УДК 628.81, 641.53

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА «ЭЛЕКТРОДОМ»: ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК ЕДИНСТВЕННОГО ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

Канд. техн. наук, доц. ОЛЕШКЕВИЧ М. М., канд. техн. наук МАКОСКО Ю. В.

Белорусский национальный технический университет

Традиционный многоэтажный дом в нашем понимании – это дом, к которому подходят коммуникации с полным набором энергоносителей: электроэнергией, газом, холодной водой, теплотой, канализацией. По дому разводятся электроэнергия, газ, холодная и горячая вода, водяное отопление, канализация. Дом загружен проводами, трубами, специальным разнотипным оборудованием. Это требует значительных капитальных затрат, а также обслуживания многочисленными профильными специалистами.

Велики затраты на подвод газовой магистрали, разводку газа по дому, специальную надежную вентиляцию. Кроме того, газ в жилой квартире экологически нечист и взрывоопасен.

Подвод тепловой энергии от централизованной котельной, ТЭЦ или собственной котельной требует специальных затрат на строительство теплотрассы, в некоторых случаях – на реконструкцию или строительство котельной, прокладку труб отопления и горячего водоснабжения (ГВС) внутри дома, установку бойлеров отопления и ГВС, насосов подкачки, автоматических регуляторов и т. д.

Традиционный подход в подводе коммуникаций к дому и разводке по дому обусловлен сложившимся представлением о том, что электроэнергия является очень дорогим энергоносителем, что газ выгоднее использовать для приготовления пищи, централизованная же система отопления и горячего водоснабжения от котельной или ТЭЦ намного выгоднее электроотопления и электрического горячего водоснабжения. Действительно, электроэнергия вырабатывается на электростанциях с очень низким КПД сжигания топлива. Целесообразнее использовать теплоту от ТЭЦ при выработке электроэнергии на тепловом потреблении. Да и обычная котельная сжигает топливо с достаточно высоким КПД. Хотя этот процесс сопровождается значительными тепловыми потерями в теплотрассах, бойлерах и т. д., создает массу неудобств, особенно при неисправностях и авариях как на трассах, так и в пределах самого дома.

Поэтому заманчиво изменить традицию и подвести к дому только электроэнергию, холодную воду, канализацию и развести их по квартирам. Вместо газовых плит использовать экономичные электроплиты, вместо централизованного отопления – электрические калориферы (например, масляные), вместо централизованного горячего водоснабжения – экономичные проточные электроводонагреватели. Тем более что в современной квартире электроэнергия и без того используется для нагрева воды в стиральных и посудомоечных машинах, электрочайниках, утюгах и т. д. Электроплиты уже давно и широко применяются для приготовления пищи, причем энергосистема назначает для них льготный тариф на электроэнергию. И это не противоречит существующим стандартам [1].

Оценим, насколько при этом снизятся капитальные затраты и как увеличится расход энергии с учетом низкого КПД преобразования энергии топлива в электрическую энергию на электростанции.

Для примера рассмотрим в качестве традиционного дома девятиэтажный 144-квартирный дом: строительный объем – 46000 м^3, общая площадь – 14400 м^2, отопительная характеристика здания – 0,32 Гкал/ч, характеристика здания на горячее водоснабжение – 0,4 Гкал/ч, установленная мощность электропотребляющего оборудования на одну среднюю квартиру – от 2,5 до 7,5 кВт (традиционный дом) и от 18 до 24 кВт («электродом» с учетом мощности электроплиты 10 кВт, отопления с масляными нагревателями 4,5 кВт, горячего водоснабжения с проточными водонагревателями 1,5 кВт), установленная мощность общедомового электрооборудования (лифты, насосы подкачки, общее освещение) – 50 кВт.

В табл. 1 приводится расчет затрат на строительство дома. За основу расчета приняты соотношения затрат на строительство традиционного дома, капитальные затраты – 14,4 млн дол. Из них на проектные работы приходится 5,0 %, строительство фундамента – 20,0, строительство здания – 51,0, отделку – 10,0 % стоимости здания. Коммуникации: подвод газа, электроэнергии, теплоты, канализации оцениваются в 8,0 %. Разводка по квартирам газа, электроэнергии, теплоты, канализации, холодной воды оценивается еще в 6,0 %.

Таблица 1

Расчет затрат на строительство

Материалы и работы	Традиционный дом, %	Традиционный дом, млн дол.	«Электродом», млн дол.	Снижение затрат (+), млн дол.
Капитальные затраты, всего	100,0	14,40	13,58	0,82
Проектные работы	5,0	0,72	0,72	0,00
Строительная часть фундамент	20,0	2,88	2,88	0,00
здание	51,0	7,34	7,34	0,00
отделка	10,0	1,44	1,44	0,00
Коммуникации: подвод газа (2 км)	2,0	0,29	0,00	0,29
электроэнергии	2,0	0,29	0,40	–0,11
теплоты от котельной с реконструкцией котельной	2,0	0,29	0,00	0,29
канализации	1,0	0,14	0,14	0,00
холодной воды	1,0	0,14	0,14	0,00
Разводка по дому: подвод газа	1,0	0,14	0,00	0,14
электроэнергии	1,0	0,14	0,22	–0,08
отопления	1,0	0,14	0,00	0,14
горячей воды	1,0	0,14	0,00	0,14
канализации	1,0	0,14	0,14	0,00
холодной воды	1,0	0,14	0,14	0,00

Затраты на строительство «электродома» определяются с учетом наличия тех или иных коммуникаций, необходимости разводки по дому. Так,

при строительстве «электродома» отсутствуют затраты на строительство газовой магистрали и разводку газа по квартирам, строительство теплотрассы, реконструкцию котельной, разводку по дому теплоты на отопление и горячее водоснабжение. Затраты на выполнение электрической части увеличиваются, поскольку возрастают сечение и стоимость электрических проводов и кабелей, затраты на прокладку кабелей, разводку электрической сети по дому и электрооборудование с учетом повышения потребляемой мощности, номинальных данных защитной и коммутационной аппаратуры, применения дополнительного электроотопительного оборудования, электроводонагревателей. Затраты на подвод канализации и холодной воды остаются неизменными. Из табл. 2 следует, что строительство «электродома» обойдется на $\Delta K = 0{,}82$ млн дол. дешевле, чем традиционного дома.

Расчет затрат энергоресурсов и экономического эффекта при строительстве «электродома» приведен в табл. 2. Нормы расхода топливно-энергетических ресурсов и воды в расчете приняты на основании [2].

Таблица 2

Расчет экономического эффекта

Показатель	Традиционный дом с газовыми плитами и теплоснабжением от котельной	«Электродом»	Годовой экономический эффект (отрицательный эффект)
Расход:			
газа газовыми плитами, т у. т./год	48	0	48 (17169 дол.)
тепловой энергии на отопление с учетом потерь в котельной и тепловой магистрали, Гкал/год	753	0	753
тепловой энергии на отопление с учетом потерь в котельной и тепловой магистрали, т у. т./год	132	0	132 (47421 дол.)
электроэнергии на отопление, тыс. кВт·ч	0	875	–875
электроэнергии на отопление, т у. т.	0	245	–245 (–88226 дол.)
электроэнергии на коммунальные и бытовые нужды, тыс. кВт·ч	346	346	0
электроэнергии на приготовление пищи (электроплиты), тыс. кВт·ч	0	156	–156
электроэнергии на коммунальные и бытовые нужды и приготовление пищи (электроплиты), т у. т.	97	140	–44 (–15676 дол.)
тепловой энергии на ГВС с учетом потерь в котельной и в тепловой магистрали, Гкал/год	292	0	292
тепловой энергии на ГВС с учетом потерь в котельной и тепловой магистрали, т у. т./год	51	0	51 (18396 дол.)
электроэнергии на ГВС, тыс. кВт·ч	0	339	–339
электроэнергии на ГВС, т у. т.	0	95	–95 (–34202 дол.)
Итого, т у. т.	327	480	–153 (–55118 дол.)
Снижение капитальных затрат (+), дол.			820800
Срок исчерпания выгоды, полученной от снижения капитальных затрат, лет*			15

Примечание. Средний тариф на условное топливо с учетом прогноза роста стоимости за 10 лет – 360 дол./т у. т.

Из табл. 1 и 2 следует, что капитальные затраты на строительство «электродома» ниже затрат на строительство традиционного дома на 0,82 млн дол., а эксплуатационные расходы энергии возрастают с 327 до 480 т у. т. в год.

Обычно эффективность затрат или дополнительных затрат на внедрение проекта при положительном экономическом эффекте, т. е. при снижении эксплуатационных расходов, в том числе расходов ТЭР, оценивают на основании срока окупаемости. Если внедрение проекта сопровождается снижением капитальных затрат, но экономический эффект оказывается отрицательным, т. е. эксплуатационные расходы, в том числе расходы ТЭР, возрастают, то экономический эффект может быть оценен на основании времени, в течение которого будет исчерпана полученная первоначальная выгода – срока исчерпания выгоды. Это распространяется и на расходы ТЭР. При этом нужно учитывать не только увеличение эксплуатационных расходов ТЭР, но и снижение расхода ТЭР, включаемого в капитальные затраты в виде энергоемкости капитальных затрат (энергоемкость материалов, работ, энергоемкость заработной платы). Сэкономленная часть капитальных затрат может быть использована в других инвестиционных проектах с получением прибыли, благодаря чему срок исчерпания выгоды может еще увеличиться.

Срок исчерпания выгоды можно определить

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta Э},$$

где ΔK – снижение капитальных затрат вследствие удешевления проекта; $\Delta Э$ – годовое увеличение эксплуатационных расходов.

Чем больше срок исчерпания выгоды, тем выгоднее внедрение проекта. Если приемлемым сроком окупаемости в энергетике считается срок до восьми лет, то можно предположить, что срок исчерпания выгоды должен быть более восьми лет.

Выгода от снижения капитальных затрат при строительстве «электродома» постепенно, в течение нескольких лет, расходуется на оплату увеличенного расхода энергоресурсов, обусловленного низким КПД выработки электрической энергии на электрических станциях. Срок исчерпания выгоды (в противоположность сроку окупаемости), полученной от снижения капитальных затрат, по нашим расчетам, составил 15 лет. Таким образом, переход от строительства традиционных домов к строительству «электродомов» может быть экономически целесообразным, особенно при необходимости прокладки длинных газовых и тепловых магистралей. Увеличение расхода условного топлива при эксплуатации «электродома» компенсируется снижением предварительных затрат энергоресурсов в виде энергоемкости, сделанных при изготовлении материалов, используемых при строительстве дома (труб, кабелей, оборудования), а также снижением затрат ТЭР при строительстве дома. Снижение расходов на зарплату при выполнении работ – это тоже экономия энергоресурсов. При анализе эффективности строительства необходимо учитывать энергоемкость изготовления материалов и оборудования, энергоемкость строительных работ, заработной платы. Тогда срок исчерпания выгоды окажется еще больше, а увеличение эксплуатационных расходов энергоресурсов – не столь большим.

«Электродом» – очень привлекательная строительная конструкция с точки зрения снижения капитальных затрат на строительство, экологии, а также надежности энергоснабжения. Увеличение эксплуатационного расхода условного топлива постепенно «съедает» экономический эффект, полученный от снижения капитальных затрат на строительство. Но он исчерпается в течение длительного срока эксплуатации – 15 лет.

И это без учета экономии условного топлива, заложенного в качестве энергоемкости сэкономленных материалов, работ и без учета процента прибыли на сэкономленный капитал. При анализе энергетической эффективности конструкции нужно учитывать не только будущую экономию энергоресурсов, но и энергоемкость используемого оборудования, материалов. Ведь даже заработная плата работников имеет свою энергоемкость. Уже оплачена энергоемкость собственных и импортных материалов. С учетом сэкономленной энергоемкости капитальных затрат и процента прибыли на сэкономленный капитал срок исчерпания выгоды окажется намного больше 15 лет.

Увеличение расхода условного топлива, как мы видим, связано только с низким КПД преобразования энергии топлива в электрическую энергию на электростанциях из-за значительных потерь в конденсаторах турбин. Повышение КПД тепловых электростанций при выработке электроэнергии может сделать проект еще более привлекательным.

Пути повышения КПД преобразования энергии топлива в электрическую энергию на электростанциях: внедрение парогазовых и газовых турбин, а также новых конструкций паротурбинных установок, например установки по предполагаемому патенту [3].

ВЫВОДЫ

1. «Электродом» характеризуется значительным снижением капитальных затрат на строительство по сравнению с известными проектами с подводом тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение, газа, электроэнергии, холодной воды, канализации.

2. «Электродом» отличается экологической чистотой, высокой надежностью энергоснабжения, упрощением обслуживания.

3. Годовой расход условного топлива при эксплуатации «Электродома» возрастает из-за низкого КПД выработки электроэнергии на электрических станциях. Поэтому возрастают затраты на топливо.

4. Полученная при строительстве «Электродома» выгода со временем исчерпывается. Срок исчерпания выгоды достаточно большой – не менее 15 лет.

5. Внедрение проекта «Электродом» целесообразно при значительной длине и стоимости газовых магистралей, большой длине и стоимости тепловых магистралей, а также необходимости реконструкции котельных, когда срок исчерпания выгоды превышает даже названную величину – 15 лет.

6. Повышение КПД тепловых электростанций при выработке электроэнергии путем внедрения современных парогазовых и газовых турбин, внедрение новых конструкций паротурбинных установок может сделать проект еще более привлекательным.

Приложение 1

Алгоритм расчета

1. Годовой расход природного газа газовыми плитами при норме расхода 8 м^3 на 1 чел. в месяц [2] (1000 м^3 природного газа = 1,15 т у. т.) при среднем количестве жильцов в квартире, равном 3, количестве квартир $N_{кв}$ = 144

$$B_г = 12 \cdot 8 \cdot 1{,}15 \cdot 3N_{кв}, \text{ т у. т.}$$

2. Расход тепловой энергии на отопление традиционного дома

$$Q_о = 0{,}175 \cdot \left[1{,}1 q_о N_о T_о \frac{t_в - t_о}{t_в - t_{о\,min}} \right], \text{ т у. т.,}$$

где $q_о$ – паспортная тепловая нагрузка здания на отопление, Гкал/ч; $t_о$ – расчетная наружная температура для отопления (г. Минск $t_{ор}$ = –0,9 °С); 1162,8 $\frac{кВт}{Гкал/ч}$ – коэффициент перехода от Гкал/ч к кВт; $T_о$ – продолжительность работы системы отопления, ч/сут; $N_о$ – продолжительность отопительного периода (по г. Минску $N_о$ = 198 сут); V – строительный объем здания, м³; $t_в$ – расчетная температура внутри помещения, ºС, допустимая норма температуры согласно СНиП 11-3–79 в жилых помещениях и административных зданиях 18 ºС; $t_{о\ min}$ – расчетная минимальная температура наружного воздуха (г. Минск $t_{о\ min}$ = –24 °С); $N_{кв}$ – количество квартир в доме; 1,1 – коэффициент, учитывающий потери тепловой энергии.

3. Расход электрической энергии на отопление «электродома»

$$W_о = 0{,}28 \cdot \left[1{,}1(q_о \cdot 1162{,}8) N_о T_о \frac{t_в - t_о}{t_в - t_{о\,min}} \right], \text{ т у. т.}$$

4. Годовой расход электроэнергии на коммунально-бытовые нужды традиционного дома и «электродома» (освещение, бытовые электроприборы, телевизоры, холодильники)

$$W_{кб} = 0{,}28 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 3N_{кв} \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т.}$$

5. Годовой расход электроэнергии на приготовление пищи на электроплитах («электродом») при нормативе 30 кВт·ч на одного человека в месяц (норматив потребления электроэнергии в домах с газовыми плитами 60 кВт·ч на человека в месяц [2], в домах с электроплитами – 90 кВт·ч на человека в месяц)

$$W_{эп} = 0{,}28 \cdot 12 \cdot 3 \cdot 30N_{кв}, \text{ т у. т.}$$

6. Расход тепловой энергии на горячее водоснабжение традиционного дома

$$Q_{гвс} = 0{,}175 q_{гвс} \cdot 2 \cdot 365, \text{ т у. т.,}$$

где $q_{гвс}$ = 0,4 Гкал/ч – паспортная тепловая нагрузка здания на ГВС.

7. Расход электроэнергии на горячее водоснабжение «электродома» при использовании горячей воды 2 ч в сутки

$$W_{гвс} = 0{,}28 \cdot (1162{,}8 q_{гвс}) \cdot 2 \cdot 365, \text{ т у. т.}$$

8. Суммарные расходы ТЭР

$$W = W_о + W_{кб} + W_{эп} + W_{гвс}.$$

9. Годовой экономический эффект Э равен экономии (+) или перерасходу (–) условного топлива, умноженному на его цену. С учетом прогноза изменения цен на энергоносители средняя цена на условное топливо принята 360 дол. /т у. т.

10. Срок исчерпания выгоды, полученной от снижения капитальных затрат ΔK на строительство:

$$T = \frac{\Delta K}{\Delta Э}.$$

Приложение 2

Электрическое отопление и горячее водоснабжение

(ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ
ТКП 45-4.04-149–2009 (02250). Системы электрооборудования жилых
и общественных зданий. Правила проектирования)

17.1. На использование электроэнергии для целей нагрева (электроотопление, горячее водоснабжение, электротехнология и пищеприготовление) в жилых и общественных зданиях должно быть получено заключение органов госэнергонадзора в установленном порядке.

17.2. Для систем стационарного электротеплоснабжения зданий разрешается применение следующих видов нагревательных приборов: низкотемпературных сухих и масляных радиаторов, греющих панелей, электротепловентиляторов, аккумуляционных электропечей, греющих кабелей, конструкционных элементов зданий со встроенными низкотемпературными нагревательными элементами и электроводонагревателей.

17.3. Электроотопительные приборы и электроводонагреватели должны соответствовать требованиям ГОСТ 16617, ГОСТ 23110 и иметь сертификат соответствия согласно требованиям Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь.

17.4. Нагревательные приборы, предназначенные для стационарных систем электротеплоснабжения, должны иметь встроенный терморегулятор или термовыключатель. Приборы с принудительной конвекцией должны иметь блокировку, исключающую их работу при отсутствии обдува нагревательных элементов.

17.5. Водонагревательные приборы должны иметь встроенный термовыключатель и блокировку, запрещающую включение прибора при отсутствии воды или понижении ее уровня.

17.6. Нагревательные приборы должны располагаться таким образом, чтобы к ним был обеспечен свободный доступ для осмотра, ремонта и очистки. Расстояние между электронагревательными приборами и строительными конструкциями должно составлять не менее 60 мм.

17.7. Использование нагревательных приборов с непосредственным преобразованием электрической энергии в тепловую в складских помещениях с горючими материалами запрещается. Допускается использование таких нагревателей в помещениях для обслуживающего персонала складов, отделенных от складских помещений стеной.

17.8. Нагревательные приборы должны располагаться на негорючих (или группы горючести Г1) основаниях строительных конструкций. Допускается расположение нагревателей на горючем основании при условии установки между нагревателем и основанием прокладки из негорючего теплоизолирующего материала. Отопительные нагревательные приборы следует располагать преимущественно под оконными проемами.

17.9. Температура наружной поверхности элементов системы электротеплоснабжения в наиболее нагретом месте в нормальном режиме работы не должна превышать значений, указанных в СТБ МЭК 60335-1 (глава 11).

17.10. В помещениях общественных зданий, оборудованных автоматическими системами пожаротушения, необходимо предусматривать автоматическое отключение стационарного электротеплоснабжения при срабатывании систем тушения пожара.

17.11. Расстояние от приборов электроотопления до материалов групп горючести Г2, Г3 и Г4 должно быть не менее 0,3 м.

17.12. Питание приборов электротеплоснабжения в жилых домах должно осуществляться по независимым от других электроприемников линиям, начиная от квартирных щитков или вводно-распределительного устройства здания.

В общественных зданиях питание приборов электротеплоснабжения должно, как правило, быть независимым от других электроприемников, начиная от ВРУ.

Соединение стационарных приборов с линиями питания должно быть неразъемным.

17.13. При групповом включении нагревательных приборов сечение проводников ответвлений к ним должно составлять не менее половины сечения питающего кабеля (провода).

17.14. Регулирующие устройства, используемые в системах электротеплоснабжения, должны быть преимущественно бесконтактного типа (тиристорные и т. п.).

17.15. Регулирующие устройства должны содержать световую индикацию включенного состояния нагревателей.

17.16. Датчики температуры должны быть расположены на негорючем или групп горючести Г1 и Г2 основании строительных конструкций на высоте не менее 1,8 м от пола. Допускается установка их на горючем (групп Г3 и Г4) основании строительных конструкций с прокладкой из негорючих материалов, размер которых не менее чем на 150 мм превышает габариты датчика, а толщина составляет не менее 3 мм.

17.17. Датчики температуры, используемые в системе регулирования, должны иметь возможность изменения уставки.

17.18. Расчет теплотехнических и гигиенических параметров, а также выбор и размещение приборов электротеплоснабжения предусматривается в разделе «Отопление и вентиляция» проектно-сметной документации зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы электрооборудования жилых и общественных зданий. Правила проектирования: ТКП 45-4.04-149–2009 (02250) // Бюл. БелГИСС. – 2009. – № 2.

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 30.05.2003, № 724 // Нац. реестр прав. актов Респ. Беларусь. – 11 июля 2003 г.

3. Паротурбинная установка: заявка на изобретение № 20101684 от 24.11.2010 // М. М. Олешкевич, В. М. Олешкевич, Ю. В. Макоско.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 30.05.2011

УДК 621.31

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРЕХФАЗНЫХ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ РАСЧЕТА НАГРУЗОК

Канд. техн. наук АРУТЮНЯН А. Г.

Белорусский государственный экономический университет (Бобруйский филиал)

В настоящее время примерно 40 % вырабатываемой электроэнергии в СНГ реализуется через электрические сети (ЭС) 0,4/0,23 кВ. Например, в г. Москве около 40 % от вырабатываемой электроэнергии потребляется бытовым сектором и общественными зданиями [1].

Широкое применение в промышленности и быту устройств с нелинейными вольт-амперными характеристиками из-за неодновременного изме-