

Обоснование теплоутилизации в системах вентиляции общественных зданий при капитализации доходов*

Рецензия эксперта на статью получена
16.02.2018 [Expert review on the article
was received on February 16, 2018].

В настоящее время, 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.

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] было рассмотрено обоснование с экономической точки зрения использования систем вентиляции с утилизацией теплоты вытяжного воздуха.

Однако окупаемость инженерных решений по теплоутилизации определяется не только климатическими факторами, воздействие которых исследовалось в [9], но также в значительной степени и средствами, затраченными на создание системы, а точнее — источником их получения. Поэтому возникает вопрос, связанный с количественной оценкой такого влияния, а также других возможностей получения прибыли при реализации изучаемого способа энергосбережения.

Чаще всего при сооружении систем используют собственные или заёмные средства. Однако в первом случае оказывается возможным не только вложение инвестиций в энергосберегающее оборудование — зачастую не менее выгодным будет размещение соответствующих средств на банковском депозите, что по-

Окупаемость инженерных решений по теплоутилизации определяется не только климатическими факторами, воздействие которых исследовалось в работе [9], но также в значительной степени и средствами, затраченными на создание всей системы целиком, а точнее, источником их получения

зволяет получать непосредственный доход в виде процента по вкладу.

Возможны несколько следующих наиболее распространённых вариантов развития событий:

1. Собственник использует имеющиеся денежные средства для создания системы с утилизацией теплоты вытяжного воздуха и получает в последующем прибыль от снижения эксплуатационных издержек за счёт уменьшения энергозатрат.
2. Собственник вкладывает заёмные средства в создание системы и получает прибыль от снижения эксплуатационных издержек. При этом стоит отметить, что процент по кредиту необходимо учитывать в годовых амортизационных отчислениях.
3. Собственник размещает собственные средства на банковском депозите с целью их капитализации.

Первый случай был подробно рассмотрен авторами в предыдущей публикации [9]. Во втором варианте, как уже было отмечено, при определении экономической целесообразности и окупаемости системы следует включать процент по займу в эксплуатационные расходы.

УДК 697.1

Технико-экономическое обоснование теплоутилизации в системах вентиляции общественных зданий при капитализации доходов

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; Н. И. Бызов, магистрант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

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 при использовании заёмных средств и дан анализ полученных результатов. Показано, что условия для окупаемости при этом ухудшаются, и в ряде случаев инвестиции в теплоутилизацию становятся нецелесообразными. Выполнено сравнение полученных данных с ситуацией, когда вместо капиталовложения в энергосберегающие мероприятия соответствующая сумма размещается на банковском депозите с целью получения промежуточных доходов. Отмечено, что результаты сравнения существенно зависят от величины градусо-суток отопительного периода в районе строительства и воздухопроизводительности системы. Изложение проиллюстрировано численными расчётами и табличными данными.

Ключевые слова: энергопотребление, эффективность, вентиляция, теплоутилизация, срок окупаемости, капитализация.

UDC 697.1

Feasibility study of heat recovery in ventilation systems of public buildings at capitalization of income

O. D. Samarina, PhD, Associate Professor; N. Y. Byzov, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University

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 at using the borrowed funds and the analysis of the obtained results is given. It is shown that conditions for return are deteriorating, and in some cases, investments in heat recovery become out of or are useful. The comparison of the data obtained with the situation where instead of investment in energy saving measures corresponding amount is placed in a Bank Deposit in order to receive intermediate income. It is noted that the comparison results depend substantially on the value of degree-days of heating period in the construction area and of the air flow of the system. The presentation is illustrated by numerical calculations, and tabular data.

Keywords: energy consumption, efficiency, ventilation, heat recovery, payback term, capitalization.

* Продолжение статьи «Технико-экономическое обоснование энергосбережения в общественных зданиях за счёт теплоутилизации в системах вентиляции» из журнала С.О.К. №1/2018.

Величину заёмных средств определяют капитальные затраты на устройство системы вентиляции:

$$K_{\text{вент}} = C_{\text{вент}} \sum L, \text{руб.},$$

здесь $C_{\text{вент}}$ — удельные расходы на 1000 м³/ч воздухопроизводительности L для основных составляющих сметной стоимости системы, которые можно оценить по данным [10]. Величина L в этом случае принимается по проекту. Далее вычисляются суммарные годовые эксплуатационные издержки:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{эл}} + \mathcal{E}_{\text{т.вент}} + \mathcal{E}_{\text{ам}} + 0,105TK_{\text{вент}}, \text{руб/год},$$

здесь $\mathcal{E}_{\text{эл}}$ — годовые затраты на электроэнергию для привода вентиляторов:

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = Z_p N_{\text{раб}} N_{\text{уст}} C_{\text{эл}}, \text{руб/год},$$

где Z_p — время работы системы, часов в сутки в среднем за неделю отопительного периода; $N_{\text{раб}}$ — число дней в целом за год, когда вентоборудование работает; $N_{\text{уст}}$ — установленная мощность привода, кВт; $C_{\text{эл}}$ — тариф на электроэнергию, руб/(кВт·ч); — годовые затраты теплоты на подогрев притока, руб/год:

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

где $G_{\text{п}}$ — массовый расход приточного воздуха, кг/ч; $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·К); $GCOП$ — 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; $\mathcal{E}_{\text{ам}}$ — амортизационные отчисления:

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = \frac{1,5K}{T_{\text{ам}}}, \text{руб/год},$$

где $T_{\text{ам}}$ — расчётный срок службы системы, годы.

Показатели общественных зданий при использовании заёмных средств

табл. 1

Здание	1				4			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7114	5637	4141	2247
$\mathcal{E}_1$	87 148	75 999	65 441	51 434	130 526	113 932	97 124	75 845
$\mathcal{E}_1^{\text{кред}}$	94 912	83 763	73 205	59 198	138 888	122 294	105 486	84 207
$T_{\text{ок}}$, годы	4,06	6,74	20,88	—	2,54	3,85	8,15	—
$T_{\text{ок}}^{\text{кред}}$, годы	6,95	30,10	—	—	3,42	6,32	—	—
Здание	8				11			
ГСОП	6556	5205	3731	1957	7672	6069	4551	2537
$\mathcal{E}_1$	181 652	159 462	135 253	106 115	312 838	272 816	234 917	184 633
$\mathcal{E}_1^{\text{кред}}$	193 876	171 686	147 476	118 339	340 710	300 688	262 789	212 505
$T_{\text{ок}}$, годы	2,91	4,53	12,02	—	4,06	6,74	—	—
$T_{\text{ок}}^{\text{кред}}$, годы	4,13	8,49	—	—	6,95	30,10	—	—
Здание	12				14			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7672	6069	4551	2537
$\mathcal{E}_1$	1407 773	1 227 674	1 057 125	830 850	814 259	707 058	605 541	470 853
$\mathcal{E}_1^{\text{кред}}$	1 533 196	1 353 098	1 182 549	956 273	864 031	756 829	655 312	520 624
$T_{\text{ок}}$, годы	4,06	6,74	—	—	2,25	3,34	6,21	—
$T_{\text{ок}}^{\text{кред}}$, годы	6,95	—	—	—	2,91	5,06	—	—



Показатели зданий с теплоутилизацией при капитализации собственных средств

табл. 2

Здание	1				4			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7114	5637	4141	2247
Доход от экономии средств после окупаемости системы	251 981	128 912	—	—	461 147	289 488	101 059	—
Доход от процентов по вкладу	234 569	234 569	234 569	234 569	252 613	252 613	252 613	252 613
Разница полученных средств, %	6,91	—81,96	—	—	45,22	12,74	—149,97	—
Здание	8				11			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7114	5637	4141	2247
Доход от экономии средств после окупаемости системы	580 147	347 746	50 845	—	904 545	462 760	—	—
Доход от процентов по вкладу	369 296	369 296	369 296	369 296	842 042	842 042	842 042	842 042
Разница полученных средств, %	36,34	—6,20	—626,32	—	6,91	—81,96	—	—
Здание	12				14			
ГСОП	7672	6069	4551	2537	7114	5637	4141	2247
Доход от экономии средств после окупаемости системы	4 070 454	2 082 419	—	—	3 125 429	2 025 317	931 838	—
Доход от процентов по вкладу	3 789 188	3 789 188	3 789 188	3 789 188	1 503 646	1 503 646	1 503 646	1 503 646
Разница полученных средств, %	6,91	—81,96	—	—	51,89	25,76	—61,36	—

Данные расчёты были более подробно рассмотрены в [9], поэтому в данном случае нас больше интересует влияние отчислений в виде процентов за кредит на окупаемость системы.

Так как процентная ставка по кредиту на оборудование в среднем составляет около 10,5% годовых, это и предполагает зависимость $0,105TK_{\text{вент}}$, в которой T — срок, на который были взяты заёмные средства, равный сроку эксплуатации системы, то есть $T_{\text{ам}}$.

Основываясь на сведениях, полученных в работе [9], получаем следующие данные, представленные для наглядности в табл. 1.

Таким образом, результаты исследования убедительно демонстрируют, что срок окупаемости энергосберегающих мероприятий во втором варианте заметно увеличивается, причём чем меньше количество градусо-суток отопительного периода в районе строительства ($ГСОП$) и объём системы, тем меньше целесообразность привлечения заёмных средств.

В третьем случае собственник размещает на банковском депозите сумму, равную капитальным затратам на создание системы, и в последующие 15 лет получает прибыль за счёт процентов по вкладу. Поэтому тогда необходимо сравнить доход от теплоутилизации системы после окончания срока её окупаемости с доходом от процента по вкладу за эти 15 лет.

Результаты расчётов представлены в табл. 2.

Полученные данные наглядно показывают, что доход от экономии средств после окончания срока окупаемости системы превышает доход по проценту от депозита, однако конкретная ситуация с получением выгоды от вложенных средств зависит от количества градусо-суток отопительного периода в районе строительства ($ГСОП$) и расхода воздуха в системе.

Чем меньше значение количество градусо-суток отопительного периода в районе строительства ($ГСОП$) и воздухопроизводительность, тем целесообразнее применение варианта с капитализацией вклада.

Данный вывод противоположен сформулированному для второго случая, что позволяет выбрать тот вариант, который будет наилучшим при различных условиях, исходя из максимальной экономической целесообразности. ●

1. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. — М.: Изд-во «АСВ», 2014. 296 с.
 2. Дмитриев А.Н., Табунщиков 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. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. Energy and Buildings. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110.
 6. Тагарин 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., Лушин К.И., Бызов Н.И. Техно-экономическое обоснование энергосбережения в зданиях за счёт теплоутилизации в системах вентиляции // Журнал С.О.К., 2018. №1. С. 100–102.
 10. 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 94.

Feasibility study of heat recovery in ventilation systems of public buildings at capitalization of income. Pp. 79–81.

O.D. Samarin, PhD, Associate Professor; **N.Y. Byzov**, post-graduate student, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU) National Research University

1. Samarin O.D. *Teplofizika. Jenergosberezhenie. Jenergojeffektivnost'* [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow. Izdatel'stvo ASV ["ASV" Publishers]. 2014. 296 p.
2. Dmitriyev A.N., Tabunshchikov Yu.A., Koval'yov I.N., Shilkin N.V. *Rukovodstvo po ocenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchiye meropriyatiya* [Manual according to an economic efficiency of the investments in energy saving measures]. Moscow. Izdatel'stvo AVOK-Press ["ABOK-Press" (Non-commercial partnership "Engineers for heating, ventilation, air conditioning, heat supply and construction thermal physics") 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. Halawa E., van Hoof J. *The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. Energy and Buildings*. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110.
6. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. *Kolichestvennaya ocenka energoeffektivnosti energosberegayushchikh meropriyatiy* [Quantitative estimation of energy efficiency of energy saving measures]. *Stroitel'nye materialy* ["Building materials" Magazine]. 2013. No. 6. Pp. 7–9.
7. Rymarov A.G., Savichev V.V. *Osobennosti raboty regenerativnoy sistemy ventilyacii administrativnogo zdaniya* [Features of operation of the regenerative ventilating system of the administrative building]. *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 — jenergojeffektivnaja stolica Rossii* [Moscow is the energy-efficient capital of the Russian Federation]. *Jenergosberezhenie* ["Energy saving" Magazine]. 2016. No. 8. Pp. 16–23.
9. Samarin O.D., Lushin K.I., Byzov N.I. *Tekhniko-ekonomicheskoye obosnovaniye energosberezheniya v obshchestvennykh zdaniyakh za schet teploutilizatsii v sistemakh ventilyacii* [Feasibility study of energy saving in public buildings by heat recovery in ventilating systems]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing. Heating. Ventilation]. 2018. No. 1. Pp. 100–102.
10. Samarin O.D. *Voprosy jekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy* [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd edition, rev. and exp. Moscow. Izdatel'stvo ASV ["ASV" Publishers]. 2015. 136 p.