

**ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ КАК ЗАДАЧА
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСАХ****Черноиван А.В., Тимошук Н.А.**

В современных экономических условиях при планировании инвестиционных проектов возникает объективная необходимость технико-экономического обоснования строительства, которое дает оценку необходимости и экономической целесообразности проектирования и строительства зданий и сооружений. При этом разработка вариантов проектируемого объекта и их сравнение является одним из важнейших этапов формирования качественной проектной документации, требующим высокой квалификации исполнителей и творческого подхода к решению данной комплексной задачи [1].

Выделяют два принципиально различных подхода в теории экономической эффективности [2]:

– **затратный подход**, основанный на предположении что лучшим является тот вариант, в котором меньше затраты на всех стадиях жизненного цикла проекта;

– **доходный подход**, основанный на предположении, что предпочтительнее тот вариант, в котором больше доходы на всех стадиях жизненного цикла проекта.

При использовании любого из данных подходов с целью объективной оценки сравниваемых вариантов необходимо обеспечить условия их сопоставимости, основополагающими среди которых является **единство**:

- **назначения** – невозможно сравнивать конструкции, которые играют различную конструктивную роль, например, несущие и ограждающие элементы;

- **условий работы** – влияющие на работу конструкции полезные и неблагоприятные воздействия, условия внешней среды, эксплуатации и т.д. должны быть сопоставимы;

- **уровня цен** для показателей стоимости на конструкции и материалы, с применением единой сметно-нормативной базы, рассчитанной для условий одного и того же района строительства, а также на эксплуатационные расходы и все виды ресурсов с приведением их к единому моменту времени;

- **производственных условий возведения конструкций** – количество трудовых и материальных ресурсов, выделенное на строительные работы по вариантам, должно быть одинаковым.

Корректный расчет стоимостных показателей в сопоставимых ценах является залогом безошибочных интегральных расчетов в рамках вариантного проектирования. В настоящее время в строительном комплексе осуществлен переход на расчеты в текущих ценах с применением нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении (НРР). Однако на стадии проектирования, технико-экономического обоснования, особенно когда нет привязки к срокам и исполнителям, в расчетах эффективности целесообразно использовать базисные (сопоставимые) цены с детально проработанной общегосударственной нормативной базой, обеспечивающей сопоставимость расчетов.

Каждый из данных двух подходов имеет ряд преимуществ и недостатков. Преимуществом расчетов в базисных ценах является наличие достаточно полного нормативного обеспечения, неизменность сметных цен, что исключает искажение стоимостных показателей, однако при этом по некоторым материалам, которые не приведены в Сборниках сметных цен на материалы, изделия и конструкции (ССЦ) или закупаются за рубежом, необходимо производить пересчет из текущих цен в базисные. При использовании текущих цен следует учитывать, что не все исходные данные в настоящее время можно найти в нормативных источниках, поэтому их необходимо уточнять в проектных и научно-исследовательских организациях, специализирующихся на проектировании и исследовании строительных конструкций. Для материалов, по которым отсутствуют справочные данные о текущих ценах, при расчете сметы допустимо применение ССЦ с приведением к уровню текущих цен путем умножения базисных цен на индексы изменения стоимости по укрупненным группам материалов, публикуемые ежемесячно

но в Сборники индексов изменения стоимости, цен и тарифов в строительстве по регионам и в среднем по Республике Беларусь.

Учитывая сказанное выше, подход, который позволил бы избежать процедуры подробного расчета стоимостных показателей конструктивных решений рассматриваемых проектных вариантов, мог бы представлять интерес.

Базируясь на одном из условий сопоставимости сравниваемых вариантов, в частности на равенстве количества ресурсов, выделенных на строительные работы по вариантам, а значит и на ограниченность их использования более ресурсозатратным вариантом объемом потребности в ресурсах менее ресурсозатратным вариантом, попробуем сформулировать подход к вариантному проектированию как задачу планирования производства при ограниченных ресурсах.

В общем случае данная задача может быть сформулирована следующим образом: для сравнения m вариантов конструктивных решений x_1, x_2, \dots, x_m возводимого объекта необходимо использовать n типов показателей (ресурсов) a_1, a_2, \dots, a_n , выделяемых на строительство, объем которых составляет соответственно b_1, b_2, \dots, b_n натуральных единиц. При заданных величинах норм расхода (потребности) каждого типа показателя на реализацию каждого вариантного решения и получаемого эффекта c_{ij} от принятия решения, требуется определить оптимальный вариант для проектируемого объекта.

В последние годы большое внимание уделяется данному классу задач оптимизации, заключающихся в нахождении в заданной области точек наибольшего или наименьшего значения некоторой функции, зависящей от большого числа переменных, – так называемым задачам математического программирования. Среди универсальных методов решения задач линейного программирования, – самого изученного раздела математического программирования, – наиболее распространенным является симплексный метод (или симплекс-метод), разработанный американским ученым Дж. Данцигом [3]. Суть этого метода заключается в определении на первом этапе допустимого варианта, удовлетворяющего всем ограничениям, но необязательно оптимального (так называемого начального опорного решения), а затем достижения оптимальности последовательным улучшением исходного варианта за определенное число итераций.

Основу алгоритма симплекс-метода составляют:

1. Определение способа нахождения оптимального опорного решения.
2. Установление способа перехода от одного опорного решения к другому, на котором значение целевой функции будет ближе к оптимальному, т.е. нахождение способа улучшения опорного решения.
3. Задание критериев, которые позволяют своевременно прекратить перебор опорных решений на оптимальном решении или сделать заключение об отсутствии оптимального решения.

Данный метод является методом целенаправленного перебора опорных решений задачи линейного программирования. Он позволяет за конечное число шагов либо найти оптимальное решение, либо установить, что оптимальное решение отсутствует. Доказано, что если оптимальное решение существует, то оно обязательно будет найдено через конечное число шагов (за исключением т.н. вырожденной задачи, при которой возможно явление «зацикливания», т.е. многократного возврата к одному и тому же положению).

Математическая модель рассматриваемой задачи будет иметь вид:

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot \tilde{d}_1 + a_{12} \cdot \tilde{d}_2 + \dots + a_{1n} \cdot \tilde{d}_n &\leq b_1, \\ a_{21} \cdot \tilde{d}_1 + a_{22} \cdot \tilde{d}_2 + \dots + a_{2n} \cdot \tilde{d}_n &\leq b_2, \\ &\dots \\ a_{m1} \cdot \tilde{d}_1 + a_{m2} \cdot \tilde{d}_2 + \dots + a_{mn} \cdot \tilde{d}_n &\leq b_m, \\ Z = c_1 \cdot \tilde{d}_1 + c_2 \cdot \tilde{d}_2 + \dots + c_n \cdot \tilde{d}_n &\rightarrow \min/\max, \\ \tilde{d}_j &\geq 0, j = 1 \dots n, \end{aligned}$$

где Z – это значение определяемой целевой функции;

$x_1 \dots x_n$ – переменные, которые необходимо определить.

Поиск решения на основе симплекс-метода реализуется с помощью симплекс-таблиц (табл. 1).

Таблица 1 – Общий вид симплекс-таблицы

Базис	x_1	x_2	...	x_n	x_{n+1}	x_{n+2}	...	x_k	Решение
Z	$-c_1$	$-c_2$...	$-c_n$	0	0	0	0	θ
x_{n+1}	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	1	0	0	0	b_1
x_{n+2}	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	0	1	0	0	b_2
...
x_k	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	0	0	0	1	b_m

Анализ особенностей строительной отрасли, а также специфики технологических и организационных процессов, выполняемых при возведении новых или реконструкции существующих объектов, позволил в качестве учитываемых ограниченных показателей (ресурсов) a_1, a_2, \dots, a_n , а также получаемого эффекта c_j от принятия решения выделить следующие параметры:

- затраты труда рабочих (чел.-час., чел.-см., чел.-дн. и т.д.);
- затраты машинного времени (маш.-час., маш.-см., маш.-дн. и т.д.);
- удельную массу (кг/(кН·м²)), как отношение массы конструкции в рамках рассматриваемого вариантного решения к несущей способности конструкции и ее сечению, определяемую вы-

ражением [4]:

$$\dot{I}_o = \frac{I_\epsilon}{D_i \cdot S_0},$$

где M_k – масса конструкции, кг; P_n – несущая способность конструкции, кН; S_0 – площадь сечения, м².

- нормативный срок эксплуатации (в годах).

Реализуем задачу планирования при ограниченных ресурсах на примере проекта Дома правосудия в г. Бресте [5]. В данном проекте при возведении объекта используются два вида перекрытий: монолитные и сборные. Для построения математической модели задачи введем переменные: x_1 – параметры для монолитного перекрытия, x_2 – параметры для сборного перекрытия.

Выполненный расчет затрат труда, затрат машинного времени, удельной массы и нормативного срока эксплуатации по каждому варианту для плана расположения элементов перекрытия на отметке –0,300 м для монолитной плиты МП-3 и сборным плитам перекрытия площадью до 5 м² приведем в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Расчет параметров математической модели

№ п/п	Обоснование	Наименование работ	Ед. изм.	Затраты на 1 м ³ перекрытия		Удельная масса (кг/(кН·м ²))	Нормативный срок эксплуатации (лет)
				труда рабочих (чел.-час.)	машинного времени (маш.-час.)		
I вариант – устройство монолитной плиты МП-3							
1	Расчет согласно [5]	Монтаж опалубки	100 м ²	3,29	0,54	277,8	50 [6]
2		Демонтаж опалубки	100 м ²	2,02	0,09		
3		Бетонирование плиты объемом 14,5 м ³	100 м ³	3,09	2,25		
4		Армирование плиты	т	1,92	0,19		
5		Огрунтовка металлических поверхностей	100 м ²	0,06	0,06		
6		Окраска закладных деталей	100 м ²	0,09	0,04		
Итого:				10,47	3,14		
II вариант – устройство сборного перекрытия							
1	Е7-45-5	Установка панелей перекрытий с опиранием на две стороны площадью до 5 м ²	10 шт	5,24	1,02	200	30 [6]
2	Расчет согласно [7, 8]	Изготовление 1 м ³ напряженных пустотных плит объемом до 0,5 м ³		2,1	1,34		
Итого:				7,34	2,36		

Согласно полученным данным (табл. 2), система ограничений будет иметь вид:

$$10,47x_1 + 7,34x_2 \leq 33,98$$

$$3,14x_1 + 2,36x_2 \leq 5,61$$

$$277,8x_1 + 200x_2 \leq 172,4$$

$$50x_1 + 30x_2 \rightarrow \max$$

Решим прямую задачу линейного программирования с использованием симплекс-калькулятора. Тогда оптимальный план данной задачи, полученный с использованием симплекс-таблиц, можно записать как:

$$x_1 = 0,621, x_2 = 0,$$

$$F(x) = 50 \cdot 0,621 + 30 \cdot 0 = 31,03.$$

Таким образом, для рассматриваемого административного здания в качестве эффективного проектного решения следует принять монолитное перекрытие (I вариант).

Выводы:

1. Выполнен анализ основных методов экономического обоснования при выборе оптимального варианта конструктивного решения зданий и сооружений с выделением их основных достоинств и недостатков.

2. Базируясь на условии сопоставимости сравниваемых вариантов, осуществлена попытка реализации подхода к вариантному проектированию как к задаче планирования производства при ограниченных ресурсах.

3. С учетом особенностей строительной отрасли выделены такие параметры как затраты труда рабочих и машинного времени, удельная масса рассматриваемых конструкций и нормативный срок их эксплуатации в качестве учитываемых ограниченных показателей (ресурсов), а также получаемого эффекта от принятия решения.

4. На примере проекта Дома правосудия в г. Бресте реализована задача планирования при ограниченных ресурсах при вариантном проектировании с использованием двух видов перекрытий: монолитного и сборного.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Черноиван, А. В. Определение отпускной цены бетонных и железобетонных конструкций в вариантном проектировании / А. В. Черноиван, А. Н. Юшкевич // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 3(81) : Экономика. – С. 70–74.

2. Кочурко, А. Н. Экономическая оценка проектных конструктивных решений зданий и сооружений / А. Н. Кочурко, А. В. Черноиван // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров : сб. науч. ст. XIX Международного научно-методического семинара: в 5 ч. / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2014. – Ч. 2. – С. 73–84.

3. Смородинский, С. С. Оптимизация решений на основе методов и моделей математического программирования : учеб. пособие / С. С. Смородинский, Н. В. Батин. – Минск : БГУИР, 2003. – 136 с.

4. Крепи металлические податливые рамные : ГОСТ Р 50910-96 ; введ. РФ 01.01.97. – Москва : ин-т горного дела им. А.А. Скочинского, 1997. – 10 с.

5. Архитектурно-строительный проект Дома правосудия в г. Бресте по ул. Московской, 7, разработанный ОАО «Брестпроект». – 2015.

6. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений . ТКП 45.1.04-305-2016. – Введ. 30.12.16. – Минск : Минстройархитектуры, 2017. – 107 с.

7. Единые нормы времени на изготовление железобетонных и бетонных изделий и конструкций. Выпуск 1. Формовка изделий / «ЦОТЭнерго» . – М.: 1991. – 58 с.

8. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона (ОНТП-07-85) / Минстройматериалов СССР. – М.: 1986. – 64 с.

9. Сборники нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы №№ 6, 7, 13, 26. ННР 8.03.106-2012 – ННР 8.03.126-2012. Введ. 01.01.2012. – Минск : Минстройархитектуры, 2012.