

УДК 697.9

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ПРОСЛОЙКИ ВОЗДУХОПРИЕМНОГО КАНАЛА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРГАНИЗОВАННОЙ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

В.А. ЗАФАТАЕВ

(Полоцкий государственный университет)

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8058-2263>

Проведена оценка термодинамической и экономической эффективности системы организованной приточно-вытяжной вентиляции многоэтажного здания, в которой для подогрева приточного воздуха, проходящего в воздухоприемном целевом канале, образованном наружной поверхностью стен здания и остекленным навесным фасадом, используется теплота солнечного излучения и теплота удаляемого из помещений воздуха. Эффективность системы вентиляции определена при двух вариантах толщины прослойки воздухоприемного целевого канала.

**Ключевые слова:** тепловой поток, воздухоприемный целевой канал, солнцеприемная панель, излучение, конвекция, вентиляция, энергосбережение.

**Введение.** Мировое потребление топливно-энергетических ресурсов (далее – ТЭР) увеличивается с каждым годом, несмотря на глобально принимаемые меры по внедрению новых энергоэффективных технологий и процессов. В Республике Беларусь, где энергоемкость валового внутреннего продукта существенно выше, чем во многих развитых странах, особенно важно искать возможности снижения уровня потребления ТЭР в различных секторах национальной экономики. Наибольшая доля потребления по секторам национальной экономики приходится на тепловую энергию; ее доля в топливно-энергетическом балансе доходит до 33% (рисунок 1), а в промышленном и жилищном секторах составляет 37 и 38% соответственно [1].

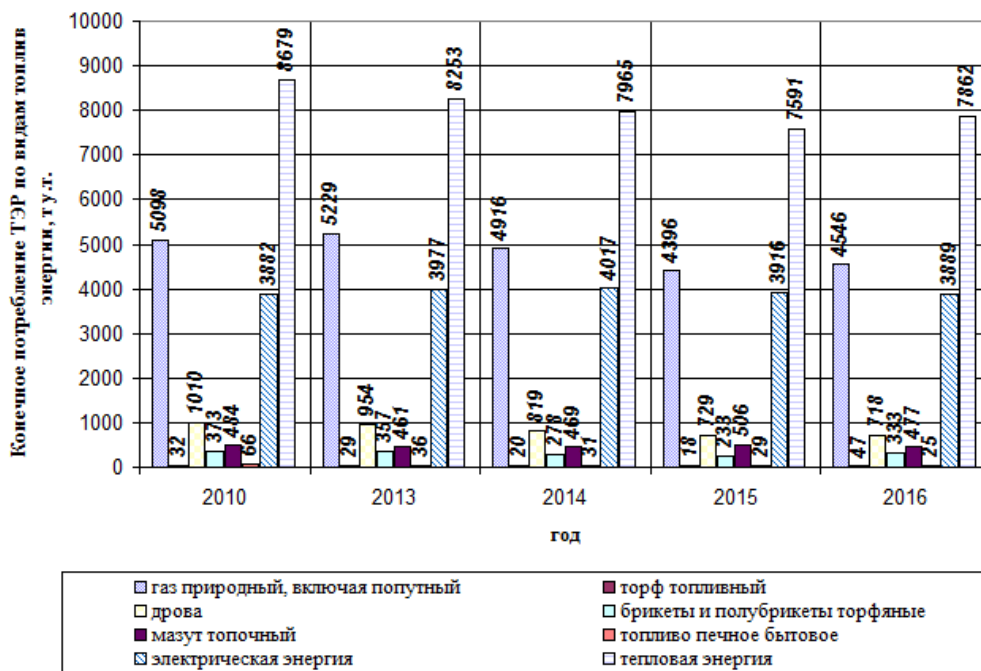


Рисунок 1. – Конечное потребление ТЭР по видам топлива и энергии, т. у.т. в угольном эквиваленте

Тепловая энергия не является импортируемым ресурсом. Для обеспечения потребностей в тепловой энергии требуются ресурсы для ее производства, которые Беларуси приходится импортировать по причине малой обеспеченности собственных недр и экономической нецелесообразности их добычи и переработки (рисунок 2).

Причиной высокого уровня энергопотребления является в т.ч. технологически устаревшее, часто физически изношенное оборудование с низким показателем эффективности использования энергии. Не является исключением и оборудование, используемое сегодня в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий различного назначения. Становится очевидным, что для повышения эффективности использо-

вания ТЭР, в частности тепловой энергии, в системах, создающих и поддерживающих нормируемые условия микроклимата, необходимо разрабатывать и внедрять передовые энергоэффективные процессы, схемы и технологии, которые допускают использование дешевых энергетических ресурсов – солнечной радиации, бытовых тепловыделений и др.

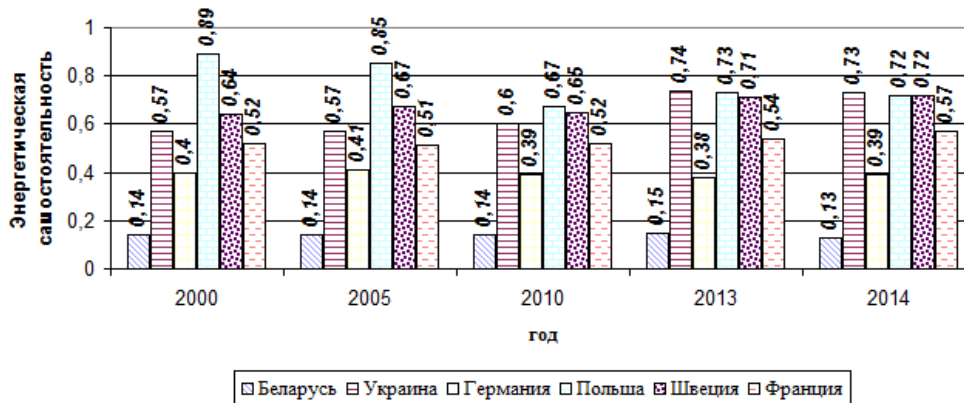


Рисунок 2. – Показатель энергетической самостоятельности некоторых стран

**Постановка задачи.** Для повышения эффективности потребления ТЭР в зданиях на нужды отопления и вентиляции предлагается система организованной приточно-вытяжной вентиляции [3; 4], где подогрев приточного воздуха осуществляется в щелевом канале 1 вентилируемого фасада 2 под действием солнечного излучения (рисунок 3).

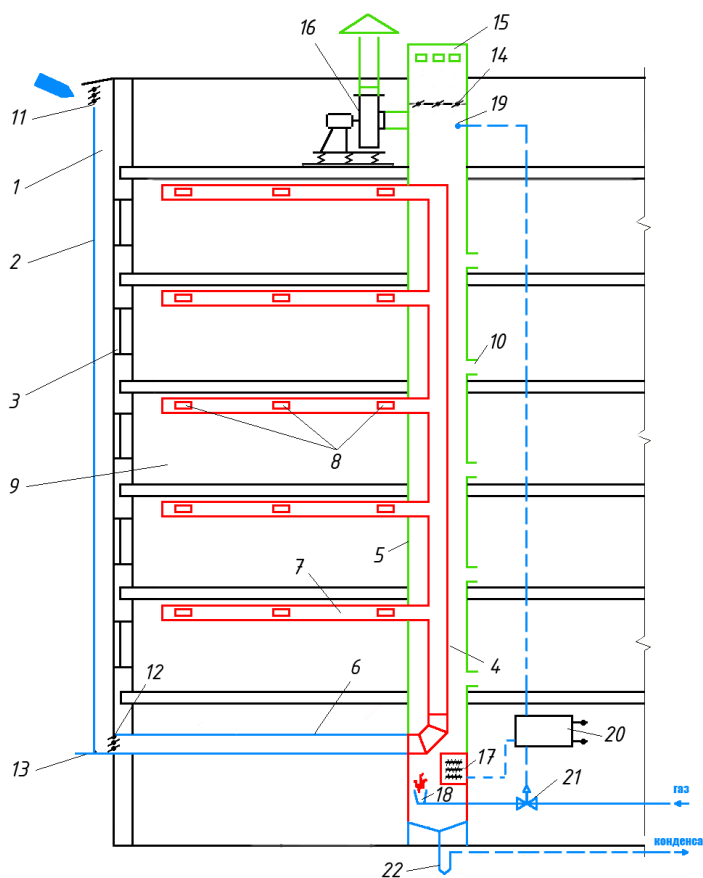


Рисунок 3. – Схема приточно-вытяжной системы вентиляции многоэтажного здания

При движении по щелевому каналу воздух аккумулирует теплоту солнечного излучения, в т.ч. отраженную от наружной поверхности стены. Также в системе осуществляется передача теплоты от греющего теплоносителя – вытяжного воздуха – к нагреваемому приточному воздуху в прямоточном теплообменнике 4–5,

конструктивно выполненном по схеме «труба в трубе», оборудованном в нижней части устройством дополнительного подогрева воздуха 20, содержащим электронагреватель 17 и тепловую пушку с газовой горелкой 18.

Расчет эффективности предлагаемой системы вентиляции заключается в определении необходимости использования устройства дополнительного (пикового) подогрева приточного воздуха при различных температурах наружного воздуха в отопительный период и при условии наличия устойчивого солнечного облучения, а также сравнение величин затрат на нужды отопления и вентиляции при работе предлагаемой системы вентиляции и традиционной системы – без возможности использования дешевой энергии возобновляемых источников и вторичных ресурсов. В расчетах учтено загрязнение атмосферного воздуха, характерное для крупных городов, из-за чего воздушная среда становится оптически более плотной, что влечет ухудшение условий инсоляции и пропуска инфракрасного излучения. Кроме того, пылевые и сажевые микрочастицы, витающие в воздухе, способны оседать на поверхности светопрозрачных элементов зданий, снижая степень их свето- и теплопропускания.

Описание методики расчета и результаты оценки эффективности предлагаемой системы вентиляции для условий чистого атмосферного воздуха представлены в [3; 5]. Результаты исследований в настоящей работе получены при уменьшенной толщине воздушной прослойки воздухоприемного щелевого канала – 5 см против 10 см в ранних исследованиях.

**Исследовательская часть.** В диапазоне температур наружного воздуха  $-25...+8$  °С в отопительный период при устойчивом солнечном облучении на выходе из воздухоприемного канала воздух имеет в среднем на 1,0–1,9 градусов более высокую температуру при меньшей толщине щели (рисунок 4). Зависимость температуры на выходе из воздухоприемного канала практически линейная от температуры наружного воздуха для обеих толщин прослоек. При низких температурах наружного воздуха нагрев воздуха в тонкой прослойке (5 см) происходит интенсивнее, чем при 10-сантиметровой толщине прослойки, но при увеличении температуры наружного воздуха интенсивность теплообмена в обеих прослойках практически выравнивается. Интенсивность теплообмена по высоте щелевого канала снижается в т.ч. вследствие уменьшения температурного напора между подогреваемым воздухом и температурой поверхности стены.

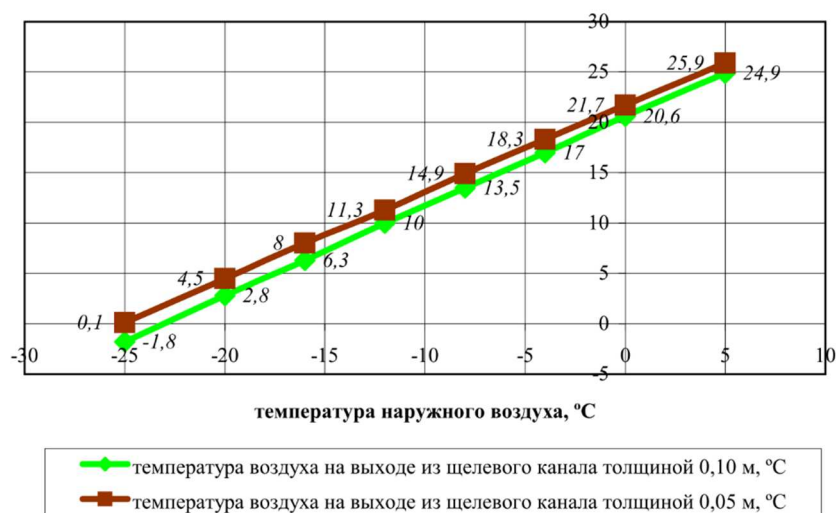


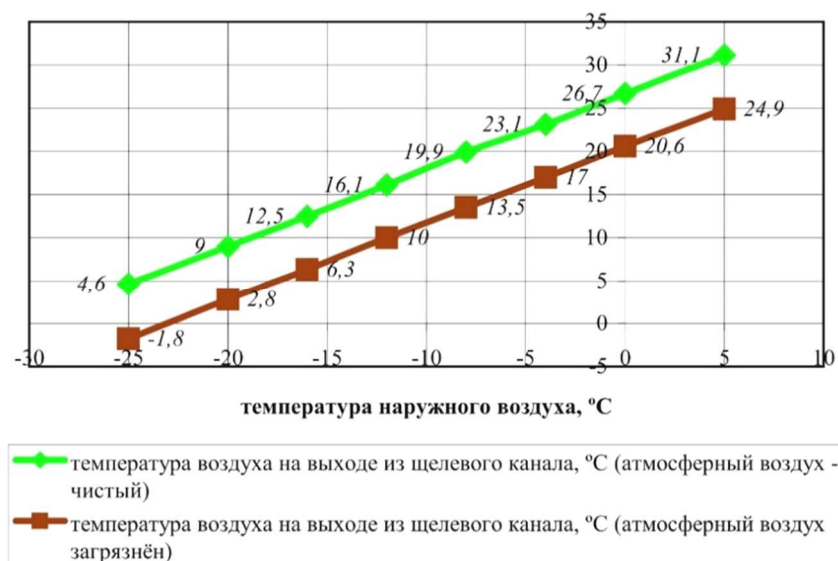
Рисунок 4. – Изменение температуры приточного воздуха в воздухоприемном щелевом канале при разной толщине воздушной прослойки

Требуемая величина догрева приточного воздуха после щелевого канала снижается при увеличении температуры наружного воздуха, и при температурах загрязненного наружного воздуха от  $-1,9$  °С и выше догрев воздуха вовсе не требуется, независимо от выбранной толщины воздушной прослойки (5 и 10 см). Как было указано в [3], для недопущения перегрева помещений в периоды, когда не требуется догрев воздуха после щелевого канала, удаление загрязненного воздуха из помещений следует производить по резервированным вентиляционным шахтам, без утилизации теплоты удаляемого воздуха в теплообменнике «труба в трубе» приточно-вытяжной шахты.

Для обеспечения нормируемой температуры подаваемого в помещения воздуха в условиях устойчивого солнечного облучения использование дополнительных устройств подогрева загрязненного приточного воздуха в предлагаемой системе вентиляции необходимо при температурах наружного воздуха от  $-6$  °С и ниже в обоих рассматриваемых вариантах толщин воздушных прослоек. Теплообменник приточно-вытяжной шахты «труба в трубе» без включения устройств дополнительного подогрева должен эксплуатироваться в диапазоне температур наружного воздуха  $-5,9...-2$  °С для обоих вариантов толщин воздушных прослоек.

В диапазоне температур наружного воздуха  $-25...+8$  °С за отопительный период при устойчивом солнечном облучении на выходе из воздухоприемного канала толщиной 10 см воздух имеет в среднем на 6 градусов

более высокую температуру в условиях чистой атмосферы, чем при ее загрязнении продуктами сгорания (рисунок 5). В условиях чистой атмосферы догрев воздуха в теплообменнике «труба в трубе» не требуется при температурах наружного воздуха от  $-5,9$  °C и выше.



**Рисунок 5. – Изменение температуры приточного воздуха в воздухоприемном канале при различных условиях загрязнения атмосферы**

Эффективность теплообмена в теплообменнике «труба в трубе» вентиляционной шахты зависит от размеров его теплообменной поверхности, и чем выше здание, тем более значительна доля утилизированной теплоты удаляемого воздуха. В случае незадействования устройств пикового подогрева воздуха верхним температурным пределом для приточного воздуха в таком теплообменнике является температура воздуха, удаляемого из помещений. Таким образом, при повышении температуры наружного воздуха тепловая эффективность теплообменника снижается. Согласно результатам исследования утилизация теплоты удаляемого воздуха в теплообменнике «труба в трубе» предлагаемой системы вентиляции без включения устройств пикового подогрева необходима и целесообразна только в узком диапазоне температур наружного воздуха от  $-5,9$  до  $-2$  °C. Это утверждение справедливо для обеих рассматриваемых толщин воздушных прослоек.

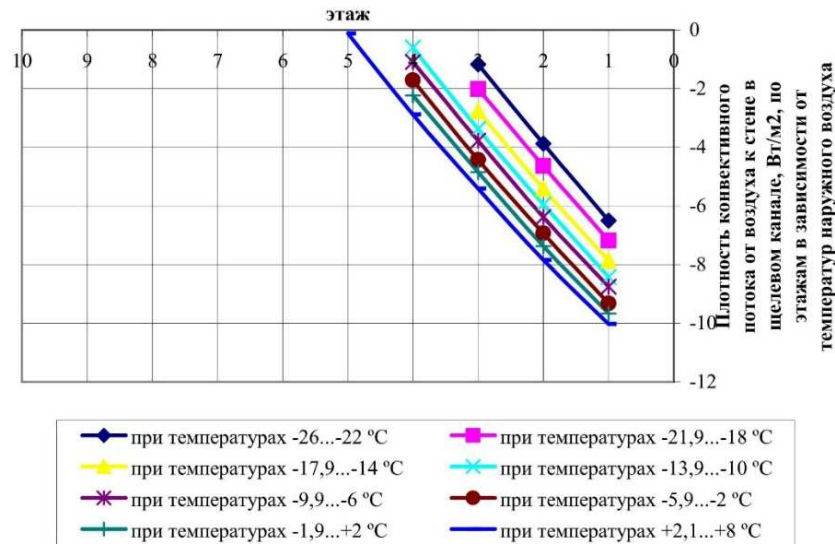
При движении сверху вниз в воздухоприемном канале температура воздуха повышается и, наконец, становится выше, чем температура поверхности стены здания. В этот момент вектор конвективного теплового потока меняет направление на противоположное, в результате воздух при движении вниз начинает охлаждаться, отдавая стене теплоту конвекцией. При этом результирующий поток излучением падает медленнее, чем конвективный поток, и по своей величине для прослойки толщиной 5 см оказывается на 6–13% выше, чем для прослойки в 10 см (меньшие значения соответствуют более низким температурам наружного и подогреваемого в щелевом канале воздуха, и наоборот). Изменение направления вектора конвективного потока для рассматриваемого 9-этажного здания происходит на уровне 3–5 этажей в зависимости от температуры наружного воздуха при условии устойчивого солнечного облучения (рисунки 6, 7).

Во всем диапазоне температур наружного воздуха в отопительный период при устойчивом солнечном облучении в условиях загрязненного атмосферного воздуха величина конвективного потока от воздуха в щелевом канале к поверхности стены здания в 2,36–7,23 раза выше в прослойке толщиной 5 см, чем в прослойке толщиной 10 см (меньшие значения соответствуют более высоким температурам наружного и подогреваемого в щелевом канале воздуха, и наоборот).

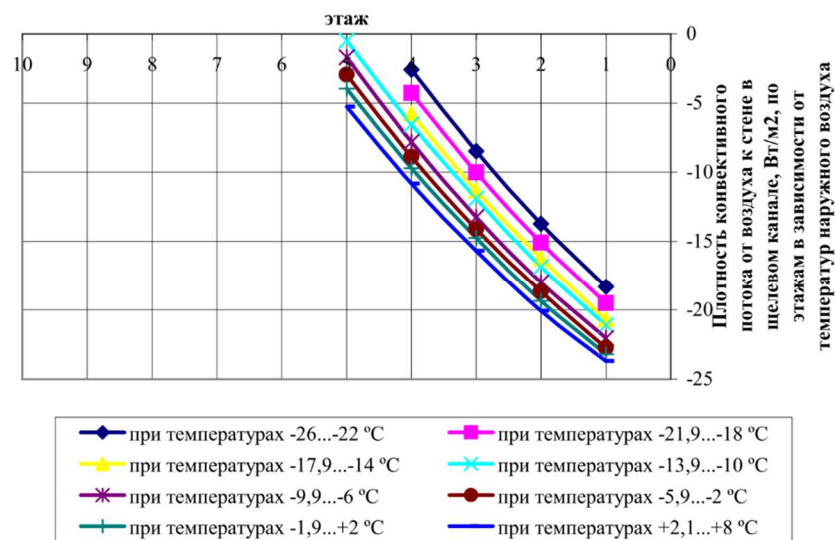
Чем уже щель, тем более выраженной становится нелинейность изменения конвективного теплового потока от воздуха в канале к поверхности стены.

Как было отмечено ранее [3], определить эффективность использования энергии отдельно по каждому месяцу отопительного периода на нужды отопления и вентиляции здания, оборудованного предлагаемой системой вентиляции, относительно затрат на работу аналогичной системы вентиляции, где не используются нетрадиционные источники энергии, невозможно по причине отсутствия взаимосвязи между месячной продолжительностью солнечного сияния и температурой наружного воздуха. Для решения указанной проблемы разработан следующий подход [3]: величину экономии энергии на нужды отопления и вентиляции здания по каждому месяцу определили как долю максимально возможной экономии энергии на нужды отопления и вентиляции в отопительный период за счет применения нетрадиционных источников энергии в зависимости от температуры наружного воздуха, а в качестве коэффициента пропорциональности использовали отношение

продолжительности солнечного сияния в часах по каждому месяцу отопительного периода к количеству часов в соответствующем месяце отопительного периода. Таким образом, для г. Полоцка длительность солнечного сияния в октябре составила 10,7% от времени работы предлагаемой системы вентиляции за этот месяц, в ноябре – 4,2%, в декабре – 3,0%, в январе – 5,3%, в феврале – 8,3%, в марте – 14,9%.



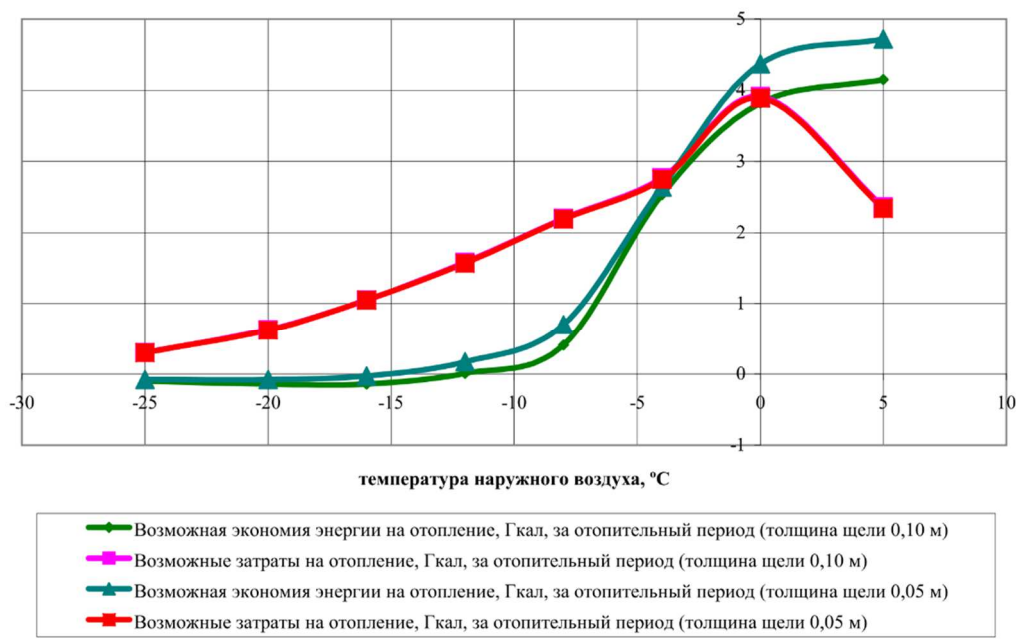
**Рисунок 6. – Изменение плотности конвективного потока в воздухоприемном канале с толщиной щели 10 см от воздуха к стене по этажам здания при наличии солнечного облучения в условиях загрязненной атмосферы**



**Рисунок 7. – Изменение плотности конвективного потока в воздухоприемном канале с толщиной щели 5 см от воздуха к стене по этажам здания при наличии солнечного облучения в условиях загрязненной атмосферы**

На рисунке 8 показано изменение величин возможной экономии энергии на нужды отопления и вентиляции здания за счет применения предлагаемой системы вентиляции (при наличии устойчивого солнечного облучения) и величин затрат энергии на нужды отопления и вентиляции (в случае отсутствия или неиспользования нетрадиционных источников энергии, которыми оснащена предлагаемая система вентиляции) в зависимости от температуры наружного воздуха для условий загрязненной атмосферы крупных городов и при двух вариантах толщин прослоек воздухоприемного канала.

В условиях загрязненной атмосферы и при наличии устойчивого солнечного облучения здания предлагаемая система вентиляции будет обеспечивать и поддерживать допустимые условия микроклимата без необходимости использования дополнительных (пиковых) устройств подогрева при температурах наружного воздуха от  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше при толщине прослойки 5 см и от  $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше при толщине прослойки 10 см.



**Рисунок 8. – Возможная экономия и затраты энергии на нужды отопления и вентиляции, Гкал, за отопительный период в расчете на одну солнцеприемную панель девяти типовых жилых комнат при разных толщинах прослойки воздухоприемного щелевого канала**

Максимальная теоретическая экономия энергии на нужды отопления и вентиляции по предлагаемой системе вентиляции будет по своей величине выше затрат на те же нужды, обеспечиваемые традиционной системой вентиляции без использования нетрадиционных источников энергии при температурах наружного воздуха от  $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше при толщине прослойки 5 см и при температурах наружного воздуха от  $+2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше при толщине прослойки 10 см в условиях загрязненной атмосферы.

При температурах наружного воздуха от  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже в условиях загрязненной атмосферы в предлагаемой системе вентиляции отсутствует экономический эффект за счет использования тепловой энергии из нетрадиционных источников. В эти периоды нормируемые условия микроклимата должны обеспечиваться предлагаемой системой вентиляции за счет включения устройств дополнительного подогрева воздуха. Эти обстоятельства характерны для обоих вариантов толщин воздушных прослоек.

Максимальные затраты энергии на нужды отопления и вентиляции в отопительный период в системе вентиляции без использования нетрадиционных источников энергии или в случае полного отсутствия солнечного облучения остается практически неизменной при уменьшенной толщине воздушной прослойки (затраты на компенсацию роста аэродинамического сопротивления минимальны против увеличения интенсивности теплообмена в канале приточного воздуха), а максимальная экономия энергии на нужды отопления и вентиляции за отопительный период в аналогичном здании с предлагаемой системой вентиляции в случае наличия устойчивого солнечного облучения составит 10,54 Гкал (835,27 бел. руб.) при толщине щели 10 см и 12,41 Гкал (982,77 бел. руб.) при толщине щели 5 см.

Максимальная теоретическая величина экономии тепловой энергии на нужды отопления и вентиляции по предлагаемой системе вентиляции при наличии устойчивого солнечного облучения в течение всего отопительного периода составляет 71,3% от затрат тепловой энергии в традиционных системах отопления и вентиляции аналогичного здания (при толщине щели 10 см) и 84,4% при толщине щели 5 см. Реальная же экономия в расчете на одну солнцеприемную панель девяти типовых жилых комнат за 385 ч солнечного сияния (по г. Полоцку) в течение отопительного периода составляет 0,82 Гкал (65,28 бел. руб.) при толщине щели 10 см и 0,97 Гкал (76,81 бел. руб.) при толщине щели 5 см. Таким образом, чем меньше толщина щели воздухоприемного канала, тем выше величина экономии энергии в предлагаемой системе вентиляции (в целом, согласно приведенным выше значениям, предлагаемая система вентиляции работает экономичнее на 15% при уменьшенной в 2 раза толщине воздушной прослойке).

**Заключение.** Результаты выполненных исследований могут служить примером модернизации традиционных систем отопления и вентиляции, поскольку настоящим показана возможность снижения потребления энергии на нужды отопления и вентиляции в эксплуатируемых зданиях за счет использования нетрадиционных источников тепловой энергии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетический баланс Республики Беларусь [Электронный ресурс] / редкол.: И.В. Медведова (отв. ред.) [и др.] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 153 с. –

2. Беларусь и страны мира [Электронный ресурс] / редкол.: И.В. Медведева (отв. ред.) [и др.] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2016. – 389 с. –
3. Зафатаев, В.А. Термодинамическое обоснование применения системы приточно-вытяжной вентиляции зданий с утилизацией теплоты удаляемого воздуха в условиях ее работы при низких температурах наружного воздуха / В.А. Зафатаев, С.В. Ланкович, А.С. Лапезо // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : электрон. сб. ст. II междунар. науч. конф., Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоц. гос. ун-т ; под ред. Л.М. Парфеновой. – Новополоцк, 2020. – С. 499–513.
4. Устройство тепловой вентиляции : изобр. 22969 / В.И. Липко, В.А. Зафатаев, С.В. Ланкович. – Опубл. 30.06.2020.
5. Зафатаев, В.А. Термoeкономический анализ отопительно-вентиляционной системы здания с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов в рекуперативных теплообменниках / В.А. Зафатаев // Вестн. науки и образования Северо-Запада России. – 2017. – Т. 3, № 4. – С. 1–16.

Поступила 07.06.2021

## INFLUENCE ESTIMATION OF THE AIR INTAKE DUCT INTERLAYER THICKNESS ON THE ORGANIZED SUPPLY-AND-EXHAUST VENTILATION EFFICIENCY IN A MULTI-STOREY BUILDING

V. ZAFATAYEU

*The assessment of the thermodynamic and economic efficiency of the organized supply-and-exhaust ventilation system in a multi-storey building is carried out, in which the solar radiation heat and the heat of the air removed from internal apartments is used for heating of the incoming air passing in the air-receiving slot-hole channel formed by the building walls external surface and the glazed curtain facade. The efficiency of the ventilation system is determined with two options for the air-receiving slot-hole channel thickness of the layer.*

**Keywords:** *heat flow; air-receiving slot-hole channel; solar panel; radiation; convection; ventilation; energy saving.*