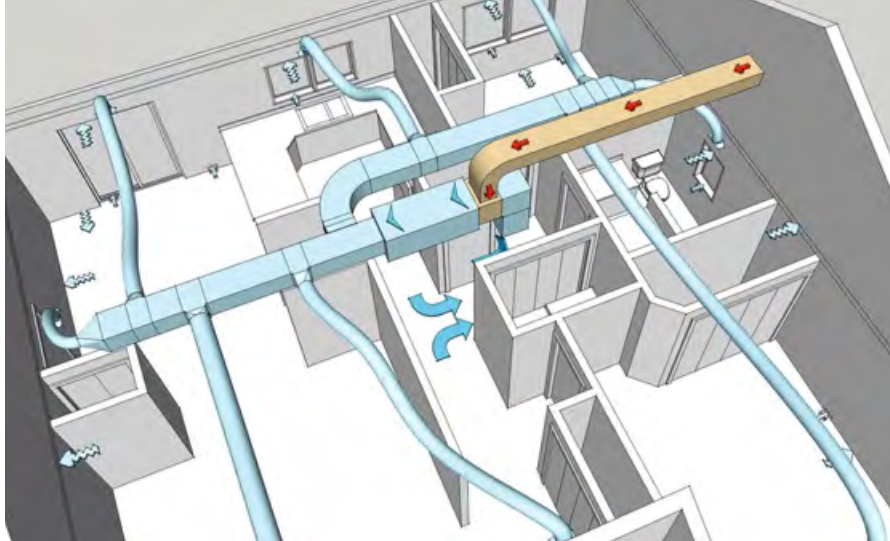




Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счёт теплоутилизации в системах вентиляции

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 целесо-

образно выявить реально достижимые пределы повышения класса энергосбережения в зависимости от конструктивных характеристик таких зданий и параметров применяемого теплообменного оборудования и оценить получаемый при этом экономический эффект.

Особую актуальность данный вопрос приобретает в связи с действием Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23 ноября 2009 года №261-ФЗ.

Показатели теплозащиты современных зданий достигли достаточно высоких значений, поэтому сейчас всё чаще при поиске возможных путей экономии тепловой энергии на первое место ставится повышение энергоэффективности инженерных систем. Одновременно расширились возможности для учёта применения энергосберегающих мероприятий

УДК 697.1:699.86

Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий 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)

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. Проведена оценка влияния утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции на класс энергосбережения группы общественных зданий с использованием методики СП 50.13330.2012 и дан анализ полученных результатов. Подтверждён вывод об энергетической эффективности рассматриваемого мероприятия и показано, что в ряде случаев теплоутилизация является единственным способом обеспечения требований СП 50 к суммарному энергопотреблению здания. Изложение проиллюстрировано примером расчёта.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергопотребление, энергосбережение, теплоутилизация, рекуператор.

UDC 697.1:699.86

Possibilities of the increase of the energy saving class by heat recovery in ventilating systems

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor; **N. I. Byzov**, graduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NR MSUCE)

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, and their advantages and disadvantages are noted. The influence of heat recovery in systems of mechanical ventilation on the energy class of the group of public buildings using the methodology of SP 50.13330.2012 is carried out and the analysis of the obtained results is given. The conclusion about the energy efficiency of the considered event is confirmed and it is shown that in some cases, the heat recovery is the only way to ensure the requirements of SP 50 to the total energy consumption of the building. The presentation is illustrated by a calculation example.

Key words: energy efficiency, energy consumption, energy saving, heat recovery, recovery unit.

В условиях рыночной экономики энергоэффективное производство является важнейшим фактором конкурентоспособности товаров и услуг. В Российской Федерации энергосбережение причислено к стратегическим государственным задачам и предназначено как для обеспечения энергетической безопасности, так и для обеспечения стабильного дохода от экспорта углеводородов.

Известно, что в течение длительного времени для решения ряда возникающих проблем использовались значительные объёмы природных ресурсов нашей страны. Однако, в связи с накоплением научных знаний и развитием технологий, внимание государства обращается в сторону энергоэффективности. В самом деле, требуемые для внутреннего развития энергоресурсы можно получить не только за счёт увеличения добычи сырья в труднодоступных районах и строительства новых энергообъектов, но и — с меньшими затратами — за счёт энергосбережения непосредственно в центрах потребления, которыми в первую очередь являются населённые пункты.

За последнее время было опубликовано большое количество работ, посвящённых энергосбережению. Однако чаще всего встречаются исследования, ориентированные на какой-либо конкретный случай и поэтому малоприменимые или неприменимые вовсе в масштабах государства в целом — их реализация не будет экономически оправданной, по крайней мере, в течение ближайших лет.

К ним в первую очередь относятся технологии, нацеленные как на конкретное отдельное производство, так и на ограниченный район строительства, например, «утилизация теплоты при непрерывной разливке стали» [1] или «использование энергии геотермальных источников» [2], а также рассмотрение использования малораспространённых пока приёмов энергосбережения, таких как установка тепловых насосов [3]. Иногда встречаются и весьма масштабные работы по описанию безуглеродных городов с нулевым энергопотреблением [4] или созданию «пассивных домов» [5, 6].

Возможно, через некоторое время такие проекты будут воплощены в жизнь и внедрены повсеместно, однако при нынешнем уровне развития технологий это маловероятно, прежде всего с экономической точки зрения.

Из публикаций подобного типа можно отметить также работу [7], где основной акцент делается на экономию электроэнергии за счёт модернизации системы освещения в местах общего пользования многоквартирных домов, а также [8], которая описывает государственную программу города Москвы «Развитие коммунально-инженерной инфраструктуры и энергосбережение на 2012–2018 годы».

Однако перед тем, как переходить к новым и нетрадиционным технологиям и проектам, целесообразно добиться повсеместного применения экономически оправданных базовых способов и приёмов энергосбережения. Одним из простейших среди них является утилизация теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции. Тем не менее, этот метод обладает значительным энергосберегающим потенциалом и позволяет добиться существенного снижения потребления энергии как в общественных, так и в жилых зданиях.

Применение теплоутилизационных установок позволяет полезно использовать более 40 % теплоты вытяжного воздуха, а значит — снизить энергопотребление в среднем на 20–25 % при сравнительно небольших дополнительных капитальных затратах [9].

Задачей настоящей работы было определение влияния теплоутилизационного оборудования на снижение энергетических затрат общественных зданий. Для осуществления необходимых расчётов была использована методика оценки энергопотребления и класса энергосбережения объектов, приведённая в СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (далее — СП 50).

В соответствии с Приложением Г данного документа фактическую удельную характеристику расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания $q_{от}^p$ [Вт/(м³·°C)] следует определять по следующей формуле:

$$q_{от}^p = \left[k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \nu \xi \right] \times (1 - \xi) \beta_h, \quad (1)$$

здесь параметры $k_{об}$, $k_{вент}$, $k_{быт}$ и $k_{рад}$ — это удельные теплозащитная и вентиляционная характеристики здания, а также удельные характеристики бытовых тепловыделений здания и теплопоступлений в здание от солнечной радиации, соответственно, Вт/(м³·K); параметр ν — это коэффициент снижения теплопоступлений за счёт тепловой инерции ограждающих конструкций:

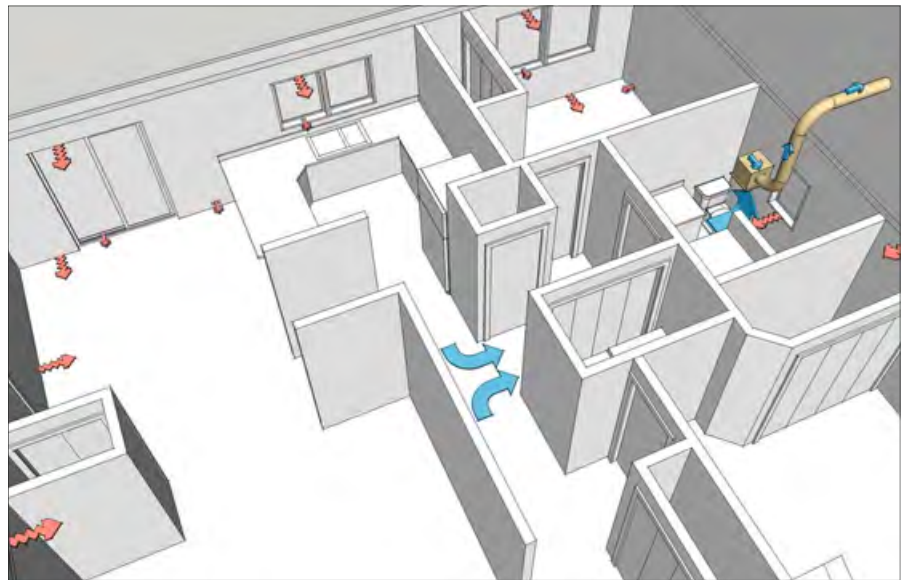
$$\nu = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП} - 1000),$$

где ГСОП — градусо-сутки отопительного периода в районе строительства; ξ — коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления; множитель β_h — коэффициент, учитывающий дополнительное теп-

Результаты показывают, что применение теплоутилизации позволяет получить класс энергосбережения не ниже нормального (С), а в большинстве случаев и более высокий

лопотребление системой отопления (связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных приборов, с их дополнительными теплопотерями через «за приборные» участки ограждений, теплопотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения); коэффициент ξ учитывает снижение теплопотребления жилых зданий при наличии поквартирного учёта тепловой энергии на отопление (рекомендуется принимать $\xi = 0,1$).

Удельная теплозащитная характеристика здания определяется по Приложе-



нию Ж СП 50 и в первом приближении может быть вычислена как:

$$k_{об} = \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{V_{от}}, \quad (2)$$

где A_i и R_i — площадь [м²] и сопротивление теплопередаче [м²·K/Вт] i -го наружного ограждения, соответственно; n_i — коэффициент положения i -го ограждения по отношению к наружному воздуху; $V_{от}$ — отапливаемый объём здания, м³.

Удельную вентиляционную характеристику здания следует определять по следующей формуле:

$$k_{вент} = 0,28 c n_v \beta_v \rho_v^{вент} (1 - k_{эф}), \quad (3)$$

здесь c — удельная теплоёмкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·K); n_v — средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹; β_v — коэффициент снижения объёма воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций (при отсутствии данных следует принимать $\beta_v = 0,85$); $\rho_v^{вент}$ — средняя плотность приточного

воздуха за отопительный период [кг/м³], равная $353/(273 + t_{от})$, где $t_{от}$ — средняя температура наружного воздуха за отопительный период; k — коэффициент эффективности рекуператора.

Удельная характеристика бытовых тепловыделений здания рассчитывается как:

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} A_{ж(р)}}{V_{от} (t_b - t_{от})}, \quad (4)$$

где $q_{быт}$ — величина бытовых тепловыделений на 1 м² расчётной площади общественного здания A_p или жилой площади $A_{ж}$, Вт/м²; t_b — средняя по зданию температура внутреннего воздуха за отопительный период, °C.

Удельная характеристика теплопоступлений в здание от солнечной радиации вычисляется по выражению:

$$k_{рад} = \frac{11,6 Q_{рад}^{год}}{V_{от} \text{ГСОП}}, \quad (5)$$

где $Q_{рад}^{год}$ — суммарные теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации в течение отопительного периода для всех четырёх фасадов зданий, МДж/год.



●● Результаты расчёта энергетических показателей общественных зданий

табл. 1

Параметры / здания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$V_{от}, м^3$	2033,64	5392	6125	4050	7056	3680	15790	25160	30960	3940	3130	2470	22440	7200
ГСОП, °C-сут/год	4551	4141	4756	4141	4756	4756	3731	3731	4141	4141	4551	4141	4551	4551
$k_{об}, Вт/(м^3·°C)$	0,315	0,234	0,181	0,231	0,168	0,185	0,192	0,182	0,124	0,276	0,281	0,262	0,185	0,227
$A_p, м^2$	644,4	1260	1452	120	2200	1000	4230	6140	4800	1400	1025	612	6100	2500
$n_b, ч^{-1}$	0,886	0,690	0,979	0,744	1,204	1,146	0,767	0,718	1,464	1,328	1,888	1,468	1,235	2,176
$k_{вент}, Вт/(м^3·°C)$, без теплоутилизации / с теплоутилизацией	0,268 / 0,177	0,209 / 0,141	0,296 / 0,194	0,225 / 0,151	0,364 / 0,234	0,346 / 0,224	0,232 / 0,165	0,217 / 0,146	0,442 / 0,282	0,401 / 0,257	0,571 / 0,359	0,444 / 0,282	0,373 / 0,240	0,658 / 0,411
Теплопоступления от солнечной радиации, МДж/год	77 052,5	36 479,5	123 558	68 008,5	111 444	77 171,5	124 807	202 241	197 302	82 794,3	81 515	66 937,5	494 433	87 346
$k_{рад}, Вт/(м^3·°C)$	0,097	0,019	0,049	0,047	0,039	0,051	0,025	0,025	0,018	0,059	0,066	0,076	0,056	0,031
$k_{быт}, Вт/(м^3·°C)$	0,091	0,091	0,159	0,095	0,070	0,067	0,092	0,085	0,219	0,144	0,157	0,133	0,167	0,163
$q_{от}^p, Вт/(м^3·°C)$, без теплоутилизации / с теплоутилизацией	0,442 / 0,344	0,362 / 0,288	0,320 / 0,213	0,351 / 0,271	0,450 / 0,314	0,442 / 0,313	0,338 / 0,266	0,319 / 0,244	0,391 / 0,225	0,527 / 0,375	0,684 / 0,462	0,551 / 0,382	0,390 / 0,252	0,740 / 0,483
$q_{от}^{tr}, Вт/(м^3·°C)$	0,394	0,440	0,372	0,382	0,521	0,521	0,440	0,440	0,440	0,382	0,440	0,382	0,417	0,440
Расхождение $q_{от}^p$ и $q_{от}^{tr}$ (и класс энергосбережения) без теплоутилизации	+12,17 (C-)	-17,84 (B)	-13,99 (C+)	-8,22 (C+)	-13,58 (C+)	-15,19 (B)	-23,14 (B)	-27,43 (B)	-11,17 (C+)	+37,88 (D)	+55,39 (E)	+44,18 (D)	-6,37 (C+)	+68,17 (E)
Расхождение $q_{от}^p$ и $q_{от}^{tr}$ (и класс энергосбережения) с теплоутилизацией	-12,69 (C+)	-34,46 (B+)	-42,63 (A)	-28,98 (B)	-39,64 (B+)	-39,91 (B+)	-39,60 (B+)	-44,62 (A)	-48,76 (A)	-1,92 (C)	+5,04 (C-)	-0,07 (C)	-39,53 (B+)	+9,80 (C-)

В работе были проведены расчёты для 14 общественных зданий различного размера и этажности по существующим типовым проектам. Конструктивные параметры объектов, необходимые для вычисления $k_{об}$ и других характеристик, были приняты непосредственно по чертежам, параметры наружного климата — по СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» для условий Москвы, средняя по зданию величина t_b — по ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Для наглядного отображения влияния теплоутилизации на класс энергосбережения объекта и с учётом реализации наиболее экономичного подхода к энергосбережению значения сопротивлений теплопередаче ограждений R_i выбирались на минимально допустимом уровне, из условия равенства величины $k_{об}$ и её нормируемого

в СП 50 предела $k_{об}^{tr}$, то есть, как правило, при наибольшем возможном снижении от базовых значений, связанных со значением ГСОП. Сравнивая полученную величину $q_{от}^p$ с требуемым по СП 50 уровнем $q_{от}^{tr}$, определяем в каждом случае класс энергосбережения здания для двух вариантов — при отсутствии утилизации теплоты в системах механической вентиляции и при её наличии. Коэффициент эффективности рекуператора k при этом принимался 0,4. Это реально достижимое среднее значение в наиболее простой и дешёвой схеме теплоутилизации с промежуточным теплоносителем [10]. Результаты вычислений приведены в табл. 1.

Таким образом, результаты убедительно показывают, что применение теплоутилизации, даже при снижении теплозащитных характеристик объекта до минимума и такого же минимального учёта теплопоступлений, позволяет получить класс энергосбережения не ниже

нормального (C), а в большинстве случаев и более высокий. Более того, для некоторых объектов использование утилизации теплоты является практически единственным способом обеспечения требуемой величины $q_{от}^{tr}$ без доведения значений R_i до базового уровня и тем более его превышения.

В дальнейшем предполагается подтверждение полученных данных за счёт анализа более широкой базы проектов общественных зданий, в том числе и в иных климатических условиях. ●



1. Кабаков З.К., Грибкова Ю.В., Габеля Д.И. Утилизация теплоты при непрерывной разливке стали // Сталь, 2015. №12. С. 13–15.
2. Абзалтдинов Р.М., Кузнецов А.О. Некоторые возможности использования энергии геотермальных источников для отопления зданий: В сб. «Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире» / Мат. XV Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. — Барнаул: ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», Рубцовский индустриальный институт (филиал), 2013. С. 164–167.
3. Васильев Г.П., Горнов В.Ф., Колесова М.В., Пискунов А.А., Дмитриев А.Н., Силаева В.Г. Тепловые насосы в московском метро // Энергия: экономика, техника, экология, 2016. №2. С. 54–59.
4. Табунщиков Ю.А. Умные безуглеродные города и здания с нулевым энергопотреблением // АВОК, 2016. №8. С. 4–9.
5. Feist W. Das Niedrigenergiehaus. 4. Auflage. Heidelberg. C.F. Müller Verlag, 1997. 144 p.
6. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings. Papers of the 8th conference "Environmental engineering" of VGTU. Vilnius. 2011. Pp. 769–775.
7. Раевская А.В. Повышение энергоэффективности при капитальном ремонте многоквартирных домов // Энергосбережение, 2016. №8. С. 24–29.
8. Лавинский П.А. Москва — энергоэффективная столица России // Энергосбережение, 2016. №8. С. 16–23.
9. Самарин О.Д. Энергетический баланс гражданских зданий и возможные направления энергосбережения // Жилищное строительство, 2012. №8. С. 2–4.
10. Самарин О.Д. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. — М.: Изд-во АСВ, 2014. 296 с.

Possibilities of the increase of the energy saving class by heat recovery in ventilating system. Pages 72–75.

O.D. Samarin, PhD, Associate Professor; **N.I. Byzov**, graduate student, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NR MSUCE)

1. Kabakov Z.K., Gribkova Yu.V., Gabelaya D.I. Utilizatsiya teploty pri nepreryvnoy razlivke stali [Heat recovery at the continuous steel pouring]. *Stal'* [Steel magazine]. No. 12. Pp. 13–15.
2. Abzaltdinov R.M., Kuznetsov A.O. Nekotorye vozmozhnosti ispol'zovaniya energii geotermal'nykh istochnikov dlya otopeniya zdaniy [Some possibilities of using of geothermal sources for building heating]. V sb. "Problemy social'nogo i nauchno-tehnicheskogo razvitiya v sovremennom mire" [Coll. vol. "The problems of social and science and technical development in the modern world"]. Papers of the XV All-Russian science conference of students, PhD students and young scientists. Barnaul. FGBOU "Altajskij gosudarstvennyj tehnikeskij universitet im. I.I. Polzunova". Rubcovskij industrial'nyj institut (filial) [Altay Polzunov State Technical University. Rubtsovsk Industrial Institute (branch office)]. 2013. Pp. 164–167.
3. Vasilyev G.P., Gornov V.F., Kolesova M.V., Piskunov A.A., Ditriev A.N., Silaeva V.G. Teplovye nasosy v moskovskom metro [Heat pumps in the Moscow underground]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, tekhnologiya* ["Energy: economics, technique, egology" magazine]. 2016. No. 2. Pp. 54–59.
4. Tabunshchikov Yu.A. Umnye bezuglerodnye goroda i zdaniya s nulevym energopotrebleniem [Smart non-carbone cities and buildings with zero energy consumption]. *AVOK* [HVAC magazine]. 2016. No. 8. Pp. 4–9.
5. Feist W. Das Niedrigenergiehaus. 4. Auflage. Heidelberg. C.F. Müller Verlag. 1997. 144 p.
6. Lapinskiene V., Paulauskaite S., Motuziene V. The analysis of the efficiency of passive energy saving measures in office buildings. Papers of the 8th conference "Environmental engineering" of VGTU. Vilnius. VGTU. 2011. Pp. 769–775.
7. Raevskaya A.V. Povysheniye energoeffektivnosti pri kapital'nom remonte mnogokvartirnykh domov [The increase of energy efficiency at thorough repairs of residential buildings]. *Energoberezheniye* [Energy saving magazine]. 2016. No. 8. Pp. 24–29.
8. Lavinsky P.A. Moskva — energoeffektivnaya stolitsa Rossii [Moscow is the energy effective capital of Russia]. *Energoberezheniye* [Energy saving magazine]. 2016. No. 8. Pp. 16–23.
9. Samarin O.D. Energeticheskij balans grazhdanskikh zdaniy i vozmozhnye napravleniya energoberezheniya [The energy balance of public buildings and possible ways of energy saving]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Residential construction magazine]. 2012. No. 8. Pp. 2–4.
10. Samarin O.D. Teplofizika. Energoberezheniye. Energoeffektivnost' [Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency]. Moscow. Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2014. 296 p.