

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Ф. А. Бобко, д.т.н., профессор

Брестский государственный технический университет, г. Брест, Беларусь

Введение

Правильное отображение эффективности анализируемого проекта наступает при разделении предусматриваемой экономии в зависимости от действия следующих факторов: экономики применения строительных материалов, в том числе и местных; экономики конструктивных решений; экономики методов возведения; экономики эксплуатации и ликвидации здания.

Анализ эффективности методов возведения предусматривает сравнение энергоёмкости и капиталоемкости технологии рассматриваемых методов.

Среди прочего, следует заметить, что только данные из проектов иностранных государств, касающиеся расхода строительных материалов и их массы, можно использовать в качестве базы для сравнения. Показатели трудоёмкости и темпа работ следует считать ориентировочными. Стоимостные показатели проектных решений, применяемые на территории иностранных государств, могут оказаться иногда полностью непригодны ввиду отличающихся социально-экономических систем или экономических условий.

Наиболее универсальным показателем эффективности строительства может служить группа энергетических показателей, среди которых *энергоёмкость здания* и *энергетический потенциал технологических процессов*.

Снижение энергоёмкости строительства затрагивает пять основных переделов возведения и эксплуатации зданий. Среди них: энергосберегающие технологии добычи и производства строительных материалов и изделий; энергосберегающие технологии производства строительных конструкций; энергосберегающие технологии реализации строительных процессов при возведении зданий; энергосберегающие методы эксплуатации зданий и, наконец, методы ремонта и ликвидации зданий.

Необходимость энергосбережения в строительстве и эксплуатации зданий общеизвестна. Не вызывает дискуссии и целесообразность создания энергоэкономных проектов зданий и сооружений, обеспечивающих снижение эксплуатационных и финансовых затрат. В связи с этим становится ясно, что процесс энергосбережения должен быть непрерывен и эффективен на протяжении всего жизненного цикла здания или сооружения. Начало процесса энергосбережения в фазе проектирования, окончание – фаза ликвидации объекта. Трансфер энергосберегающих технологий охватывает все без исключения отмеченные выше переделы возведения и эксплуатации зданий, и опущение одного из них дает неправильный, искаженный образ энергосбережения.

Мировая строительная наука и практика последнего десятилетия все активнее использует неконвенциональные источники энергоснабжения, прогрессивные методы экологически чистых технологий возведения и эксплуатации зданий и сооружений, снижая воздействие разрушительного эффекта энергетического кризиса.

В практику проектирования, строительства и торговли недвижимостью вводятся обязательные энергетические свидетельства здания.

Энергетическое свидетельство здания — это документ, описывающий здание под углом зрения количества энергии, приходящееся на его отопление при эксплуатации в отопительном сезоне и нагрев воды для бытовых нужд.

Оно может содержать:

- требуемое количество энергии для эксплуатации здания;
- энергетический класс здания;
- детальную теплофизическую характеристику его стен, крыши, окон и дверей, полов и вентиляции – тех элементов здания, которые имеют влияние на количество тепловых потерь, сопутствующих теплообмену здания с окружающей средой;
- описание системы отопления, ее КПД, вид топлива;
- эмиссию CO₂, сопровождающую сгорание топлива, и получение требуемого количества энергии;
- руководство по улучшению энергетического стандарта здания.

Цель энергетического свидетельства здания:

- «знать больше» об энергетическом стандарте здания и возможностях экономии энергии;
- «использовать возможность» правильного выбора оптимального решения на этапе проектирования и строительства дома (здания);
- «рационально улучшить» качество теплоснабжения существующего здания, т.е. запланировать, определить и выполнить этапы теплоизоляционных работ, получить желаемые эффекты минимальными материальными и финансовыми затратами.

Примеры в промышленности и быту известны – существуют и используются электротовары и приборы домашнего обихода соответствующего энергетического класса; автомобили и автомобильные двигатели с различным расходом и видом топлива; современные энергосберегающие лампы внутреннего и наружного освещения.

В публикации не затрагиваются проблемы оценки эффективности архитектурно-планировочных решений.

1. Сравнительная оценка проектных решений жилищного строительства при помощи технических, экономических и энергетических показателей

Сравнительные оценки основываются на применении аналогичных подборок показателей для каждого анализируемого проектного решения. Подборки могут быть многочисленными, и поэтому анализ должен быть более подробный в случае сравнения проектных решений зданий, похожих с точки зрения применяемой технологии строительства (например: при сравнении систем сборного строительства, многоэтажного строительства из монолитного бетона, строительства одноэтажных промышленных зданий, строительства индивидуальных жилых домов и др.) При сравнении систем строительства с отличающейся технологией возведения количество показателей может быть ограничено [2]. Вместе с тем, а это не менее важно, сравнение вариантов позволяет однозначно назвать наиболее эффективные по сравнению с иными проектные решения.

1.1 Параметры, характеризующие величину здания:

- 1) общее пространство застройки (кубатура) V м³,
- 2) пространство застройки сборными элементами V_p м³,
- 3) общая площадь квартиры F_m м²,
- 4) полезная площадь квартиры F_u м²,
- 5) нормативное количество жильцов в доме J_m ,
- 6) площадь застройки F_z м²,

- 7) периметр здания O_B м,
- 8) вспомогательная площадь F_p м²,
- 9) площадь помещений для коммуникации (коридоры и лестничные клетки) F_{sk} ,
- 10) площадь, занимаемая несущими конструкциями объекта F_k м².

1.2. Параметры, характеризующие совершенство построения глыбы здания и его внутренних решений:

11) показатель соотношения поверхности $K_1 = F_m / F_u$

Величина K_1 зависит от структуры квартир. С увеличением количества одно- и двухкомнатных квартир величина K_1 уменьшается, с увеличением количества многокомнатных квартир величина K_1 возрастает. В крупнопанельных зданиях $0,60 \leq K_1 \leq 0,7$, в крупноблочных $0,62 \leq K_1 \leq 0,79$.

12) показатель отношения кубатуры к величине полезной площади:

$$K_2 = V / F_u; K_2' = V_p / F_u$$

13) показатели жилой площади на одного жильца:

$$K_3 = F_u / J_m; K_3' = F_m / J_m,$$

14) показатели кубатуры здания на одного жильца:

$$K_4 = V / J_m$$

Величина показателя K_4 зависит от величины показателей K_2 и K_3 .

Это следует из преобразований

$$K_4 = V / J_m = [V / J_m] [F_u / F_u] = [V / F_u] [F_u / J_m] = K_2 K_3$$

Показатели K_2 , K_3 , и K_4 , используются для сравнения вариантов. Не могут служить для экономической оценки анализируемого проектного решения здания;

15) показатель отношения объёма здания к площади застройки: $K_5 = V / F_z$

16) показатель объёма: $K_6 = h(1 + P_1 + P_2 + P_3)$,

где $h = H/n$,

H – расчётная высота, измеряемая от уровня пола в подвальном помещении до уровня верха перекрытия последнего этажа м;

n – количество этажей в здании, включая подвальные помещения,

$$P_1 = F_p / F_m; P_2 = F_{sk} / F_m; P_3 = F_k / F_m;$$

Показатель K_6 - следует понимать как увеличение показателя высоты за счёт величины поверхности подсобных помещений, путей эвакуации и поверхности, занятой несущими конструкциями, приходящимися на площадь квартиры в анализируемом проекте.

Повышенную экономию затрат характеризует меньшая величина коэффициента K_6 . Неконтролируемое снижение затрат, снижение величины K_6 , ведёт к уменьшению площади вспомогательных помещений и путей эвакуации;

17) показатель насыщения площади застройки наружными стенами:

$$K_0 = O_B / F_z,$$

Проектирование зданий с меньшей шириной, при одинаковой площади застройки, ведёт к увеличению значения K_6 . Уменьшение величины K_6 ведёт к снижению затрат на реализацию зданий, их эксплуатацию. Более экономичны здания с повышенной шириной при неизменной площади застройки.

18) показатели массы здания в кг:

- общая масса здания G_c ,
- масса подземной части G_p ,
- масса надземной части G_n .

Разделение здания на подземную и надземную части и определение массы каждой части в отдельности справедливо, исходя из следующих двух обоснований:

-различных способов посадки здания, вызванных геологическими и гидрогеологическими условиями;

-различной технологии возведения подземной и надземной частей здания в рассматриваемом проекте ;

19) показатели массы здания, приходящейся на единицу объёма:

- всего здания $W_{GcV} = G_c / V$,

- подземной части здания $W_{GpV} = G_p / V_{pd}$,

- надземной части здания $W_{GnV} = G_n / V_n$;

20) показатели массы здания, приходящейся на единицу поверхности:

- общей $W_{Gcpu} = G_c / F_u$,

- жилой $W_{Gspm} = G_c / F_m$;

21) показатели расхода стали:

- на единицу объёма здания $W_{CsV} = C_s / V$,

- на единицу общей площади здания $W_{Cspu} = C_s / F_u$,

- на единицу жилой площади $W_{Cspm} = C_s / F_m$,

где C_s - масса стали, необходимой для строительства здания, т.

1.3. Показатели, характеризующие сборные элементы в проектируемом здании:

22) количество типоразмеров сборных элементов T , в том числе несущих конструкций T_k ;

23) количество типоразмеров форм T_f ;

24) количество типов форм для выпуска изделий для данного проекта здания:

- минимальные S_{min} ,

- максимальные S_{max} .

1.4. Показатели технологии монтажа зданий из сборных элементов:

25) количество сборных элементов в здании N ,

26) количество монтажных циклов сборных элементов, необходимых при монтаже здания N_c , $N > N_c$.

27) показатели количества сборных элементов:

- на единицу кубатуры $W_{NV} = N / V_p$,

- на единицу общей поверхности $W_{Npu} = N / F_n$.

28) масса сборных элементов, предусматриваемая в проекте здания C_p ;

29) средняя масса сборных элементов, перемещаемых в процессе монтажа,

$C_{sr} = C_p / N_c$ кг.

30) разброс величины массы сборных элементов:

- минимальная масса сборного элемента C_{min} ,

- максимальная масса сборного элемента C_{max} ;

31) показатель использования грузоподъёмности монтажной машины $S_u = C_{sr} / U$,

где: номинальная грузоподъёмность крана на рабочем вылете стрелы кг (в случаях изменяющейся величины вылета стрелы принимается *средневзвешенная величина*);

32) показатель сборности здания $s_p = G_{pr} \times S_w / G_c$;

где G_{pr} - масса сборных элементов в соответствии со спецификацией анализируемого здания, т;

G_c – общий вес здания, т.

Показатели от п. 25 до п. 27 непосредственно связаны с темпом монтажа и циклами реализации отдельных зданий. При меньших величинах этих показателей темп монтажа высший, а время реализации короче.

Показатели от п. 28 до п. 31 отражают степень использования монтажных кранов и, следовательно, их производительность. С увеличением S_u ($S_u < 1$ всегда) соответственно снижается стоимость работы машины, приходящаяся на единицу объёма здания. Показатель п.32 выражает общий объём сборности проектируемого здания. Его увеличение свидетельствует о снижении затрат труда при возведении здания – непосредственно на строительной площадке.

1.5. Показатели затрат труда:

33) показатели затрат труда рабочих на строительной площадке при выполнении строительных процессов:

- на единицу кубатуры здания P_{rV} ,
- на единицу общей площади $P_{гру}$,
- на единицу жилой площади $P_{рпм}$;

34) показатели затрат труда рабочих при монтаже оборудования внутри здания:

- на единицу кубатуры здания P'_{rV} ,
- на единицу общей площади $P'_{гру}$,
- на единицу жилой площади $P'_{рпм}$;

35) показатели затрат труда рабочих при выполнении процессов на вспомогательных производствах:

- на единицу кубатуры здания P''_{rV} ,
- на единицу общей площади $P''_{гру}$,
- на единицу жилой площади $P''_{рпм}$;

36) Общие затраты труда:

- на единицу кубатуры здания ΣP_{rV} ,
- на единицу общей площади $\Sigma P_{гру}$,
- на единицу жилой площади $\Sigma P_{рпм}$;

37) степень механизации строительных процессов

$$s_m = [M_m + M_b] / \Sigma P_r,$$

где M_m - трудоёмкость ручных монтажных процессов, выполняемых бригадой монтажников (зацепление, установка, отцепления, заделка стыков, и др.) чел-часы,

M_b - трудоёмкость машин, занятых на строительстве здания, маш – час;

ΣP_r - общая трудоёмкость ручных работ при возведении здания:

$$\Sigma P_r = M_m + M_b + R_b$$

R_b - трудоёмкость ручных работ не связанных с монтажом, чел-час;

38) степень индустриализации, являющийся суммой степени сборности и степени механизации:

$$S_{up} = S_p + S_m$$

1.6. Стоимостные показатели, руб:

39) сметная цена здания, составленная по рабочим чертежам, K_{ks} ,

в том числе:

- общестроительные работы K_{ksb} ,
- монтаж оборудования K_{ksi} ,
- сети и благоустройство K_{ksuz} ;

40) показатели стоимости здания:

- на единицу кубатуры $W_{ksV} = K_0 / V$,
- на единицу общей площади $W_{kspu} = K_{ks} / F_u$,
- на единицу жилой площади $W_{kspm} = K_{ks} / F_m$;

41) капиталоемкость технологии возведения, руб.:

$$K_{tb} = \sum_{n=1}^N \frac{1}{M_{Zn}} \left[\left(\frac{I_{Bn}}{a_{Bn}} + k_{mgB} \right) + \sum_{i=1}^r \left(\frac{T_{Wi}}{a_{Wi}} + k_{rWi} \right) \right] + \sum_{i=1}^S \frac{1}{Q_{esr}} \left(\frac{I_{Si}}{a_{Si}} + k_{rSi} \right),$$

где N – количество предприятий, выпускающих сборные конструкции и изделия для строительства здания в соответствии с рассматриваемым проектом,

M_{Zn} - среднегодовая производственная мощность предприятия по выпуску сборного изделия типа n ,

$$M_{Zn} = M_z / m_{Ob},$$

M_z – производственная мощность предприятия,

m_{Ob} – потребность использования изделия типа n на объекте в расчете на единицу проектируемого объекта,

I_{Bn} - величина инвестиции на СМР по возведению предприятия, выпускающего сборные изделия, типа n ,

a_{Bn} - время планируемой амортизации зданий, предназначенных для выпуска изделий типа n , год,

k_{mgB} - средняя годовая стоимость ремонта предприятия, выпускающего сборные изделия, типа n ,

r - количество машин и оборудования, подвергающихся амортизации на производственных предприятиях,

I_{Wi} - стоимость купли, монтажа и пуска машины или технологического оборудования типа i ,

a_{Wi} - время планируемой амортизации машины или технологического оборудования типа i , год,

k_{rWi} - средняя годовая стоимость ремонта машины или технологического оборудования, i ,

S - количество машин и технологического оборудования для производства СМР на строительной площадке и выпуска изделий на предприятиях стройиндустрии,

Q_{esr} - годовая эксплуатационная производительность строительных машин и транспорта на предприятиях, строящих проектируемое здание; $Q_{esr} = Q_{er} / s_{Ob}$, где Q_{er} - годовая эксплуатационная производительность строительных машин, м³/год; м²/год; шт/год; т/год;

s_{Ob} – норма производительности машины на единицу объекта (задание).

1.7. Энергоемкость строительства

1.7.1. Энергоемкость зданий

Таблица

№ пп.	Наружные стены многосемейных домов для инвалидов	Общая величина тепловых потерь в здании, [кВтч/год], S	Величина тепловых потерь на вентиляцию, [кВтч/год], Sw	Годовая потребность на тепло, [кВтч/год], Z	Энергоемкость 1м ³ здания, [кВтч/год], En 1м ³ K	Энергоемкость 1м ² жилой площади здания, [кВтч/год], En 1м ² Pu	Энергоемкость 1м ² общей площади здания, [кВтч/год], En 1м ² Pc	Кол-во потерь тепла на 1м ² жилой площади здания X 1м ² Pu	Кол-во потерь тепла на 1м ² общей площади здания, [кВтч/год], X 1м ² Pc
1	Однослойные Силикатные блоки	491542	310587	300192	28,94	100,76	86,23	164,99	141,19
2	Блок керамический многощелевой	489656	310587	299014	28,83	100,37	85,89	164,36	140,65
3	Блок керамический поризованный	493673	310587	302005	29,11	101,37	86,75	165,70	141,81
4	Двухслойные Кирпич дырчатый + минвата	492459	310587	301506	29,07	101,20	86,61	165,30	141,46
5	Блок керамич. щелевой + пенопласт	493627	310587	302247	29,14	101,45	86,82	165,69	141,79
6	Трехслойные Кирпич дырчатый + минвата+кирпич щелевой	493799	310587	302749	29,19	101,62	86,96	165,75	141,84
7	Блоки пенобетон + минвата+пустота+кирп. клинкер	491229	310587	300471	28,97	100,85	86,31	164,88	141,1
8	Блок керамич пустотельный +пена полиуретан кирпич. клинкер	494302	310587	303152	29,22	101,75	87,08	165,92	141,99

42. Общая величина тепловых потерь в здании [кВтч/год], S

43. Величина тепловых потерь на вентиляцию [кВтч/год], Sw

44. Годовая потребность на тепло [кВтч/год], Z

45. Энергоемкость 1м³ здания [кВтч/год] En 1м³ K

46. Энергоемкость 1м² жилой площади здания [кВтч/год] En 1м² Pu

47. Энергоемкость 1м² общей площади здания [кВтч/год] En 1м² Pc

48. Количество потерь тепла на 1м² жилой площади здания X 1 м² Pu

49. Количество потерь тепла на 1м² общей площади здания [кВтч/год] X 1м² Pc

1.7.2. Энергоемкость строительных процессов

Комплексным решением проблемы снижения энергоемкости технологии производства строительных процессов, равно как и возведения железобетонных конструкций при отрицательных температурах зимнего времени в условиях умеренного климата является оптимизация *теплового энергетического потенциала*. *Энергетический потенциал*, в этом случае, - достаточная величина *эффективной тепловой энергии*, обеспечивающей достижение *прочности бетона* до его замерзания. Криогенная стойкость структуры бетона при замерзании может быть получена только в том случае, если железобетонному конструктивному элементу передан заданный тепловой энергетический потенциал, способный противостоять разрушающему воздействию бетона.

Автор исходит из того, что наличие физико-механических, теплофизических и др. характеристик проектов зданий и технологических процессов создает такие комбинации и

взаимосвязи конструктивно-технологических факторов, при которых проектное решение может быть осуществлено, востребуя минимальные величины теплового энергетического потенциала. Проблема оптимизации взаимосвязей влияющих факторов и технологических режимов производства весьма актуальна и в этом случае.

Экспериментальные и теоретические исследования, например, процесса возведения бетонных конструкций, опирающиеся на современные достижения в области технологии зимнего бетонирования, теории тепломассообмена при использовании математического анализа, сводятся к установлению оптимальной величины *теплового энергетического потенциала* процесса набора прочности бетона, обеспечивающей криогенную стойкость структуры при замерзании.

Технологическим параметром, характеризующим изменение теплового энергетического потенциала во времени является *показатель энергетической потенциалоемкости процесса*, занимающий главную позицию в иерархии финансовых и технико-экономических показателей, однако, до настоящего времени, не учитываемый в производственной деятельности строительных фирм и организаций.

Методы моделирования и алгоритмизации зависимостей между конструктивными, технологическими и климатическими факторами, а также математическая обработка экспериментальных данных, разрабатываемые в виде отдельных параметров или *систем технологических режимов*, находят широкое применение при реализации технологических процессов. Разработанные автором и внедряемые в условиях производства предпочтительные математические модели, алгоритмы и разрабатываемые на их основе программы для компьютеров современной генерации являются эффективным методом оптимизации технологических процессов.

Комплексное использование методов прикладной математики в многовекторных исследованиях технологических процессов таких, как: планирование эксперимента, регрессионный, корреляционный и векторный математический анализ, одно- и многофакторная оптимизация функции цели при помощи компромиссных решений, интегрирование дифференциальных уравнений, даёт большой выбор способов моделирования динамики технологических процессов от конструктивных и технологических факторов. Это создаёт возможность выбора предпочтительных математических моделей, адекватных условиям набора требуемой прочности бетона при оттаивании. Наиболее эффективным в этом случае является использование методов математического моделирования в комплексе с программно-компьютерным обеспечением.

При проведении исследований автор исходит из того, что, разработав математическую базу в виде уравнений и их систем, можно построить приоритетные математические модели технологических процессов, а также систему определителей пригодности этих моделей для проектирования и внедрения энергосберегающих технологий и их режимов. Использование этих моделей с одновременным применением алгоритмов и компьютерных программ даёт возможность проводить экспериментальные и теоретические исследования при разработке таких методов производства строительных процессов и их технологических режимов, которые обеспечивали бы близкую к оптимальной величину *заданного энергетического потенциала технологического процесса*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bobko F.A.: Optymalizacja potencjału energetycznego tężenia mieszanki w aspekcie zapewnienia wymaganej mrozoodporności betonu i elementów konstrukcyjnych. Wyniki badań. Podstawy modelowania i prognozowania. Monografia NR 47 ISBN 83-85031-95-2 ISSN 0860-5017, Częstochowa, 1997, s. 243.

2. Leon Rowiński, Jan Mikoś: *Ekonomika budownictwa*. PAN, Warszawa 1987.