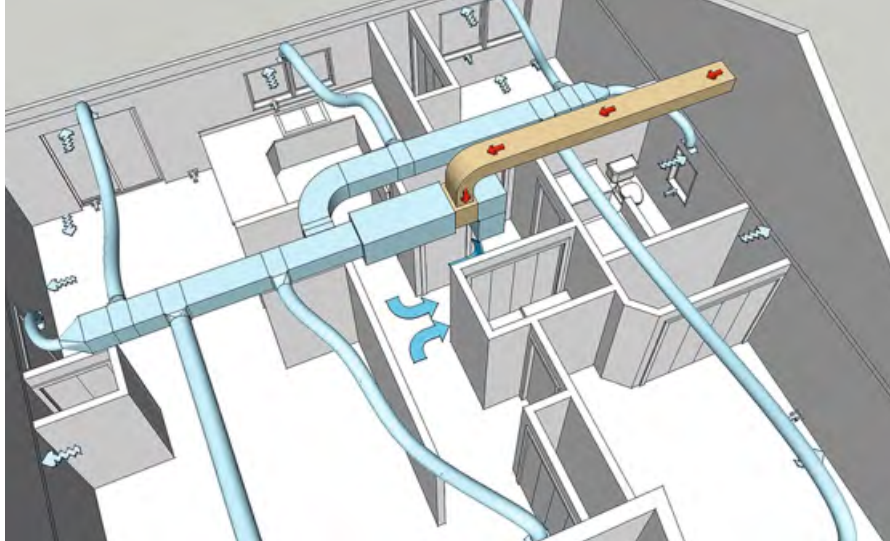




Технико-экономическое обоснование энергосбережения в общественных зданиях за счёт теплоутилизации в системах вентиляции

Рецензия эксперта на статью получена
26.01.2018 [Expert review on the article
was received on January 26, 2018].

В настоящее время показатели теплозащиты современных зданий достигли достаточно высоких значений, поэтому всё чаще при поиске возможных путей экономии тепловой энергии на первое место ставится повышение энергоэффективности инженерных систем. Кроме того, в связи с изменением отечественной нормативной базы в области теплозащиты и расчёта энергопотребления зданий расширились возможности для учёта применения энергосберегающих мероприятий при принятии основных решений по устройству как ограждающих конструкций, так и инженерных систем, в том числе и в общественных зданиях. Это очень существенно, поскольку такие объекты занимают значительное место в объёме нового строительства, и при этом имеется ряд разработанных энергосберегающих мероприятий, достаточно широко применяемых в инженерных системах. К ним относится, в первую очередь, применение утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха, занимающих значительную

долю общего энергопотребления общественных зданий.

В связи с этим целесообразно выявить реально достижимые возможности снижения экономических затрат в зависимости от конструктивных характеристик таких зданий и параметров применяемого теплообменного оборудования и оценить получаемый при этом экономический эффект для различных климатических условий. Особую актуальность данный вопрос приобретает в последнее время, в связи с принятием Федерального закона от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Различные методы снижения энергопотребления в жилых и общественных зданиях и их сравнительная эффективность рассматривались в работах различных авторов, как отечественных, так и зарубежных [1–8]. В работе [9] исследовались факторы, влияющие на энергетическую эффективность данных мероприятий, что позволяет не только сни-

УДК 697.1

Технико-экономическое обоснование энергосбережения в общественных зданиях за счёт теплоутилизации в системах вентиляции

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; **Н. И. Бызов**, магистрант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); **К. И. Лушин**, к.т.н., директор Института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ)

Рассмотрена существующая ситуация с нормированием энергопотребления общественных зданий в России и перечислены основные направления государственной политики по его снижению. Изложены основы отечественных и зарубежных предложений по сокращению энергозатрат при строительстве и эксплуатации гражданских и промышленных объектов различного назначения. Проведена оценка срока окупаемости дополнительных капитальных затрат на устройство утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий с использованием метода совокупных дисконтированных затрат и дан анализ полученных результатов. Показано, что основное влияние на окупаемость теплоутилизации оказывают климатические параметры района строительства, в первую очередь градусо-сутки отопительного периода, а геометрические характеристики зданий существенного значения не имеют. Изложение проиллюстрировано численными расчётами и табличными данными.

Ключевые слова: энергопотребление, эффективность, вентиляция, теплоутилизация, совокупные дисконтированные затраты, срок окупаемости.

UDC 697.1

Feasibility study of energy saving in public buildings by heat recovery in ventilation systems

O. D. Samarina, PhD, Associate Professor; **N. Y. Byzov**, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering National Research University (NRU MGSU); **K. I. Lushin**, PhD, the Headmaster of the Institute of Engineering and Ecological Construction and Mechanization (IIESM Moscow State University)

The existing situation of standardization of energy consumption of public buildings in Russia and listed the main directions of state policy are considered. The fundamentals of domestic and foreign proposals for reducing energy consumption during the construction and operation of civil and industrial facilities for various purposes are presented. The estimation of the payback period for additional capital cost of the heat recovery of exhaust air in systems of mechanical ventilation and air conditioning of public buildings is carried out using the combined discounted cost and the analysis of the obtained results is given. It is shown that the climatic parameters of the area of construction, primarily the degree-day of heating period, have the main influence on the payback term of heat recovery, and the geometric characteristics of buildings are of no significance. The presentation is illustrated by numerical calculations, and tabular data.

Keywords: energy consumption, efficiency, ventilation, heat recovery, combined discounted costs, payback term.

зять затраты на стадии проектирования и увеличить скорость разработки проектов, но также, что немаловажно, достичь наиболее качественных результатов проектирования.

В настоящее время Российская Федерация занимает неудовлетворительное положение по уровню потребления условного топлива на душу населения [10]. Значение этого показателя противоречит принятой государственной политике, поставившей перед обществом весьма масштабную задачу — добиться удвоения валового внутреннего продукта за десять лет. Поэтому перед внедрением новых технологий необходимо провести оценку целесообразности их применения, и в первую очередь — с экономической точки зрения.

Целесообразно выявить реально достижимые возможности снижения экономических затрат в зависимости от конструктивных характеристик таких зданий и параметров применяемого теплообменного оборудования и оценить получаемый при этом экономический эффект

Целью предлагаемой работы является проведение технико-экономического обоснования применения систем утилизации теплоты вытяжного воздуха с промежуточным теплоносителем в системах механической вентиляции. При этом основная задача исследования — определить срок окупаемости рассматриваемо-

го мероприятия и выявить зависимость эффективности достигаемой экономии затрат от характеристик региона строительства. Для этого целесообразно использовать методику, изложенную в [11] и основанную на использовании понятия совокупных дисконтированных затрат.

В первую очередь находим капитальные затраты на устройство системы вентиляции: $K_{\text{вент}} = C_{\text{вент}} \sum L$, руб., где $C_{\text{вент}}$ — удельные расходы на 1000 м³/ч воздухопроизводительности L для основных составляющих сметной стоимости системы, которые можно оценить по данным [11]. Величина L в этом случае принимается по проекту. Далее вычисляем годовые эксплуатационные издержки для вариантов с применением и без применения теплоутилизации.

Технико-экономические показатели общественных зданий

табл. 1

Параметры	Здание 1				Здание 2			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7114	5637	4141	2247
T_0 , годы	3,21	4,74	8,63	–95,67	2,15	3,07	5,40	141,95
$T_{\text{ок}}$, годы	4,06	6,74	20,88	–	2,54	3,85	8,15	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	23036,59	15603,94	8565,41	–772,93	44947,02	31513,57	17907,32	681,22
	Здание 3				Здание 4			
ГСОП	7951	6285	4756	2682	7114	5637	4141	2247
T_0 , годы	0,84	1,14	1,71	5,10	2,15	3,07	5,40	141,95
$T_{\text{ок}}$, годы	0,92	1,28	1,96	7,49	2,54	3,85	8,15	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	99033,71	72888,35	48893,01	16344,71	37015,19	25952,35	14747,20	561,00
	Здание 5				Здание 6			
ГСОП	7951	6285	4756	2682	7951	6285	4756	2682
T_0 , годы	2,29	3,27	5,38	42,92	2,29	3,27	5,38	42,92
$T_{\text{ок}}$, годы	2,73	4,16	8,10	–	2,73	4,16	8,10	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	127391,32	89262,68	54269,47	6803,21	62868,45	44051,71	26782,34	3357,43
	Здание 7				Здание 8			
ГСОП	7672	5205	3731	1957	6556	5205	3731	1957
T_0 , годы	2,41	4,52	9,48	–29,83	2,43	3,51	6,82	–49,43
$T_{\text{ок}}$, годы	2,90	6,32	30,96	–	2,91	4,53	12,02	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	59717,26	31853,59	15205,42	–4831,13	48002,71	33209,57	17069,60	–2355,30
	Здание 9				Здание 10			
ГСОП	7114	5637	4141	2247	7114	5637	4141	2247
T_0 , годы	1,53	2,14	3,57	23,40	2,15	3,07	5,40	141,95
$T_{\text{ок}}$, годы	1,74	2,52	4,63	–	2,54	3,85	8,15	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	650100,74	465720,07	278967,55	42530,87	70505,13	49433,06	28089,91	1068,57
	Здание 11				Здание 12			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7672	6069	4551	2537
T_0 , годы	3,21	4,74	8,63	–95,67	3,21	4,74	8,63	–95,67
$T_{\text{ок}}$, годы	4,06	6,74	20,88	–	4,06	6,74	20,88	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	82695,45	56014,15	30747,63	–2774,62	372129,55	252063,65	138364,32	–12485,78
	Здание 13				Здание 14			
ГСОП	7114	5637	4141	2247	7672	6069	4551	2537
T_0 , годы	2,15	3,07	5,40	141,95	1,93	2,73	4,47	29,14
$T_{\text{ок}}$, годы	2,54	3,85	8,15	–	2,25	3,34	6,21	–
$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)$, руб/годы	49353,59	34603,14	19662,94	748,00	245206,28	173738,49	106060,32	16268,59

Вначале находим годовые затраты теплоты [руб/год] на подогрев притока:

$$\mathcal{E}_{\text{т.вент}} = \frac{Z_p G_{\text{п}} c_{\text{в}} \text{ГСОП} (1 - k_{\text{эф}}) C_{\text{т}} 10^{-6}}{4,19},$$

здесь Z_p — время работы системы, часов в сутки в среднем за неделю отопительного периода; $G_{\text{п}}$ — массовый расход приточного воздуха [кг/ч], равный $L \rho_{\text{в}}$, где $\rho_{\text{в}}$ — плотность вентиляционного воздуха (1,2 кг/м³); $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воздуха [1,005 кДж/(кг·К)]; ГСОП — градусо-сутки отопительного периода в районе строительства, К·сут.; $k_{\text{эф}}$ — коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора (в варианте без теплоутилизации $k_{\text{эф}} = 0$); $C_{\text{т}}$ — тариф на тепловую энергию. В работе было принято значение 1290,81 руб/Гкал по данным [11] в ценах 2010 года.

После этого определяем годовые затраты на электроэнергию для привода вентиляторов:

$\mathcal{E}_{\text{эл}} = Z_p N_{\text{раб}} N_{\text{уст}} C_{\text{эл}}$, руб/год, где $N_{\text{раб}}$ — число дней в целом за год, когда вентиляционное оборудование работает; $N_{\text{уст}}$ — установленная мощность привода [кВт], которую также можно приближённо оценить исходя из величины L , по данным [11]. При этом необходимо учитывать, что в случае использования теплоутилизации величина $N_{\text{уст}}$ будет выше из-за дополнительного аэродинамического сопротивления теплообменных аппаратов. Параметр $C_{\text{эл}}$ представляет собой тариф на электроэнергию. В работе использовалось значение 3,01 руб/(кВт·ч), также в ценах 2010 года по данным [11].

Теперь находим амортизационные отчисления:

$\mathcal{E}_{\text{ам}} = 1,5 K / T_{\text{ам}}$, руб/год, где $T_{\text{ам}}$ — расчётный срок службы системы. Для вентиляционного оборудования его можно считать равным 15 годам.

Далее вычисляются суммарные годовые эксплуатационные затраты:

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{эл}} + \mathcal{E}_{\text{т.вент}} + \mathcal{E}_{\text{ам}}$, руб/год. Определяем бездисконтный срок окупаемости следующим образом:

$$T_0 = \frac{K_1 - K_2}{E_2 - E_1}, \text{ годы.}$$

В данном выражении индекс 1 относится к варианту с теплоутилизацией, а индекс 2 — без теплоутилизации, поэтому заведомо $K_1 > K_2$ и $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$.

Дисконтированный срок окупаемости при постоянных годовых затратах, выраженных в неизменных ценах:

$$T_{\text{ок}} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{p T_0}{100}\right)}{\ln\left(1 + \frac{p}{100}\right)}, \text{ годы,}$$



здесь p — норма дисконта, принятая равной 10 % годовых. Формула для $T_{\text{ок}}$ будет иметь смысл в том случае, когда выполняется неравенство

$$(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) > (K_2 - K_1) p / 100,$$

значение которого состоит в том, что годовая экономия эксплуатационных затрат должна быть больше, чем упущенная выгода, которая могла бы быть получена при размещении средств в размере $(K_2 - K_1)$ на банковском депозите. Если используются заёмные средства, сущность данного условия сводится к необходимости превышения годовой экономии над годовым процентом за взятый кредит. Это неравенство и служит критерием окупаемости дополнительных капитальных затрат при учёте дисконтирования [11].

Срок окупаемости энергосберегающих мероприятий заметно увеличивается при уменьшении ГСОП, причём в некоторых случаях он превышает расчётный срок работы систем, либо окупаемость вообще отсутствует

Результаты расчётов для 14-ти общественных зданий различного размера и этажности по существующим типовым проектам в разных климатических условиях приведены в табл. 1.

Таким образом, результаты исследования убедительно показывают, что срок окупаемости энергосберегающих мероприятий заметно увеличивается при уменьшении ГСОП, причём в некоторых случаях он превышает расчётный срок работы систем, либо окупаемость вообще отсутствует. Данное наблюдение объясняется тем, что дополнительные капитальные затраты в различных регионах

примерно постоянны, поскольку определяются в основном размерами систем, которые зависят от воздухообмена, а разница эксплуатационных издержек тем больше, чем выше ГСОП.

Поэтому экономическая целесообразность теплоутилизации в системах механической вентиляции оказывается выше в районах с более суровым климатом. Однако для более точной оценки следовало бы учесть изменение значений $C_{\text{т}}$ и $C_{\text{эл}}$ в разных населённых пунктах, а также некоторые дополнительные составляющие затрат, например, стоимость подключения к теплосетям, что предполагается осуществить в дальнейшем. ●

1. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. — М.: Изд-во «АСВ», 2014. 296 с.
2. Дмитриев А.Н., Табунчиков Ю.А., Ковалёв И.Н., Шилкин Н.В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. — М.: АВОК-Пресс, 2005. 120 с.
3. Feist W. Das Niedrigenergiehaus. Heidelberg. C.F. Müller Verlag. 1997. Auflage 4. 144 p.
4. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy. 2012. No. 3. Pp. 231–238.
5. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district. Sustainable Cities and Society. 2015. No. 1. Pp. 5–15.
6. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий // Строительные материалы. 2013. №6. С. 7–9.
7. Рымаров А.Г., Савичев В.В. Особенности работы регенеративной системы вентиляции административного здания // Вестник МГСУ. 2013. №3. С. 174–177.
8. Лавинский П.А. Москва — энергоэффективная столица России // Энергосбережение, 2016. №8. С. 16–23.
9. Самарин О.Д., Бызов Н.И. Оценка влияния различных факторов на энергетическую целесообразность теплоутилизации в системах механической вентиляции // Журнал С.О.К., 2017. №7. С. 56–59.
10. Разаков М.А. Сравнение потребления энергоресурсов и показателя энергоёмкости для «северных» стран мира: Сб. докл. науч.-техн. конф. «Дни студенческой науки» по итогам науч.-исслед. работ студентов Института инженерно-экологического строительства и механизации (ИИЭСМ). — М.: МГСУ, 2017. С. 368–371.
11. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий: Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во «АСВ», 2015. 136 с.

References — see page 109.

Feasibility study of energy saving in public buildings by heat recovery in ventilation systems. Pp. 100–102.

O.D. Samarin, PhD, Associate Professor; **N.Y. Byzov**, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University; **K.I. Lushin**, PhD, the Head of the Institute of Engineering and Ecological Construction and Mechanization (IIESM Moscow State University)

1. Samarin O.D. *Teplotfizika. Jenergosberezhenie. Jenergoeffektivnost'* [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow. Izdatel'stvo ASV ["ASV" Publishers]. 2014. 296 p.
2. Dmitriev A.N., Tabunshnikov Ju.A., Kovalev I.N., Shilkin N.V. *Rukovodstvo po ocenke jekonomichej jeffektivnosti investicij v jenergosberegajushhie meroprijatija* [Manual according to an economic efficiency of the investments in energy saving measures]. Moscow. Izdatel'stvo AVOK-Press ["AVOK-Press" Publishers]. 2005. 120 p.
3. Feist W. *Das Niedrigenergiehaus*. Heidelberg. C.F. Müller Verlag. 1997. Auflage 4. 144 p.
4. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. *Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings*. *Smart Grid and Renewable Energy*. 2012. No. 3. Pp. 231–238.
5. Paiho S., Abdurafikov R., Hoang H. *Cost analyses of energy-efficient renovations of a Moscow residential district*. *Sustainable Cities and Society*. 2015. No. 1. Pp. 5–15.
6. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. *Kolichestvennaja ocenka jenergoeffektivnosti jenergosberegajushhih meroprijatij* [Quantitative estimation of energy efficiency of energy saving measures]. *Stroitel'nye materialy* [Building materials]. 2013. No. 6. Pp. 7–9.
7. Rymarov A.G., Savichev V.V. *Osobennosti raboty regenerativnoj sistemy ventiljacii administrativnogo zdanija* [Features of operation of the regenerative ventilating system of the administrative building]. Moscow. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta (MGSU)* [Papers of the Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University]. 2013. No. 3. Pp. 174–177.
8. Lavinskij P.A. *Moskva — jenergoeffektivnaja stolica Rossii* [Moscow — energy-efficient capital of Russia]. *Jenergosberezhenie* [Energy saving]. 2016. No. 8. Pp. 16–23.
9. Samarin O.D., Byzov N.I. *Ocenka vlijanija razlichnyh faktorov na jenergeticheskiju celeosobraznost' teploutilizacii v sistemah mehanicheskoy ventiljacii* [Estimation of influence of different factors on energy expediency of heat recovery in mechanic ventilating systems]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2017. No. 7. Pp. 56–59.
10. Razakov M.A. *Sravnenie potreblenija jenergoresursov i pokazatelja jenergoemkosti dlja "severnnyh" stran mira* [Comparison of energy source consumption and of the energy capacity index for the northern countries of the world]. *Sb. dokl. nauch.-tehn. konf. "Dni studentcheskoj nauki" po itogam nauch.-ssled. rabot studentov Instituta inzhenerno-jekologicheskogo stroitel'stva i mehanizacii* [Collected volume of the scientific and technical conference "Days of student science" based on the results of research work of students of the Institute of Engineering and Ecological Construction and Mechanization (IIESM Moscow State University)]. Moscow. *Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet (NIU MGSU)* [Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University]. 2017. Pp. 368–371.
11. Samarin O.D. *Voprosy jekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniij* [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd edition, rev. and exp. Moscow. Izdatel'stvo ASV ["ASV" Publishers]. 2015. 136 p.