

**Оценка эффективности технологии в строительстве с позиций воздействия производства на окружающую среду по показателям экологической характеристики технологии (ЭХТ)**

**А.П. Васин, к.т.н., доцент кафедры организации строительства**  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

**Вводная часть.**

Эффективность любого производства имеет отношение к технологическим, экологическим и экономическим процессам. Эффективность – результативность социальной системы, выражающаяся в отношении полезных конечных результатов её функционирования к затраченным ресурсам. Достижение каких-либо определенных результатов с минимально возможными издержками или получение максимально возможного объема продукции из данного количества ресурсов – эффективность [1]. Таким образом, термин «эффективность в строительстве» - оценка результативности процесса на всех этапах строительства, определяемые как отношение эффекта, результата к затратам, расходам, обеспечившим его получение. Можно отдельно оценивать эффективность капитала, эффективность труда и эффективность земли (недр), отражающих и экологическую эффективность технологий.

Показателями оценки «Эффективности строительного производства» могут служить чистая продукция, затраты на 1 рубль строительных и монтажных работ, прибыль, также выраженная в денежных единицах.

В производстве строительных материалов оцениваются запасы сырьевых компонентов, энергоемкость производства, расстояния от месторождений до производителя и потребителя, объемы потребления и другие. В проектируемом здании оценивается влияние этажности, применяемых материалов и конструкций, организационно-технологических решений и т.п. В условиях вариантного проектирования и строительства технологические и конструктивные решения принимаются по результатам сравнения величин показателей рассматриваемых вариантов.

Для решения задачи рационального выбора технологии используются различные методы и справочники. Например, по материалам справочных пособий «Разработка проектов организации строительства и проектов производства работ для промышленного строительства» выполняются следующие расчеты:

**1. Определение сравнительной экономической эффективности вариантов проектных решений по организации строительства производится**

путем сопоставления приведенных затрат, представляющих собой сумму себестоимости и нормативных отчислений от капитальных вложений в производственные фонды строительно-монтажных организаций, по каждому из вариантов по формуле:

$$Z_i = C_i + E_n K_i,$$

где  $C_i$  - себестоимость строительно-монтажных работ по  $i$ -му варианту проекта организации строительства;  $E_n$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в строительстве;  $K_i$  - капитальные вложения в фонды строительно-монтажных организаций по  $i$ -му варианту проекта организации строительства.

При выборе варианта проекта организации строительства предпочтение отдается варианту с минимальными приведенными затратами с учетом экономического эффекта от сокращения продолжительности строительства объекта, а при равенстве приведенных затрат - варианту, обеспечивающему получение социального эффекта (вытеснение ручного труда, улучшение условий труда и др.).

Определение экономического эффекта производится по проекту организации строительства для объекта (предприятия, здания, сооружения) в целом независимо от продолжительности его возведения согласно действующим нормативам или плановым показателям. При этом нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений принимается в размере  $E_n = 0,15$ .

**2. Приведение разновременных затрат по фактору времени** производится по формуле

$$a_t = (1 + E)^t,$$

где  $a_t$  - коэффициент приведения;  $E$  - норматив для приведения разновременных затрат;  $t$  - период времени приведения в годах, т.е. количество лет, отделяющих затраты или результаты данного года от начала расчетного года.

При оценке проектов организации строительства за расчетный принимается год ввода объекта в действие по варианту проекта организации строительства с большей продолжительностью строительства.

Норматив для приведения разновременных затрат  $E = 0,08$ , а при оценке прогрессивных форм и методов, применяемых в проекте организации строительства, предусмотренных планами по внедрению новой техники,  $E = 0,1$ .

Используются и другие методы оценки эффективности строительного производства, в том числе при выпуске строительных материалов и изделий.

Поиск методов расчета и критериев оценки эффективности технологии в строительстве, с позиций воздействия производства на окружающую среду, в том числе в стоимостном выражении, достаточно сложная задача в период нестабильной цены как отечественного рубля, так и иностранных денежных единиц, и их котировок. Необходим поиск универсальных критериев оценки эффективности технологии в строительстве.

Рост или падение цен на сырье, трудовые ресурсы, строительную продукцию, транспортные услуги воспринимается как неизбежное следствие прошедших и происходящих финансовых потрясений в мире.

## Основная часть.

Поиску универсальных критериев оценки эффективности технологии в строительстве были посвящены исследования, выполненные в СПбГАСУ под руководством д.т.н., проф. П.И. Боженова.

Критерий (от лат. *criterion*) – признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо. То есть мера, показатель оценки производства строительной продукции по количеству и качеству потребляемых сырья, энергии и времени, в килограммах, джоулях, секундах, а не в денежном выражении (рубль, доллар и т.п.).

В настоящей работе используется и развивается идея П.И. Боженова оценки эффективности технологии в строительстве с позиций воздействия производства на окружающую среду по трем критериям – показателям экологической характеристики технологии (ЭХТ). ЭХТ имеет три основных показателя производства единицы продукции: материальный, энергетический и временной и может быть записан в следующем виде [2]:

$$\text{ЭХТ} = M_{\text{пр}} / M_{\text{с}} + \text{Э}_{\text{н}} / \text{Э}_{\text{ф}} + T_{\text{н}} / T_{\text{ф}} < 3,$$

где  $M_{\text{пр}}$  – масса конечного продукта;  $M_{\text{с}}$  – суммарная масса или фактический расход сырья;  $\text{Э}_{\text{н}}$  – необходимый расход энергии;  $\text{Э}_{\text{ф}}$  – фактический расход энергии;  $T_{\text{н}}$  – необходимое время;  $T_{\text{ф}}$  – фактический расход времени.

*Первое слагаемое ЭХТ* отражает материальный показатель. Значение первого слагаемого – массовая доля готовой продукции от массы исходного сырья, определяется качественными характеристиками исходного сырья. Первое слагаемое характеризует безвозвратные потери сырья. Зависит, главным образом, от механических потерь при добыче, транспортировке, от содержания в исходном сырье продуктов из которых при сушке и обжиге выделяются летучие газообразные вещества. Например,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ , которые образуются процессе термической обработки и удаляются в атмосферу. Состав газов, выделяемых из материала при сушке и обжиге керамических изделий, оказывают существенное влияние на состояние атмосферы.

Поэтому при выборе исходного сырья следует отдавать предпочтение компонентам, не выделяющим при термической обработке летучие вещества. Этому требованию удовлетворяют многие виды попутных продуктов промышленности: металлургические шлаки, золошлаковые смеси ТЭЦ, прошедшие первичную высокотемпературную обработку в основном производстве.

*Второе слагаемое ЭХТ* отражает энергоемкость производства. Значение второго показателя равно отношению величины необходимых энергетических

затрат к фактическим затратам. Например, в числителе, минимальное теоретическое количество теплоты, необходимое на испарение 1,0 кг воды при температуре 80,86°C равно 2314,2 кДж. Знаменатель второго слагаемого характеризует уровень расхода энергии на испарение 1 кг воды в конкретном производстве, например, при сушке сырца.

*Третье слагаемое ЭХТ* отражает расход времени на производство единицы продукции. Значение третьего слагаемого – доля необходимого времени в фактическом времени производства продукции – характеризует общий научно-технический уровень производства, имеет важное экономическое значение, поскольку определяет производительность труда и оборачиваемость финансовых ресурсов, свидетельствует об интенсивности технологического процесса.

Каждое слагаемое ЭХТ имеет свои особенности. Все показатели отражают научно-технический уровень развития промышленности и используемой технологии. Все слагаемые универсальны, как коэффициенты полезного действия, каждый всегда меньше 1, а их сумма всегда меньше 3 [2].

В настоящей работе, в качестве примера, выполнена оценка эффективности технологии строительной керамики с использованием критериев оценки экологической характеристики технологии.

Масса используемого сырья в производстве керамического кирпича, *при оценке первого показателя ЭХТ*, всегда больше массы полученного продукта. Например, в табл. 1 приведены данные изменения массы исходного сырья и кирпича, рассчитанные для Волгоградского кирпичного завода применительно к выпуску 1000 шт. полнотелого кирпича пластического формования размерами 65x120x250 мм.

Таблица 1

Показатели изменения массы сырья и изделий, на 1000 шт. усл. кирпича

| № п/п | Показатели массы сырья и изделий  | Масса, кг | Удельный расход, % | Потери, % |
|-------|---|-----------|--------------------|-----------|
| 1.    | Добывается в карьере, включая вскрышные породы и потери при транспортировке | 5590      | 100,0              | 0,0       |
| 2.    | Поступает в производство  | 5180      | 92,7               | 7,3       |
| 3.    | Содержится в свежесформованном сырце  | 4920      | 88,0               | 12,0      |
| 4.    | Содержится в сырце после сушки  | 4380      | 78,4               | 21,6      |
| 5.    | В кирпиче после обжига  | 3810      | 68,2               | 31,8      |

Масса обожженного кирпича, относительно массы добытого в карьере природного сырья составляет 68,2%.

Подобная картина расхода сырья практически наблюдается на всех заводах, выпускающих керамический кирпич методом пластического формования.

В сырьевую смесь (шихту) вводится вода, которая при сушке и обжиге выделяется в атмосферу, унося тепловую энергию технологии. Ориентировочно можно пересчитать потери сырья для заводов СНГ. При объеме годового выпуска кирпича заводами СНГ в количестве 15,0 млрд. шт. условного кирпича, добыча сырья составляет около 80,0 млн. тонн, из которого выделяется в атмосферу порядка 20,0 млн. тонн газообразных продуктов и теряется 6,0 млн. тонн твердых отходов. Часть твердых отходов может быть возвращена в основное производство, а газообразные продукты нет. Замена природного глинистого сырья попутными продуктами промышленности, прошедшими термическую обработку в основном производстве, повышает эффективность производства керамических изделий.

В любой технологии фактические энергозатраты, *при оценке второго показателя ЭХТ*, практически всегда превышают теоретически необходимые. В производстве керамической плитки при сушке пресс-порошка из шликера до влажности 7,0%, содержащего около 50,0% грубозернистого компонента, расходуется 3200 – 3250 кДж/кг, а при его содержании в количестве 45,0% расход теплоты, по данным А.И. Августиника, увеличивается до 3780 – 4200 кДж/кг [3].

В табл. 2 даны показатели расхода теплоты на сушку кирпича в туннельном сушиле кирпичного завода в г. Челябинск, полученные совместно с к.т.н. С.В. Кравченко.

Таблица 2

Показатели расхода теплоты в туннельном сушиле на 1 кг испаренной влаги при сушке кирпича, кДж

| № п/п | Показатели расхода теплоты                                   | На 1 кг испаренной влаги, кДж | Удельный расход, % |
|-------|--|-------------------------------|--------------------|
| 1.    | Испарение влаги  | 2562,0                        | 61,8               |
| 2.    | Потери с отходящими газами                                   | 1199,9                        | 26,7               |
| 3.    | Прогрев сухой массы сырца                                    | 285,6                         | 6,5                |
| 4.    | Удаление химически связанной воды                            | 68,0                          | 1,4                |
| 5.    | Нагрев сушильных рамок                                       | 45,4                          | 0,8                |
| 6.    | Нагрев вагонетки   | 36,1                          | 0,8                |
| 7.    | Потери в окружающую среду с поверхности сушил                | 63,0                          | 1,4                |
| 8.    | Потери через неплотности элементов сушил в местах сопряжения | 21,0                          | 0,6                |
|       | ИТОГО:   | 4281,0                        | 100,0              |

Длительность технологического цикла производства керамического кирпича, *при оценке третьего показателя ЭХТ*, определяемая временем на подготовку сырьевой смеси, формование, сушку и обжиг, составляет 72–100 ч и более.

Существующее производство керамического кирпича, рассчитанное по первому показателю ЭХТ – расходу материала, добытого в карьере к массе обожженного кирпича имеет величину первого показателя, равного величине 0,6 – 0,7. По второму показателю - расходу теплоты на сушку и обжиг, при среднеотраслевом показателе равном 2,05 МДж/кг, величина второго слагаемого ЭХТ колеблется в пределах 0,3 – 0,4. По третьему показателю ЭХТ – фактору времени, колеблется в пределах 0,2 – 0,3.

Рассматривая существующее производство керамического кирпича пластического формования с использованием сушки в туннельных сушилах и обжига – в туннельных печах, исходя из среднеотраслевых показателей по заводам СНГ, экологическая характеристика технологии по трем критериям оценки составляет величину от 1,1 до 1,4.

В промышленных условиях на кирпичных заводах Волгограда и Челябинска, совместно с к.т.н. С.В. Кравченко, установлено, что изменение состава шихты при введении в ее состав 30,0% доменного или ваграночного шлаков первое слагаемое ЭХТ, с учетом вводимой воды затворения, увеличивается до 0,8.

При уменьшении формовочной влажности шихты на 1,0%, то есть с 19,0 до 18,0%, количество воды в 1000 шт. кирпича уменьшилось на 28,0 кг. По опытным данным масса 1000 шт. сырца с влажностью 19,0% равнялась 3305кг, а с влажностью 18,0% – 3277 кг.

На испарение 1 кг воды из кирпича-сырца в беззатворной прямоточно-противоточной сушилке конструкции УралНИИСтромпроекта, в которой высушивался сырец, расходовалось 5502 кДж теплоты. При уменьшении формовочной влажности шихты на 1,0%, на 1000 шт. сырца, экономия пересчете на массу условного топлива составляла 5,24 кг.

Теоретически, на испарение 1 кг воды при 80,86°С должно быть израсходовано 2314,2 кДж теплоты, или, в пересчете на изменение формовочной влажности шихты на 1,0%, на 1000 шт. сырца, должно быть израсходовано 64797,6 кДж. Таким образом, при уменьшении формовочной влажности с 19,0 до 18,0 % показатель ЭХТ увеличивается на 0,02 – 0,03. Показатель времени сушки кирпича увеличивается до 0,4.

А при введении в шихту 30% металлургических шлаков второй показатель ЭХТ увеличивается дополнительно на 0,3 – 0,5.

При использовании рационально подобранного состава керамической шихты марка кирпича повышается, с М100 до М125 и более, а, следовательно, увеличивается и его отпускная цена. Таким образом, к показателю экономической эффективности технологии следует отнести ценовое изменение при улучшении качества (марки) продукции.

Критерии оценки эффективности технологии по показателям ЭХТ можно использовать и для оценки принципиально новых способов производства керамических изделий, позволяющих сократить энергозатраты за счет уменьшения температуры обжига. По данным [3, 4, 5] рассчитано, что при обжиге санитарно-технических изделий при температуре 1270°C удельный расход условного топлива составляет 1,56 кг/кг. Если данную величину удельного расхода топлива принять за 100,0%, то при 1220°C – его расход составит 90,0%; 1150°C – 83,0%; 1100°C – 71,0%.

Новая перспективная технология санитарно-технических изделий с использованием местного сырья и способа обжига в вакуумной печи, разработана в СПбГАСУ совместно с к.т.н. Б.А. Григорьевым и к.т.н. Н.А. Елистратовым. Основные параметры принципиально новой технологии керамических санитарно-технических изделий - замена, огнеупорных беложгущихся глин и каолинов легкоплавкими кембрийскими глинами в составе шликера с последующим обжигом изделий в вакуумной печи. Новая технология санитарно-технических изделий позволяет увеличить не только сырьевой показатель, но и энергетический и временной показатели ЭХТ [6]. При обжиге в вакуумных печах температура обжига уменьшается на 100-160 °С (до 1150°C), а продолжительность обжига – сокращается с 48ч до 12,0 - 14 ч., улучшив *второй и третий показатели ЭХТ* в 4 раза.

### **Заключительная часть.**

Таким образом, оценка эффективности производства строительной керамики по показателям экологической характеристики технологии (ЭХТ) по Божену П.И., является универсальным критерием оценки. Метод оценки эффективности в строительстве по показателям экологической характеристики технологии с позиций воздействия производства на окружающую среду, применим практически к любому производству.

Расчеты по оценке экологической характеристики технологии строительной керамики, с использованием критериев оценки, предложенных П.И. Боженным, выполнены впервые. Указанные методы расчета показателей эффективности могут быть использованы при выборе вариантов технологических решений производства любой продукции.

### **Литература:**

1. *Дж. Блэк*. Толковый словарь. Экономика /Ред. – д.э.н. И.М. Осадчая М.: "ИНФРА-М", Издательство "Весь Мир". – 2000. – 476 с.
2. *Боженев П.И.* Комплексное использование минерального сырья и экология. – Уч. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 1994. – 264 с.
3. *Августиник А. И.* Керамика. – Л.: Стройиздат, 2-е изд. перераб. и доп., 1975. – 592 с.
4. *Павлов В.Ф.* Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1974. – 240 с.
5. *Канаев В.К.* Новая технология строительной керамики. – М.: Стройиздат, 1990. – 264 с.
6. *Боженев П.И.* Использование вакуума в технологии строительной керамики //П. И. Боженев, А. П. Васин, Н. А. Елистратов //Известия вузов. Строительство. – 2000. – №4. – С 56-61.