

Wariantowe projektowanie konstrukcji i struktur budowlanych zgodnie z metodą SIMPLEX

OPTIONAL DESIGN OF CONSTRUCTIVE DECISIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES USING THE SIMPLEX-METHOD

ВАРИАНТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМПЛЕКС-МЕТОДА

Черноиван Анна Вячеславовна^{a)}

Тимошук Наталья Александровна^{a)}

^{a)} *Брестский Государственный Технический Университет*

Streszczenie: W artykule omówiono metody ekonomicznego uzasadnienia przy wyborze najlepszej opcji konstruktywnego rozwiązania budynku, a także jedno z podejść z wykorzystaniem metody simpleks, która pozwala nie uwzględniać wskaźników kosztowych konstruktywnych rozwiązań rozważanych opcji projektowych.

Abstract: The article discusses the methods of economic justification when choosing the best option for a constructive solution of a building, as well as one of the approaches using the simplex method, which allows not to take into account the cost indicators of constructive solutions of the considered design options.

Słowa kluczowe: Planowanie projektu inwestycyjnego, metoda simpleks

Keywords: Investment project planning, the simplex method

Введение

Современные экономические условия планирования и организации инвестиционно-строительной деятельности обуславливают объективную необходимость выполнения технико-экономического обоснования строительства, которое дает оценку целесообразности проектирования и возведения зданий и сооружений. Важнейшим фактором оценивания эффективности деятельности субъекта хозяйствования является получение им максимально возможной прибыли при наименьших затратах путем соблюдения режима экономии в расходовании таких экономических ресурсов, как, в частности, трудовые, материально-технические или инвестиционные (здания, сооружения, оборудование, материалы и др.), естественные (земля, недра, водные и лесные ресурсы), нематериальные (авторские права, патенты, торговые марки и др.), финансовые.

Наиболее эффективный вариант конструктивного решения здания или сооружения может быть получен только в результате сравнения нескольких проектных решений, требующего высокой квалификации исполнителей и творческого подхода к решению данной комплексной задачи [1]. В зависимости от цели, поставленной перед проектировщиками, путем вариантного проектирования можно добиться уменьшения потребления материальных и трудовых ресурсов как в процессе сооружения объекта, так и в период его дальнейшей эксплуатации; повышения безопасности, надежности и ритмичности эксплуатационной работы; снижения себестоимости строительства; создания дополнительных рабочих мест и диверсификации производства; улучшения социального обеспечения трудящихся; уменьшения вредного воздействия на окружающую среду. То есть создать систему эксплуатации объекта с учетом влияния факторов внешней и внутренней сред [3].

Обзор литературы

Анализ технических нормативно-правовых и научных литературных источников позволил выделить два принципиально различающихся подхода в теории экономической эффективности [3]:

- затратный подход, основанный на предположении что лучшим является тот вариант, в котором меньше затраты на всех стадиях жизненного цикла проекта, – основным обобщающим показателем данного подхода являются приведенные затраты Z ;
- доходный подход, основанный на предположении, что предпочтительнее тот вариант, в котором больше доходы на всех стадиях жизненного цикла проекта с таким основным обобщающим показателем как чистая текущая стоимость NPV.

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 в определенной степени гарантирует безошибочность интегральных расчетов в рамках вариантного проектирования.

В настоящее время в строительном комплексе Республики Беларусь осуществлен переход на расчеты в текущих ценах с применением нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении. 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 корректную соотносимость 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 или закупаются за рубежом, необходимо производить пересчет из текущих цен в базисные. При втором варианте – 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.

Применяемые методы исследования

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, сформулируем 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_j 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 симплекс-метод, разработанный американским ученым Дж. Данцигом [4]. Данный подход предполагает, что среди оптимальных планов задачи линейного программирования в канонической форме обязательно существует опорное решение ее системы ограничений. Если оптимальный план задачи единственен, то он совпадает с некоторым опорным решением, при этом вариантов опорных решений системы ограничений конечное число. Поэтому решение задачи в канонической форме можно искать простым перебором опорных решений и выбором среди них того, для которого значение целевой функции экстремально (максимально или минимально). Однако, во-первых, все опорные решения неизвестны и их требуется определить, а, во-вторых, в реальных задачах этих решений достаточно много, что делает прямой перебор труднореализуемым. Таким образом, симплекс-метод представляет собой некоторую процедуру целенаправленного перебора опорных решений задачи линейного программирования, позволяющую 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.

Основу алгоритма симплекс-метода составляют:

1. определение способа нахождения оптимального опорного решения задачи;
2. установление способа перехода от одного опорного решения к другому, при котором значение целевой функции будет приближаться к оптимальному, т.е. нахождение способа улучшения опорного решения;
3. задание критериев, позволяющих своевременно прекратить перебор опорных решений на оптимальном решении или сделать заключение об отсутствии оптимального решения.

Математическая модель рассматриваемой задачи имеет вид:

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

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	0
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 выражением [5]:

$$i = \frac{M_k}{D_n \cdot S_0},$$

где M_k – масса конструкции, кг;

D_n – несущая способность конструкции, кН;

S_0 – площадь сечения, м².

- нормативный срок эксплуатации (в годах).

Выполненные исследования и их анализ

Реализуем задачу планирования при ограниченных ресурсах на примере проекта Дома правосудия в г. Бресте (Республика Беларусь) [6]. 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 м^2 приведем в форме таблицы 2 [11].

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) при $x_1 \neq 0$; $x_2 = 0$.

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.

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	277,80	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 [9]	Установка панелей перекрытий с опиранием на две стороны площадью до 5 м ²	100 шт	5,24	1,02	200,00	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		

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 (Республика Беларусь) реализована задача планирования при ограниченных ресурсах при вариантном проектировании с использованием двух конструктивных решений видов перекрытий: монолитного и сборного.

Библиография

- [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] Bażyłka A., Wprowadzenie do zagadnienia problemów techniczno-prawnych eksploatacji obiektów budowlanych, Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych nr 1-2, 2019.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Архитектурно-строительный проект Дома правосудия в г. Бресте по ул. Московской, 7, разработанный ОАО «Брестпроект». – 2015.
- [7] Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений . ТКП 45.1.04-305-2016. – Введ. 30.12.16. – Минск : Минстройархитектуры, 2017. – 107 с.
- [8] Единые нормы времени на изготовление железобетонных и бетонных изделий и конструкций. Выпуск 1. Формовка изделий / «ЦОТэнерго» . – М.: 1991. – 58 с.
- [9] Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона (ОНТП-07-85) / Минстройматериалов СССР. – М.: 1986. – 64 с.

- [10] 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.
- [11] Черноиван, А. В. Вариантное проектирование зданий и сооружений как задача планирования при ограниченных ресурсах / А. В. Черноиван, Н. А. Тимошук // Актуальные проблемы исследования материалов, конструкций, технологий и организации строительства в трансграничном аспекте : сб. ст. II Междунар. конф. / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2017. – С. 218-221.