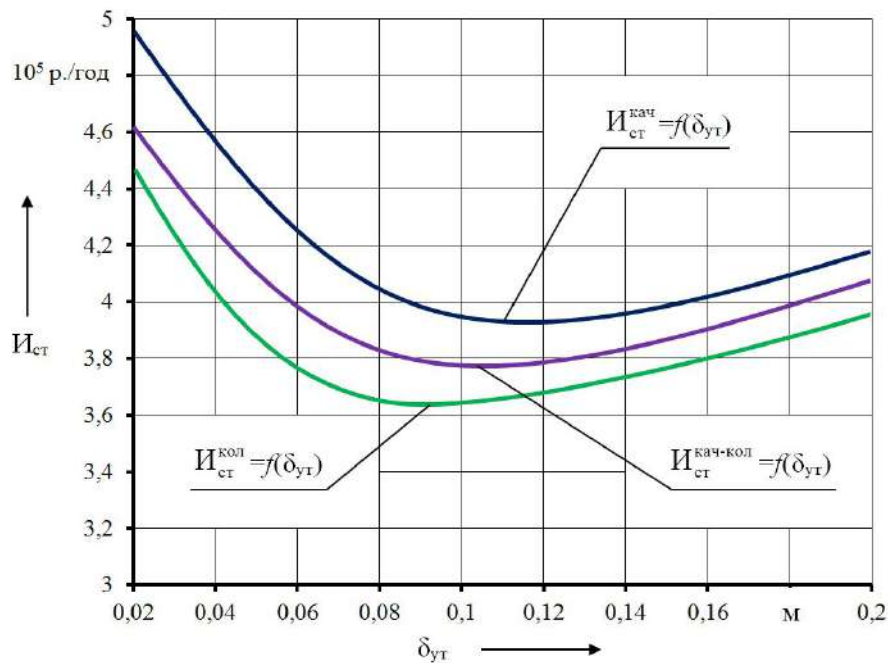


Рисунок 2 – Зависимости $I_{\text{ст}}^{\text{кач}}$, $I_{\text{ст}}^{\text{кач-кол}}$ и $I_{\text{ст}}^{\text{кол}}$ от $\delta_{\text{ут}}$

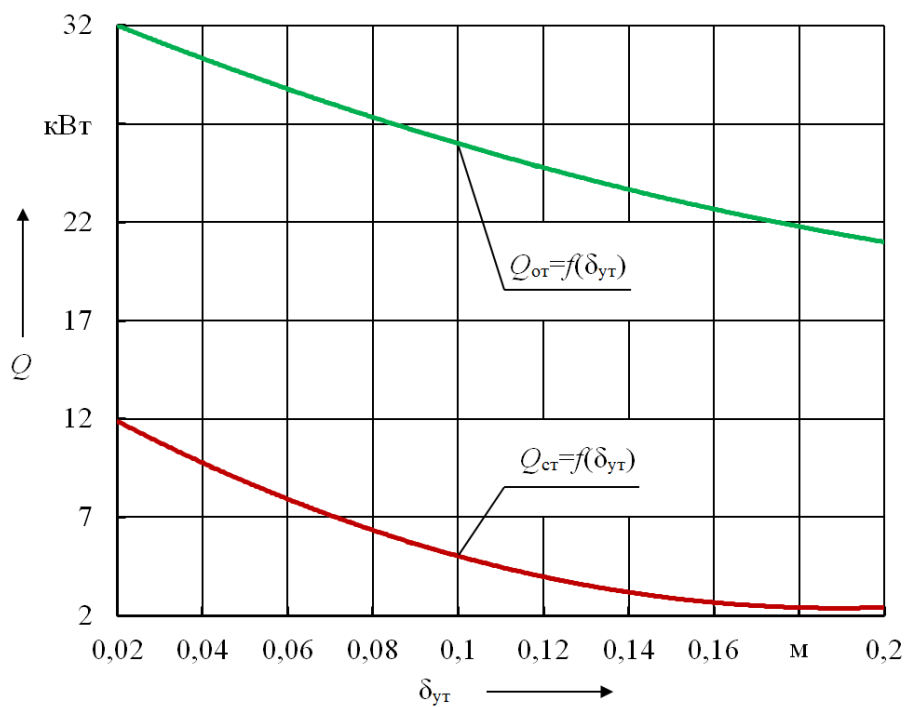


Рисунок 3 – Зависимости $Q_{\text{ст}}$, $Q_{\text{от}}$ от $\delta_{\text{ут}}$

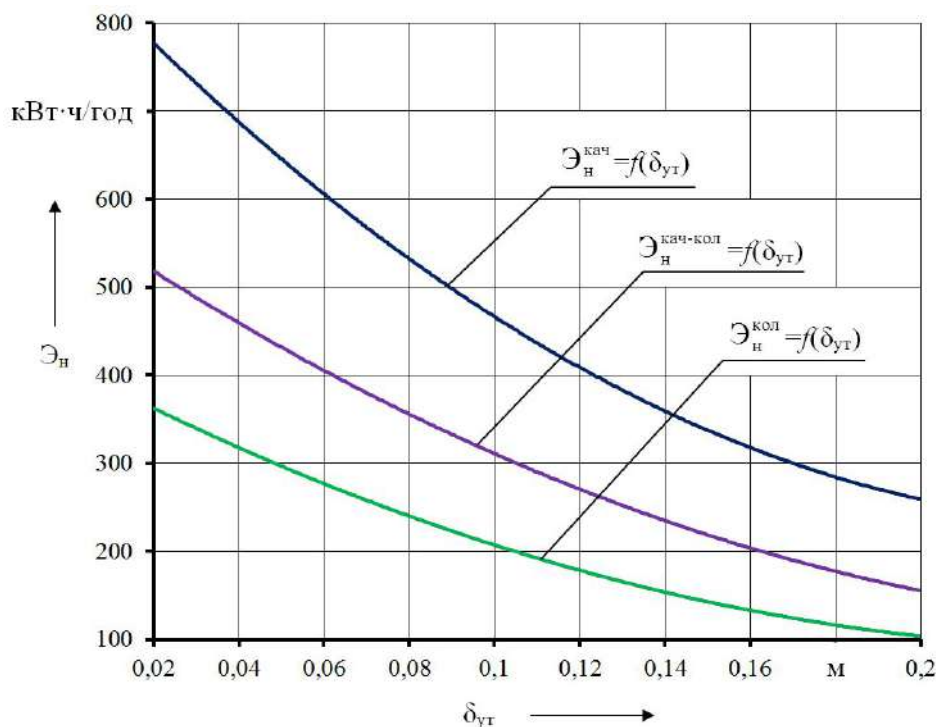


Рисунок 4 – Зависимости $\text{Э}_{н}^{\text{кач}}$, $\text{Э}_{н}^{\text{кач-кол}}$ и $\text{Э}_{н}^{\text{кол}}$ от $\delta_{ут}$

Результаты численного исследования (см. рисунки 2 – 4) подтверждают рациональность применения технико-экономической оптимизации утепления стен здания: получен минимум приведенных затрат при снижении расхода тепловых потерь через ограждающие конструкции, потребления тепловой и электрической энергии на систему «отопление, вентиляция». Рекомендации были приняты в проект реконструкции производственного здания с административно-бытовой вставкой Западно-Сибирской дирекции по тепловодоснабжению ОАО «РЖД».

Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности использования предложенных разработок, способствующих определению оптимальной толщины утепления теплоизоляционным материалом стен объектов, нахождению минимальных приведенных затрат, выгодному выбору способа регулирования отпускаемой тепловой энергии и направлены на повышение класса энергоэффективности зданий.

Список литературы

1. Hong, T. Data and analytics to inform energy retrofit of high performance buildings / Tianzhen Hong, Le Yang, David Hill, et al. // Applied Energy. – 2014. – № 126. – P. 90 – 106.
2. Оптимизация затрат при проектировании и эксплуатации тепловых схем и систем теплоснабжения потребителей [Текст] / В. Р. Ведрученко, П. В. Петров и др. // Промышленная энергетика / ЗАО «НТФ «Энергопрогресс». – М. – 2013. – № 2(143). – С. 23 – 27. Режим доступа: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/168/112> (дата обращения: 04.12.2019).
3. Определение оптимальной толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий при капитальном ремонте [Текст] / В. Р. Ведрученко, Е. М. Резанов и др. // Омский научный вестник / Омский гос. техн. ун-т. – Омск. – 2015. – № 3(143). – С. 254 – 258. Режим доступа: http://vestnik.omgtu.ru/images/stories/arhiv/2015/3_143_2015/201-258tehn_7.pdf (дата обращения: 04.12.2019).
4. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment. – 2012. – Vol. 47. – P. 13 – 22.

5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 96 с. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525> (дата обращения: 04.12.2019).

6. Методика эффективного расчета утепления наружных ограждающих конструкций стен зданий при проведении капитального ремонта [Электронный ресурс] / Е. М. Резанов, П. В. Петров и др. // Омский научный вестник / Омский гос. техн. ун-т. – Омск. – 2016. – № 6 (150). – С. 109 – 113. Режим доступа: http://vestnik.omgtu.ru/images/stories/arhiv/2016/6_150_2016/64-113elektro.pdf (Дата обращения: 04.12.2019).

7. Свидет. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2016616691 Российская Федерация. Определение оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен здания [Текст] / заявитель и патентообладатель П. В. Петров. – № 2016614064; заявл. 20.04.2016; опубл. 20.07.2016. Режим доступа: <https://www1.fips.ru/Archive/EVM/2016/2016.07.20/DOC/RUNW/000/002/016/616/691/DOCUMENT.PDF> (дата обращения: 04.12.2019).

8. Шилкин, Н. В. Методы повышения тепловой эффективности зданий и их экономическая оценка [Текст]: Дис... канд. техн. наук: 05.23.03 / Шилкин Николай Васильевич. – Москва, 2007. – 174 с.

9. Фролова, А. А. Выбор теплозащиты офисных зданий с учетом энергетических и экономических показателей систем климатизации [Электронный ресурс]: Дис... канд. техн. наук: 05.23.03 / Фролова Анастасия Анатольевна. – Москва, 2017. – 147 с. Режим доступа: <https://docplayer.ru/75068255-Frolova-anastasiya-anatolevna-vybor-teplozashchity-ofisnyh-zdaniy-s-uchetom-energeticheskikh-i-ekonomicheskikh-pokazateley-sistem-klimatizacii.html> (дата обращения: 04.12.2019).

10. Реконструкция котельной ТЧ станции Омск-Пассажи́рский. Западно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению [Текст] / Проектная документация: 154-14-05-03-ИОС4 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети» / АО «НПП «Омэнергопром»: разработали Р. В. Корепов и др., согласовал Е. А. Евтушенко. – Омск, 2015. – 17 с.

11. Реконструкция котельной ТЧ станции Омск-Пассажи́рский Западно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению [Текст] / Проектная документация: 154-14-05-03-СД «Смета на строительство объектов капитального строительства» // АО «НПП «Омэнергопром»: разработали Р. В. Корепов и др., согласовал Е. А. Евтушенко. – Омск, 2015. – 62 с.

12. Реконструкция котельной ТЧ станции Омск-Пассажи́рский. Западно-Сибирская дирекция по тепловодоснабжению [Текст] / Проектная документация: 154-14-05-03-ЭЭ «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов» // АО «НПП «Омэнергопром»: разработали Р. В. Корепов и др., согласовал Е. А. Евтушенко. – Омск, 2015. – 39 с.

References

1. Hong, T. Data and analytics to inform energy retrofit of high performance buildings / Tianzhen Hong, Le Yang, David Hill, et al. // Applied Energy. – 2014. – № 126. – P. 90 – 106.

2. Vedruchenko V. R., Petrov P. V. et al. Cost optimization in the design and operation of thermal circuits and heat supply systems for consumers [Optimizaciya zatrat pri proektirovanii i e`kspluatatsii teplovy`x sxem i sistem teplosnabzheniya potrebitelej]. *Promy`shlennaya e`nergetika – Industrial power engineering*, 2013, no. 2 (143), pp. 23 – 27. Access mode: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/168/112> (Revised: 04.12.2019).

3. Vedruchenko V. R., Rezanov E. M. et al. Determination of the optimum thickness of the thermal insulation of the building envelope during overhaul [Opredelenie optimal`noj tolshhiny` teplovoj izolyacii ograzhdayushhix konstrukcij zdaniy pri kapital`nom remonte]. *Omskij nauchny`j vestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 2015, no. 3 (143). pp. 254 – 258. Access mode: http://vestnik.omgtu.ru/images/stories/arhiv/2015/3_143_2015/201-258tehn_7.pdf (Revised: 04.12.2019).

4. Cheng Y., Nin J., Gao N. Thermal comfort models: A review and numerical investigation // Building and Environment, 2012, Vol. 47, P. 13 – 22.
5. *Teplovaya zashhita zdaniy* (Thermal protection of buildings, SP 50.13330.2012), Moscow, Standartinform, 2012, 96 p. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525> (Revised: 04.12.2019).
6. Rezanov E. M., Petrov P. V. Methodology for the effective calculation of insulation of external walling of buildings during major repairs [Metodika e`ffektivnogo rascheta utepleniya naruzhny`x ograzhdayushhix konstrukcij sten zdaniy pri provedenii kapital`nogo remonta]. *Omskij nauchny`j vestnik – Omsk Scientific Bulletin*, 2016, no. 6 (150), pp. 109 – 113. Access mode: http://vestnik.omgtu.ru/images/stories/arhiv/2016/6_150_2016/64-113elektro.pdf (Revised: 04.12.2019).
7. Petrov P. M. *Svidet. o gos. reg. programmy` RU № 2016616691*, 20.07.2016. Access mode: <https://www1.fips.ru/Archive/EVM/2016/2016.07.20/DOC/RUNW/000/002/016/616/691/DOCUM ENT.PDF> (Revised: 04.12.2019).
8. Shilkin N. V. *Metody` povы`sheniya teplovoj e`ffektivnosti zdaniy i ix e`konomicheskaya ocenka* (Methods for increasing the thermal efficiency of buildings and their economic evaluation). Doctor's thesis, Moscow, 2007, 174 p.
9. Frolova A. A. *Vy`bor teplozashhity` ofisny`x zdaniy s uchetom e`nergeticheskix i e`konomicheskix pokazatelej sistem klimatizacii* (The choice of thermal protection for office buildings, taking into account the energy and economic indicators of air conditioning systems). Doctor's thesis, Moscow, 2017, 174 p. Access mode: <https://docplayer.ru/75068255-Frolova-anastasiya-anatolevna-vybor-teplozashhity-ofisnyh-zdaniy-s-uchetom-energeticheskix-i-ekonomicheskix-pokazatelej-sistem-klimatizacii.html> (Revised: 04.12.2019).
10. *Rekonstrukciya kotel`noj TCh stancii Omsk-Passazhirskij Zapadno-Sibirskaya direkciya po teplovodosnabzheniyu* [Reconstruction of the boiler room of the PM station Omsk-Passenger West-Siberian Directorate for Heat Supply] / Proektnaya dokumentaciya: 154-14-05-03-IOS4 «Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduxa, teplovy`e seti» // AO «NPP «Ome`nergoprom»: razrabotal R. V. Korepov i dr., soglasoval E. A. Evtushenko. Omsk, 2015, 17 p.
11. *Rekonstrukciya kotel`noj TCh stancii Omsk-Passazhirskij Zapadno-Sibirskaya direkciya po teplovodosnabzheniyu* [Reconstruction of the boiler room of the PM station Omsk-Passenger West-Siberian Directorate for Heat Supply] / Proektnaya dokumentaciya: 154-14-05-03-SD «Smeta na stroitel`stvo ob`ektov kapital`nogo stroitel`stva» // AO «NPP «Ome`nergoprom»: razrabotal R. V. Korepov i dr., soglasoval E. A. Evtushenko. Omsk, 2015, 62 p.
12. *Rekonstrukciya kotel`noj TCh stancii Omsk-Passazhirskij Zapadno-Sibirskaya direkciya po teplovodosnabzheniyu* [Reconstruction of the boiler room of the PM station Omsk-Passenger West-Siberian Directorate for Heat Supply] / Proektnaya dokumentaciya: 154-14-05-03-E`E` «Meropriyatiya po obespecheniyu soblyudeniya trebovanij e`nergeticheskoy e`ffektivnosti i trebovanij osnashhennosti zdaniy, stroenij i sooruzhenij priborami ucheta ispol`zuemy`x e`nergeticheskix resursov» // AO «NPP «Ome`nergoprom»: razrabotal R. V. Korepov i dr., soglasoval E. A. Evtushenko. Omsk, 2015, 39 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Резанов Евгений Михайлович

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС).

Маркса пр., д. 35, г. Омск, 644046, Российская Федерация.

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», ОмГУПС.

Тел.: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: rezanovel@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rezanov Evgeniy Mikhailovich

Omsk State Transport University (OSTU).

35, Marx st., Omsk, 644046, the Russian Federation.

Ph. D. of Engineering Sciences, assistant professor of the department «Power system», OSTU.

Phone: +7 (3812) 31-06-23.

E-mail: rezanovel@mail.ru

Петров Павел Владимирович

Общество с ограниченной ответственностью «Сибирская проектная компания» (ООО «СПК»).

Карла Либкнехта ул., д. 35, г. Омск, 644099, Российская Федерация.

Заместитель директора по техническим вопросам ООО «СПК».

Petrov Pavel Vladimirovich

Limited Liability Company «Siberian Design Company» (LLC «SPK»).

35, Karl Liebknecht st., Omsk, 644099, the Russian Federation.

Deputy Director for Technical Issues, LLC SPK.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Резанов, Е. М. Повышение эффективности утепления стен зданий с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии [Текст] / Е. М. Резанов, П. В. Петров // Известия Транссиба / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск. – 2019. – № 4 (40). – С. 77–86.

BIBLIOGRAPHIC DESCRIPTION

Rezanov E. M., Petrov P. V. Increasing the efficiency of warming of building walls taking into account the regulation of the released heat energy. Journal of Transsib Railway Studies, 2019, vol. 4, no. 40, pp. 77 – 86 (In Russian).

УДК 621.577

О. В. Хороших, А. П. Стариков, И. И. Кадцын

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС), г. Омск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

***Аннотация.** Работа посвящена исследованию систем теплообеспечения изолированных объектов станций ОАО «РЖД», подбору наиболее энергоэффективного и экономически целесообразного способа теплообеспечения. Показана конкурентоспособность нетрадиционных систем теплообеспечения, таких как геотермальное отопление. На основе экспериментальных данных получены экономические показатели работы существующих теплоисточников и рассчитаны эксплуатационные затраты для альтернативных вариантов теплообеспечения. Определена конфигурация теплоисточника, позволяющая повысить технико-экономические показатели за счет внедрения возобновляемых источников энергии.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, геотермальное отопление, энергоэффективность, энергосбережение, коэффициент трансформации теплового насоса, грунтовый тепловой насос.*

Olga V. Khoroshikh, Alexander P. Starikov, Ivan I. Kadcyn

Omsk State Transport University (OSTU), Omsk, the Russian Federation

STUDY OF POSSIBILITY OF IMPROVEMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF HEAT SUPPLY OF INDIVIDUAL CONSUMERS

***Abstract.** The work is devoted to the study of heat supply systems of isolated facilities of Russian Railways JSC stations, selection of the most energy-efficient and economically feasible method of heat supply. The competitiveness of non-traditional heat systems such as geothermal heating is shown. On the basis of experimental data, economic indicators of operation of existing heat sources are obtained and operating costs for alternative heat supply options are calculated. The configuration of heat sources is determined, which allows increasing technical and economic indicators due to the introduction of renewable energy sources.*

***Keywords:** heat pump, geothermal heating, energy efficiency, energy conservation, the transformation ratio of the heat pump, geothermal heat pump.*

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов для теплообеспечения объектов в условиях сибирского климата представляет собой одну из актуальных проблем. Одним из перспективных путей решения данной проблемы является применение энергосберегающих технологий и оборудования, использующих нетрадиционные возобновляемые ис-