

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКАЕМОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

В.Р. ВЕДРУЧЕНКО, д.т.н., профессор

Е.М. РЕЗАНОВ, к.т.н., доцент

М.В. ГЛУХОВА, к.т.н., доцент

П.В. ПЕТРОВ, преподаватель

ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения», 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

Аннотация. В статье приведены результаты влияния основных факторов на величину оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен здания, с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии. Показано последствие изменения толщины теплоизоляционного материала на технико-экономическую эффективность. Предложена модернизация по утеплению здания, позволяющая улучшить показатели теплозащиты и процесс регулирования отпускаемой тепловой энергии, снизить затраты.

Ключевые слова: исследование, теплозащита, эффективность, затраты, оптимальная, тепловая энергия, толщина, электроэнергия, стены.

Сбережение капитальных и эксплуатационных расходов в системах теплового потребления зданиями должны определяться оптимальным вариантом, характеризующим наименьшими затратами [1-8].

Анализ результатов проведенных нами исследований, по предложенной методике [9], влияния основных факторов на величину оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен здания $\delta_{\text{опт}}$, с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии, показал следующее:

- с понижением среднесуточной температуры наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{от}}$ (от 8 до -32 °C), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания возрастает (от 0,045 до 0,105 м), рис. 1;

- повышение градусосутков отопительного периода ГСОП (от 1000 до 21000 °Cсут.) приводит к повышению оптимальной толщины утепления тепловой изоляции наружных стен здания (от 0,015 до 0,13 м), рис. 2;

- повышение стоимости тепловой энергии C_T (от 200 до 4200 руб./Гкал) увеличивает оптимальную толщину утепления тепловой изоляции наружных стен здания (от 0,013 до 0,125 м), рис. 3;

- с повышением стоимости электрической энергии $C_{\text{эл}}$ (от 1 до 11 руб./кВтч), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания возрастает (от 0,076 до 0,085 м), рис. 4;

- с повышением стоимости утеплителя $C_{\text{ут}}$ (от 200 до 4200 руб./м³) снижается оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания (от 0,21 до 0,02 м), рис. 5;

- с повышением суммарной стоимости работ по утеплению здания C_p (от 200 до 4200 руб./м²), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания возрастает (от 0,055 до 0,105 м), рис. 6;

- с повышением теплопроводности утеплителя $\lambda_{\text{ут}}$ (от 0,01 до 0,1 Вт/м⁰C), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания возрастает (от 0,048 до 0,1 м), рис. 7;

- с повышением расчетной нормы дисконтирования r (от 0,01 до 0,46), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания снижается (от 0,12 до 0,056 м), рис. 8;

- с повышением нормы отчислений на амортизацию и обслуживание H (от 0,01 до 0,46), оптимальная толщина утепления тепловой изоляции наружных стен здания снижается (от 0,11 до 0,05 м), рис. 9.

Обозначения на рисунках 1-9:

$\delta_{\text{опт.кач}}$ – оптимальная толщина утепления тепловой изоляцией наружных стен здания при качественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, м;

$\delta_{\text{опт.кач-кол}}$ – оптимальная толщина утепления тепловой изоляцией наружных стен здания при качественно-количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, м;

$\delta_{\text{кол}}$ – оптимальная толщина утепления тепловой изоляцией наружных стен здания при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, м.

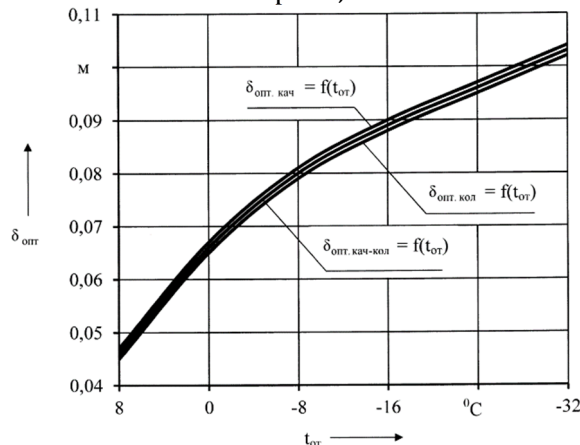


Рис.1. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от $t_{\text{от}}$

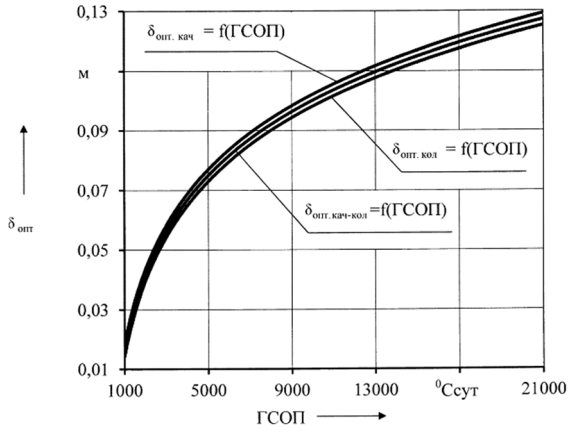


Рис.2. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от ГСОП

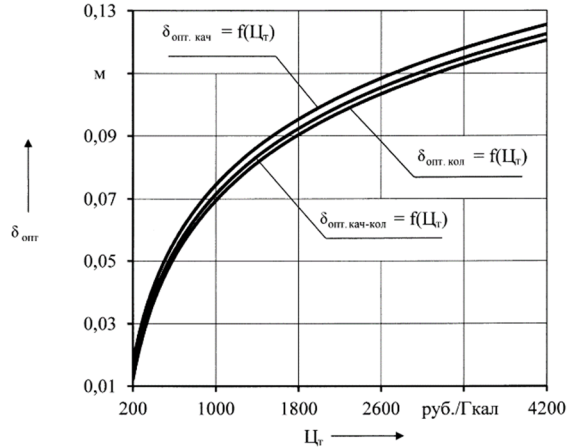


Рис.3. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от Ц_g

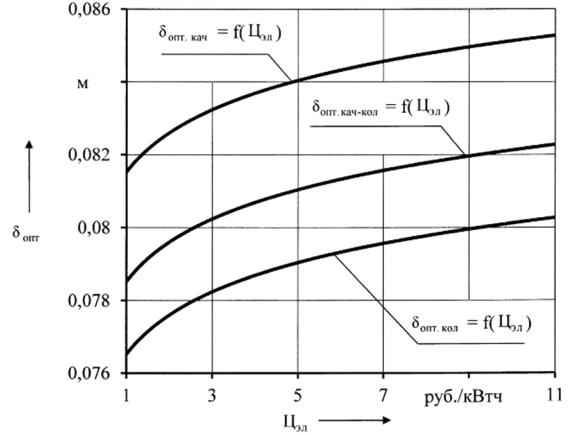


Рис.4. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от $\text{Ц}_{\text{эл}}$

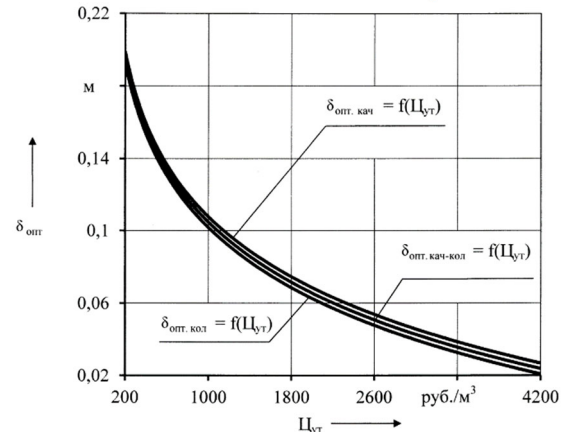


Рис.5. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от $\text{Ц}_{\text{вт}}$

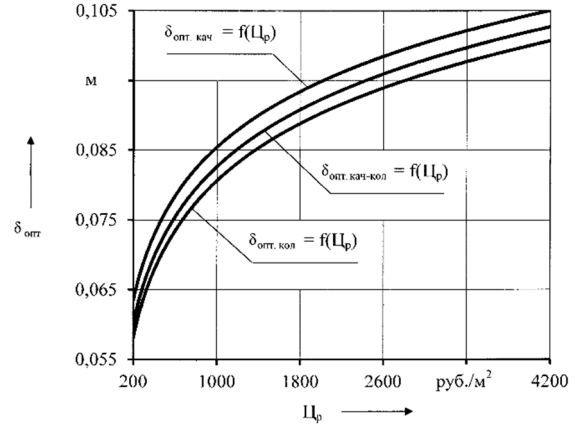


Рис.6. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от Ц_p

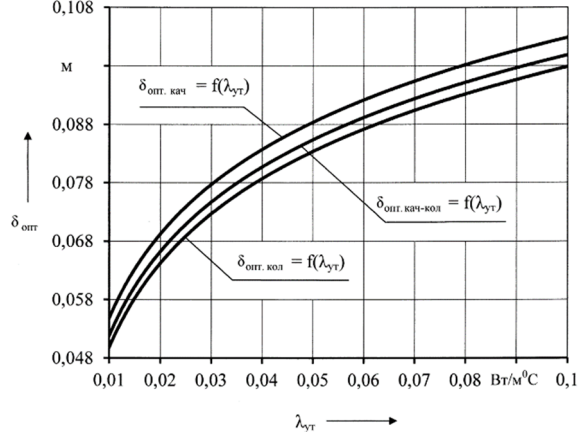


Рис.7. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от λ_{yt}

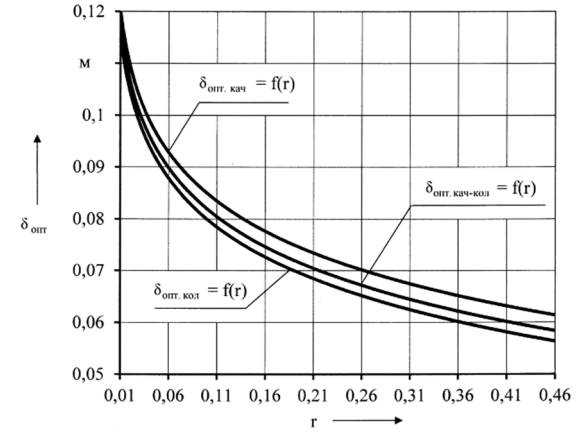


Рис.8. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от γ

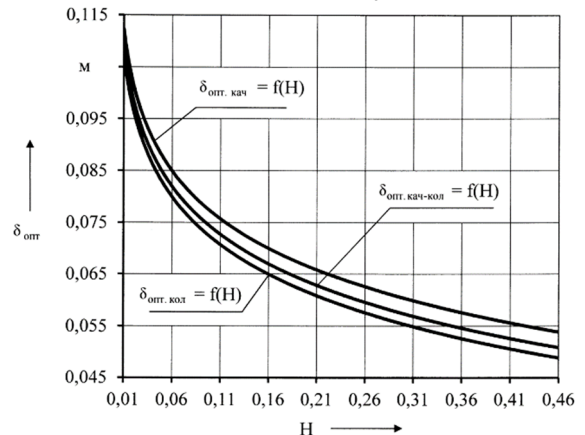


Рис.9. Зависимость $\delta_{\text{опт}}$ от H

Анализ влияния изменения толщины теплоизоляционного материала $\delta_{ут}$ (от 0,02 до 0,2 м) на технико-экономическую эффективность, показал следующее:

- повышается приведенное сопротивление теплопередаче теплозащитной оболочки стен здания R_o^{np} (от 1,54 до 6,0 (м²°C)/Вт), рис. 10;

- снижается расчетный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающих конструкций стен здания $\Delta t_{ут}^p$ (от 2,1 до 0,54 °C), рис. 11;

- уменьшается расчетная удельная теплозащитная характеристика здания, определяется согласно $k_{об}$ (от 0,189 до 0,132 Вт/(м³°C)), рис. 12;

- уменьшаются тепловые потери через наружные стены $Q_{ст}$ (от 61693 до 15977 Вт) и расход тепловой энергии здания на отопление, вентиляцию и кондиционирование $Q_{от}$ (от 230103 до 184387 Вт), рис. 13;

- снижается расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование здания $q_{ут}^p$ (от 0,297 до 0,232 Вт/(м²°C)), рис. 14;

- снижается средняя мощность насосного оборудования P_n (от 1166 до 293 Вт), рис. 15;

- снижается годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования \mathcal{E}_n (от 1519 до 4842 кВт·ч/год), рис. 16;

- увеличиваются капитальные вложения в теплосберегающие мероприятия $K_{ст}$ (от 2523260 до 3307370 руб.), рис. 17;

- изменение приведенных дисконтированных затрат $I_{ст}$ на утепление тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен здания согласно рис. 18.

Обозначения на рисунках 15, 16 и 18:

$P_n^{кач}$ – средняя мощность насосного оборудования при качественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт;

$P_n^{кач-кол}$ – средняя мощность насосного оборудования при качественно-количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт;

$P_n^{кол}$ – средняя мощность насосного оборудования при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Вт;

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

$\mathcal{E}_n^{кач-кол}$ – средний расчетный годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при качественно-

количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Втч/год;

$\mathcal{E}_n^{кол}$ – средний расчетный годовой расход электрической энергии на привод насосного оборудования при количественном регулировании отпускаемой тепловой энергии, Втч/год;

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

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

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

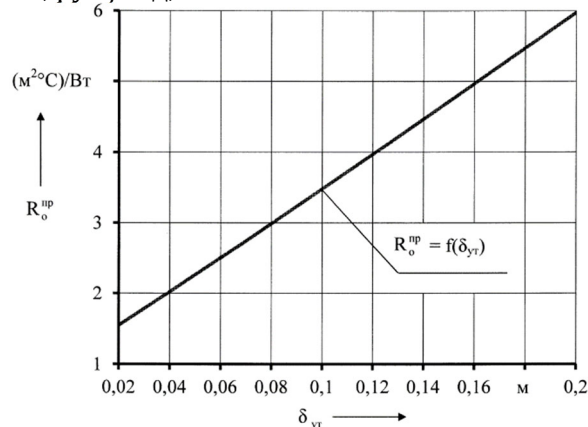


Рис.10. Зависимость R_o^{np} от $\delta_{ут}$

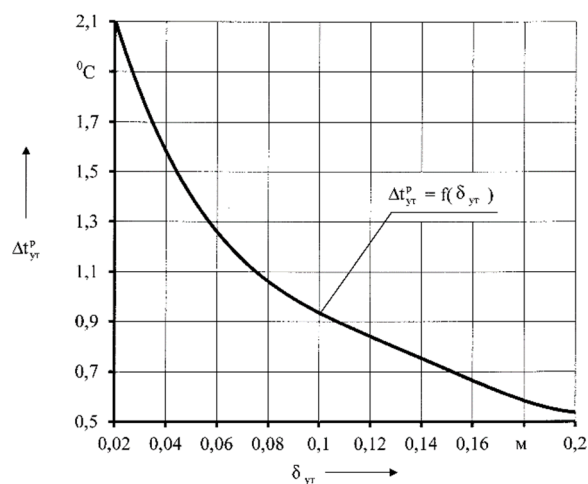


Рис.11. Зависимость $\Delta t_{ут}^p$ от $\delta_{ут}$

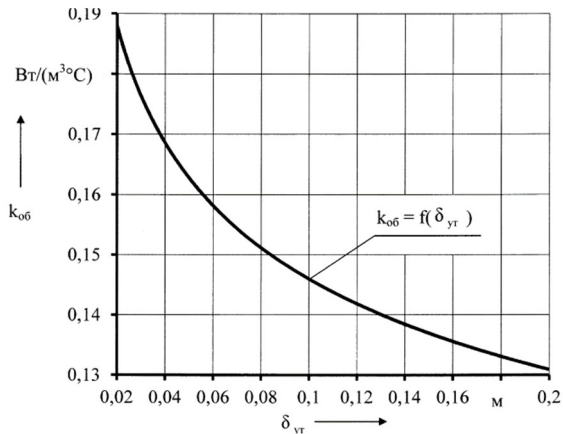


Рис.12. Зависимость $k_{об}$ от δ_{yt}

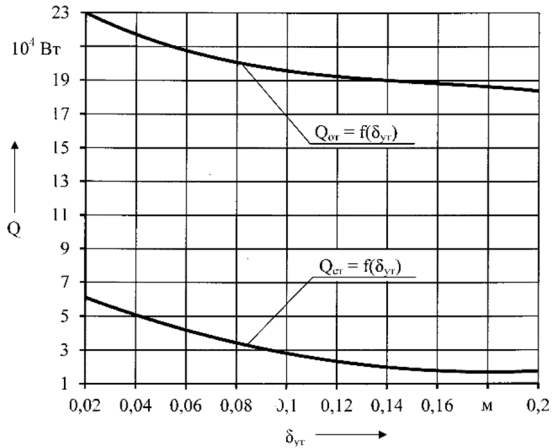


Рис.13. Зависимости $Q_{ст}$, $Q_{от}$ от δ_{yt}

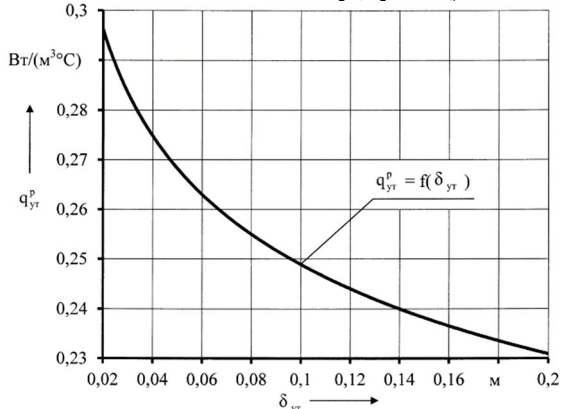


Рис.14. Зависимость q_{yt}^p от δ_{yt}

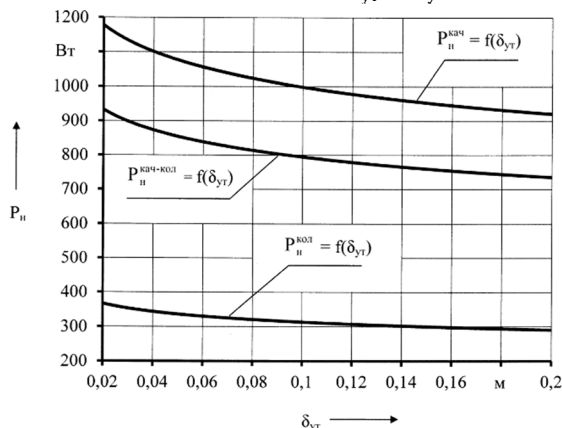


Рис.15. Зависимость P_n от δ_{yt}

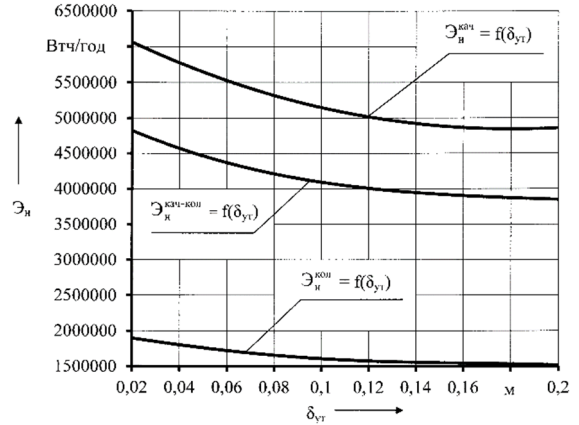


Рис.16. Зависимость E_n от δ_{yt}

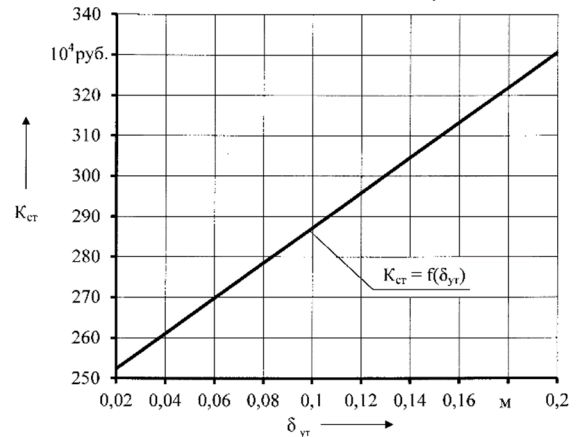


Рис.17. Зависимость $K_{ст}$ от δ_{yt}

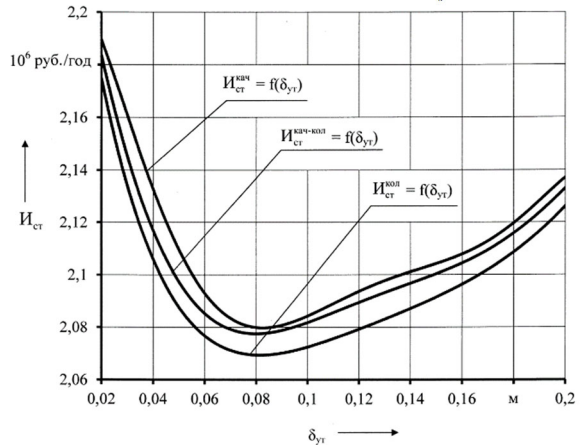


Рис.18. Зависимость $I_{ст}$ от δ_{yt}

В качестве примера, для оценки технико-экономического эффекта от использования предложенных разработок [9], рассматривалось утепление здания производственного назначения ФГУП «ФНПЦ «Прогресс».

Предложенная заводу модернизация здания, заключается в следующем: утеплить наружные ограждающие конструкции стен здания толщиной 0,08 м (вместо 0,05 и 0,09 м), которая является оптимальной для заданных условий; вместо качественного

регулирования, перейти на количественный отпуск тепловой энергии зданию.

Предлагаемая модернизация по утеплению здания позволяет улучшить технико-экономические показатели теплозащиты и процесс регулирования отпускаемой тепловой энергии, снизить затраты.

Сравнительные результаты расчета, применительно к утеплению тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен здания, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Сравнительные результаты расчета

Наименование параметров	Обозначение	Размерность	Значение
1	3	4	5
Предлагаемые при проектировании	$\delta_{ут}$	м	0,05 и 0,09
	$I_{ст}^{кач}$	руб./год	2075340
	$q_{ут}^p$	Вт/м ³⁰ С	0,26
	$\Delta t_{ут}^p$	°С	1,22
	$R_o^{пр}$	(м ² С)/Вт	2,67
Определенные по предложенной методике	$Q_{от}$	кВтч/год	1070149,14
	$\delta_{опт}$	м	0,08
	$I_{ст}^{кол}$	руб./год	2067820
	$q_{ут}^p$	Вт/м ³⁰ С	0,254
	$\Delta t_{ут}^p$	°С	1,08
	$R_o^{пр}$	(м ² С)/Вт	3,0
	$Q_{от}$	кВтч/год	1045453,4

Основные выводы.

1. Полученные результаты численного исследования, на примере производственного здания ФГУП «ФНПЦ «Прогресс» (г. Омск), позволяют оценить влияние основных факторов на теплозащиту, тепловой режим и экономические показатели.

2. Численные исследования влияния увеличения толщины теплоизоляционного материала, показали снижение тепловых потерь, повышение теплозащиты. Однако повышаются капитальные затраты на утепление стен, что приводит к необходимости находить минимальное значение приведенных дисконтированных затрат.

3. Оценка технико-экономического эффекта от использования разработанной методики показывает наиболее выгодный вариант выбора решений, с точки зрения экономической прибыли, материальных вложений, минимизации потребления энергетических ресурсов и потерь.

4. Проведенные исследования показали, что значение оптимальной толщины утепляющего слоя ограждающих конструкций стен

здания $\delta_{опт}$ отвечает минимуму суммарных дисконтированных затрат по утеплению ограждающих конструкций стен здания (рис. 18).

5. Проведенные исследования подтверждают целесообразность использования предложенных разработок по определению оптимальной толщины утепления тепловой изоляцией стен зданий, с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии, с целью повышения эффективности и экономичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crawley, D.B. Contrasting the Capabilities of building energy performance simulation programs: report / Drury B. Crawley [et al.] / United States Department of Energy: University of Strathclyde: University of Wisconsin. 2005. July. 59 p.
2. Maile, T. Building energy performance simulation tools. A life-cycle and interoperable perspective: report / Tobias Maile, Martin Fischer & Vladimir Bazjanac / Center for Integrated Facility Engineering. 2007. Dec. 43 p.
3. BS EN 15603:2008. Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings. Effective 2008-09-30. 66 p.
4. Lubina, P. Nantka Internal heat gains in relation to the dynamics of buildings heat requirements / Piotr Lubina, Marian B. Nantka // Architecture civil engineering environment. 2009. № 1. P. 137-142.
5. Hoes, P. User behavior in whole building simulation / P. Hoes, J.L.M. Hensen, M.G.L.C. Loomans, et al. // Energy and Buildings. 2009. №41. P. 295-302.
6. Fabi, V. Description of occupant behaviour in building energy simulation: state of art and concepts for improvements / Valentina Fabi et al. / 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November // Proceedings of Building Simulation. 2011. P. 2882-2889.
7. Alajmi, A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate / A. Alajmi // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. P. 122-130.
8. 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.
9. Резанов, Е.М., Петров, П.В. Повышение эффективности утепления стен зданий с учетом регулирования отпускаемой тепловой энергии / Е.М. Резанов, П.В. Петров / Известия Транссиба // Омск, 2019. №4(40). С. 77-85.

RESULTS OF A NUMERICAL STUDY OF HEAT PROTECTION OF A BUILDING TAKING INTO ACCOUNT REGULATION OF THE RELEASED THERMAL ENERGY

V.R. VEDRUCHENKO, D.Sc. (tech.)

E.M. REZANOV, Ph.D. (tech.)

M.V. GLUCHOVA, Ph.D. (tech.)

P.V. PETROV, teacher

Omsk State Transport University, 35, Marksa pr., Omsk, 644046, Russia

Abstract. *The article presents the results of the influence of the main factors on the value of the optimal thickness of thermal insulation of the external enclosing structures of the walls of the building, taking into account the regulation of the supplied thermal energy. The effect of changing the thickness of the heat-insulating material on the technical and economic efficiency is shown. The modernization of the building insulation is proposed, allowing to improve the heat protection indicators and the process of regulating the supplied heat energy, to reduce costs.*

Key words: *research, thermal protection, efficiency, costs, optimal, thermal energy, thickness, electricity, walls.*

REFERENCES

1. Crawley, D.B. Contrasting the Capabilities of building energy performance simulation programs: report / Drury B. Crawley [et al.] / United States Department of Energy: University of Strathclyde: University of Wisconsin. 2005. July. 59 p.
2. Maile, T. Building energy performance simulation tools. A life-cycle and interoperable perspective: report / Tobias Maile, Martin Fischer & Vladimir Bazjanac / Center for Integrated Facility Engineering. 2007. Dec. 43 p.
3. BS EN 15603:2008. Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings. Effective 2008-09-30. 66 p.
4. Lubina, P. Nantka Internal heat gains in relation to the dynamics of buildings heat requirements / Piotr Lubina, Marian B. Nantka // Architecture civil engineering environment. 2009. № 1. P. 137-142.
5. Hoes, P. User behavior in whole building simulation / P. Hoes, J.L.M. Hensen, M.G.L.C. Loomans, et al. // Energy and Buildings. 2009. №41. P. 295-302.
6. Fabi, V. Description of occupant behaviour in building energy simulation: stateofart and concepts for improvements / Valentina Fabi et al. / 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November // Proceedings of Building Simulation. 2011. P. 2882-2889.
7. Alajmi, A. Energy audit of an educational building in a hot summer climate / A. Alajmi // Energy and Buildings. 2012. Vol. 47. P. 122-130.
8. 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.
9. Rezanov, Ye.M., Petrov, P.V. Povysheniye effektivnosti utepleniya sten zdaniy s uchetom regulirovaniya otpuskayemoy teplovoy energii / Ye.M. Rezanov, P.V. Petrov / Izvestiya Transsiba // Omsk, 2019. №4(40). S. 77-85.