

Ильмар ЛЕПИК

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКА СТРОИТЕЛЬСТВА И СТРОИТЕЛЬНОГО ЛАГА КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ

Целью статьи является разработка методики оптимизации срока строительства и строительного лага капиталовложений (СЛКВ), под которым понимается время замораживания капиталовложений (КВ) в незавершенном строительстве. Как известно, эти два понятия тесно связаны между собой. При сокращении (увеличении) срока строительства сокращается (увеличивается) и СЛКВ; поэтому оптимизация срока строительства является основой для оптимизации СЛКВ. В статье рассматривается методика нахождения оптимальной длительности строительного периода, отклонение от которого в любую сторону приводит к дополнительным затратам при возведении нового промышленного объекта. Оптимизация СЛКВ рассматривается в качестве последующей операции оптимизации срока строительства.

1. Постановка проблемы

В большинстве трудов, посвященных сокращению длительности инвестиционного процесса, сокращение сроков строительства рассматривается односторонне — только в плане получения выгоды. Такое же положение наблюдается и при использовании лагов КВ в разнообразных моделях народного хозяйства. Так, например, в моделях межотраслевого баланса [1; 2, с. 23—27; 3, с. 87—94] лаг КВ выступает в роли ограничения, и самым благополучным считается случай, когда лаг равен нулю (т. е. лаг КВ не ограничен снизу). Это свидетельствует о распространенной трактовке лага КВ в качестве негативного явления — чем короче, тем лучше. Поскольку величина СЛКВ определяется теми же параметрами, что и срок строительства (распределение КВ в период строительства, размещение основных фондов и эффективность их использования в строительном производстве и т. п.), то в дальнейшем первоочередным объектом исследования будет срок строительства.

Обсуждение проблем продолжительности строительства обычно сводится к классификации и оценке многосторонних эффектов, получаемых благодаря уменьшению сроков строительства. Последние обычно сравниваются с нормативами продолжительности строительства. Отмечается: «Хотя строительные организации укладываются в них не всегда, эти нормы рассматриваются как верхняя граница допустимой продолжительности строительства, но не в качестве наименее выгодных сроков, отступление от которых нежелательно в любую сторону» [4, с. 212]. Таким образом, может показаться, что проблемы оптимизации вообще не существует, и целесообразной является только минимизация срока строительства и лага КВ.

Однако это не совсем так. Сокращение длительности инвестиционного процесса, к сожалению, связано с дополнительными затратами ряда лимитированных ресурсов, прежде всего КВ и оборотных средств, учитываемых в стоимостной форме [5, с. 146—147]. Сокращение срока строительства до нормативного уровня требует вложений в материально-

техническую базу строительства, которые связаны с большой концентрацией строительных механизмов, с потребностью в дополнительных постройках временного типа и т. д. [6, с. 16]. С другой стороны, сокращение сроков строительства дает следующие выгоды: уменьшение объема вложений, замороженных в незавершенном строительстве, досрочное получение добавочной продукции, избежание преждевременного морального старения фондов и т. д.

Таким образом, выявляются две противодействующие тенденции — удорожание строительно-монтажных работ, с одной стороны, и ускорение оборота КВ с повышением их эффективности, с другой. Приведенное явно свидетельствует об оптимизационном характере проблемы.

При оптимизации срока строительства возникает еще проблема противоречивости интересов строительной отрасли и остальных отраслей народного хозяйства. Можно предположить, что оптимальный с народнохозяйственной точки зрения срок строительства не является оптимальным для строительной отрасли. По этому поводу отмечалось: «Для сближения экономических интересов строительной организации с интересами народного хозяйства необходимо дальнейшее совершенствование экономического механизма строительной организации» [7, с. 189]. В связи с этим ссылаются на вероятностный характер строительного производства и всего процесса реализации проектов как на причину, затрудняющую оптимальное функционирование инвестиционной сферы.

2. Оптимизация срока строительства в общем случае

Все изменения сроков строительства будут рассмотрены здесь в форме изменения затрат на возведение конкретных объектов. Упомянутые в первом разделе экономические эффекты, связанные с сокращением объемов незавершенного строительства, здесь рассматриваются косвенным образом — фактор времени отражается с помощью народнохозяйственной нормы эффективности и минимизация затрат строительства эквивалентна максимизации упомянутых эффектов.

В данном разделе используется оптимизационная модель Богачева и Суспицына [4, с. 216—220] как первое приближение к проблеме оптимизации срока строительства. Приведем краткое изложение упомянутой модели, используя следующие обозначения: T — срок строительства, $S(t, T)$ — траектория осуществления текущих затрат строительства, r — норматив приведения разновременных затрат, β — фондооснащенность строительных работ, $f(\beta)$ — функция корригирования текущих затрат строительства при изменении фондооснащенности β , λ — параметр функции плотности распределения КВ в период строительства.

Дополнительно предполагаем, что сумма текущих затрат строительства Q определяется следующим образом:

$$Q = \int_{-T}^0 S(t, T) dt \quad (1)$$

при условии, что Q не зависит от времени T . Это означает, что планируемые затраты строительства Q не зависят от срока строительства. Строительный период расположен слева от нуля по оси времени, т. е. площадь Q расположена в третьей четверти системы координат.

Минимизация приведенных затрат строительства проводится минимизацией следующей целевой функции:

$$F(T, \beta) = \beta \max_t S(t, T) (e^{rT} - 1) + f(\beta) \int_{-T}^0 S(t, T) e^{-rt} dt \rightarrow \min, \\ T, \beta \geq 0 \quad (2)$$

при выпуклых $S(t, T)$ и $f(\beta)$. Первое слагаемое в (2) отражает капитальные затраты строительной организации. Под капитальными затратами следует понимать единовременные затраты, которые должны быть совершены в момент, предшествующий проведению соответствующей строительной работы [4, с. 216]. Фондооснащенность строительных работ β отражает отношение стоимости основных производственных фондов к объему строительной продукции, выражаемой в денежной форме. Следовательно, β характеризует технологический уровень строительной организации, а капитальные затраты в целом характеризуют мощность строительной базы. Используемое выражение $\max_t S(t, T)$ означает, что

предполагается полная обеспеченность строительными механизмами и т.п. в течение всего строительного периода. По конструкции модели, минимум приведенных затрат строительства находится не в $T=0$, а где-нибудь в $T>0$, поскольку при $T \rightarrow 0$ имеет место $\max_t S(t, T) \rightarrow \infty$ (см.

третий раздел данной статьи). Второе слагаемое в (2) — текущие затраты строительной организации. Поскольку β рассматривается как фактор снижения производственных расходов, $f(\beta)$ является функцией корригирования текущих затрат строительства. При этом предполагается выпуклость и монотонное убывание $f(\beta)$ при $\beta \in [\underline{\beta}, \bar{\beta}]$, где $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ — область определения β .

В процессе минимизации приведенных затрат строительства имеет важное значение и пропорциональность капитальных и текущих затрат. По определению ([4, с. 219]), $-f'(\beta)$ является нормативом предельного сокращения текущих затрат, оправдывающих затрату дополнительной единицы вложений. В таком случае $-f'(\beta) = E$ является нормативом эффективности КВ в строительном производстве. Приведенные затраты строительства являются минимальными при оптимальной норме замещения текущих затрат капитальными затратами. И поскольку эта норма зависит от β , то через β оптимизируется пропорциональность капитальных и текущих затрат, а значит, и величина приведенных затрат строительства в целом. В результате β играет роль удорожающего фактора при сокращении срока строительства.

Итак, в модели предполагается, что сокращение срока строительства является следствием повышения интенсивности проведения строительных работ, достигаемого благодаря повышению капитальных затрат строительства; следовательно, сокращение срока строительства и снижение текущих затрат происходят за счет возрастания капитальных затрат строительной организации.

Особенности при строительстве конкретного объекта (потребности в дефицитных ресурсах и т.д.) отражаются в планируемой стоимости объекта Q , а не в ограничениях в (2).

Для решения (2) необходимо специфицировать функции $f(\beta)$ и $S(t, T)$. Спецификация функции $f(\beta)$ — вопрос экономики строительства и здесь не подлежит анализу. Для определения $S(t, T)$ можно поступить следующим образом: учитывая, что траектория осуществления текущих строительных затрат совпадает с кривой распределения КВ в строительный период, можно предполагать, что $S(t, T) = Q\varphi(t, T)$ на

отрезке $[0, T]$. Здесь $\varphi(t, T) = \frac{S(t, T)}{Q}$ — функция плотности распределения КВ в строительный период. Учитывая, что

$$\int_{-T}^0 S(t, T) e^{-rt} dt = \int_0^T S(t, T) e^{rt} dt$$

(см. рис. 1), целевую функцию минимизации затрат строительства можно записать в виде

$$F(T, \beta) = \beta Q \max_t \varphi(t, T) (e^{rT} - 1) + f(\beta) Q \left[\int_0^T \varphi(t, T) e^{rt} dt + \Delta(T) \right] \rightarrow \min, \\ T, \beta \geq 0, \quad (3)$$

где $\Delta(T) = \int_T^\infty \varphi(t, T) e^{rt} dt$ — погрешность, возникающая из-за определяемости функции плотности $\varphi(t, T)$ в области $[0, \infty)$. Если $\varphi(t, T)$ убывает достаточно быстро, погрешность $\Delta(T)$ не оказывает значительного влияния на результат в процессе минимизации затрат строительства.

Погрешность $\Delta(T)$, возникающая из-за определяемости функции плотности $\varphi(t, T)$ в области $[0, \infty)$, изображена на рис. 1 в виде площади между асимптотически убывающей $\varphi(t, T)$ и временной осью от T до бесконечности (от $-T$ до $-\infty$).

И, наконец, величина погрешности $\Delta(T)$ зависит от норматива приведения разновременных затрат: чем ниже r , тем меньше $\Delta(T)$.

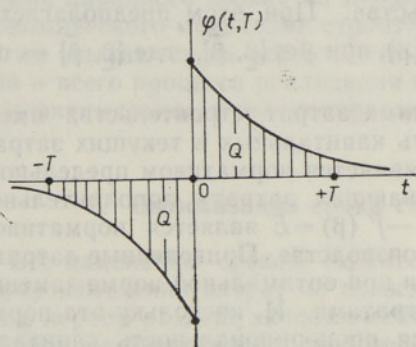


Рис. 1. Перенесение площади Q из третьей четверти в первую четверть системы координат.

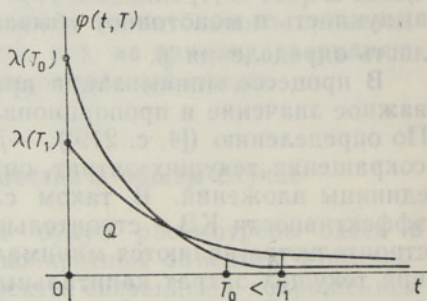


Рис. 2. Зависимость распределения капиталовложений от T .

Целевую функцию минимизации затрат строительства можно представить и в несколько иной форме, учитывая, что при заданной величине Q значения срока строительства T определяются параметрами функции плотности $\varphi(t, T)$ (см. рис. 2). Это значит, что оптимизацию T можно рассматривать как оптимизацию формы функции плотности распределения КВ. Другими словами, распределение КВ оптимизируется при определенной стоимости объекта. Последнее означает, что функцию минимизации приведенных затрат строительства $F(T, \beta) \rightarrow \min$ можно преобразовать и в $F(\varphi(t, T), \beta) \rightarrow \min$.

3. Минимизация затрат строительства при распределении капиталовложений по показательному распределению

В качестве распределения КВ можно использовать те же распределения, что и применяются в теории непрерывных распределенных лагов — распределение Эрланга, экспоненциальное распределение и т. п. Используемое в настоящей статье показательное распределение является частным случаем распределения Эрланга n -го порядка.

Итак, $\varphi(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ является функцией плотности показательного

распределения. При требовании, что параметр (λ) распределения зависит от срока строительства:

$$\varphi(t, T) = \lambda(T) e^{-\lambda(T)t}, \quad (4)$$

Исходя из

$$\int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 \quad \text{и} \quad \lambda = \frac{1}{\int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt}$$

определим функцию $\lambda(T)$ в виде

$$\lambda(T) = \frac{1}{\int_0^T e^{-\lambda t} dt} = \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda T}}. \quad (5)$$

При этом $\lambda(T) = \lambda$, если $T = \infty$, и $\lambda(T) \rightarrow \infty$, если $T \rightarrow 0$, где λ — начальное значение параметра распределения в процессе минимизации затрат строительства. Ясно, что при $T = \infty$ функции $\varphi(t, T)$ и $\varphi(t)$ совпадают. Что касается условий модели, то при

$$\int_0^T S(t, T) dt \cong Q \int_0^T \varphi(t, T) dt + Q \int_T^{\infty} \varphi(t, T) dt$$

выполняется требование инвариантности планируемой стоимости объекта от срока T . Экономический смысл $\lambda(T)$ заключается в следующем: чем короче срок строительства T , тем больше КВ осуществляется в последние годы строительства¹ (см. рис. 2).

При убывании срока строительства $\lambda(T)$ возрастает, причем изменяется только крутизна распределительной кривой, а величина площади Q на рис. 2 остается неизменной. Следовательно, при сокращении срока строительства большая масса КВ осваивается в конце строительства, и тем ближе к концу, чем меньше становится T .

Минимизируемая целевая функция принимает вид

$$F(T, \beta) = \beta \max_t Q \lambda(T) e^{-\lambda(T)t} (e^{rT} - 1) + f(\beta) Q \left[\int_0^T \lambda(T) e^{-\lambda(T)t} e^{rt} dt + \Delta(T) \right] \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$T, \beta \geq 0,$$

где

$$\Delta(T) = \int_T^{\infty} \lambda(T) e^{-\lambda(T)t} e^{rt} dt \quad (7)$$

и

$$\lambda(T) = \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda T}}.$$

После упрощений, учитывая, что

$$\int_0^{\infty} \lambda(T) e^{-\lambda(T)t} e^{rt} dt = \frac{\lambda(T)}{\lambda(T) - r} \quad (\text{при } r < \lambda(T)),$$

получаем

$$F(T, \beta)/Q = \lambda(T) \left[\beta (e^{rT} - 1) + \frac{f(\beta)}{\lambda(T) - r} \right] \rightarrow \min. \quad (8)$$

¹ Поскольку по конструкции модели период строительства рассматривается на отрицательной стороне временной оси, то на рис. 2 площадь Q и распределительные кривые КВ изображены в преобразованной форме, т. е. концом строительства является $t=0$, а началом строительства — $t=T_0$ и $t=T_1$ соответственно.

При минимуме $F(T, \beta) / Q$ значения T и β являются оптимальными при данном значении λ . Последнее обстоятельство указывает на то, что у оптимизационной задачи срока строительства нет однозначного решения — решениями являются комбинации $\{T, \varphi(t, T)\}$ при $\lambda \in [0, 1]$, где λ — параметр функции плотности распределения КВ. Здесь в принципе представляется возможность дополнительно минимизировать приведенные затраты строительства по параметрам $\varphi(t, T)$. При показательном распределении делать это нецелесообразно, поскольку имеет место прямая связь: $F(T, \beta)$ возрастает вместе с λ .

Учитывая, что после $F'_T(T, \beta) = 0$ и $F'_\beta(T, \beta) = 0$ получаемая система разрешима только методами итерации, целесообразно сразу минимизировать (8) итеративным путем.

Возможно смоделировать влияние погрешности $\Delta(T)$ на результаты и в форме процента ошибки приведенных затрат строительства $F(T, \beta)$ при оптимальных значениях T^*, β^* :

$$q(T) = \left| 1 - \frac{W(T^*, \beta^*)}{F(T^*, \beta^*)} \right| \times 100\%,$$

где при вычислении $W(T^*, \beta^*)$ не учитывается погрешность $\Delta(T)$, в остальном $W(T, \beta)$ совпадает с $F(T, \beta)$. Практическое моделирование здесь не представляется целесообразным из-за неопределенности функции $f(\beta)$.

Итак, можно утверждать, что в настоящей работе рассматривалась лишь общая схема модели оптимизации срока строительства. Практическое же моделирование осуществимо только после дополнительных исследований возможностей параметризации $\varphi(t, T)$ и определения функции $f(\beta)$.

4. Оптимальный лаг капиталовложений

СЛКВ, как известно, зависит от длительности строительного периода и от распределения КВ. В настоящей статье под строительным лагом подразумевается средний СЛКВ (среднее время замораживания КВ в незавершенном строительстве²). СЛКВ определяется как математическое ожидание от распределения КВ:

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \varphi(t) dt.$$

Математическое ожидание и дисперсия показательного распределения определяются как

$$E(t) = |\lambda|^{-1} \quad \text{и} \quad \sigma^2(t) = |\lambda^2|^{-1},$$

а при зависимости параметра распределения от срока строительства T они принимают вид

$$E(t) = |\lambda(T)|^{-1} \quad \text{и} \quad \sigma^2(t) = |\lambda(T)^2|^{-1}.$$

Учитывая, что $\lambda(T) = \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda T}}$, получаем выражение для оптимального СЛКВ

$$L^* = \frac{1 - e^{-\lambda T^*}}{\lambda}$$

² В теории распределенных лагов существует два различных понятия — средний лаг и максимальный распределенный лаг КВ. Последний по существу эквивалентен техническому сроку строительства.

с дисперсией распределения

$$\sigma^2(t) = \left(\frac{1 - e^{-\lambda T^*}}{\lambda} \right)^2,$$

где T^* означает оптимальный срок строительства объекта. Итак, при использовании показательного распределения в качестве распределения КВ после оптимизации срока строительства оптимальный СЛКВ определяется как

$$L^* = \frac{1 - e^{-\lambda T^*}}{\lambda}. \quad (9)$$

Через λ проводится варьирование распределения КВ. Выражение (9) (без использования оптимальных значений L и T) можно рассматривать в качестве общего уравнения, связывающего между собой срок строительства, СЛКВ и параметр распределения λ при показательном распределении. Так, например, можно вычислить значения СЛКВ при фиксированном сроке строительства (см. таблицу).

Значения строительного лага капиталовложений при $T=3$

0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
2,59	2,26	1,98	1,75	1,56	1,39	1,25	1,14	1,04

Как видно, при возрастании λ уменьшается L . В экономической интерпретации — СЛКВ убывает при большей весомости последних лет строительства исходя из аспекта освоения КВ. Последние результаты соответствуют практике применения лагов в экономических расчетах. Итак, по (9) видно, что оптимальный СЛКВ определяется совместной оптимизацией срока строительства и распределения КВ в строительном периоде.

Выводы

1. Оптимизация СЛКВ на микроуровне экономики возможна при известном оптимальном сроке строительства народнохозяйственного объекта; следовательно, оптимизация СЛКВ проводится только через оптимизацию срока строительства.
2. Оптимальное значение СЛКВ определяется следующими параметрами — сроком строительства, распределением КВ в строительный период, мощностью строительной базы и эффективностью использования основных фондов строительной организации, нормативом приведения разновременных затрат; в статье в основном рассматривалось моделирование срока строительства и распределения КВ как главных факторов, определяющих СЛКВ.
3. Разработана модель оптимизации срока строительства для общего случая, т. е. при произвольном распределении КВ в строительный период. Приведена спецификация распределения КВ в виде статистического распределения, тип которого можно варьировать при необходимости.
4. Приведен пример моделирования оптимального срока строительства и СЛКВ при использовании показательного распределения в качестве распределения КВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А. О. Методы подготовки исходной информации для динамической модели межотраслевого баланса с учетом лага капиталовложений. — В кн.: Воспроизводственный анализ общественного продукта и фондов. Новосибирск, 1985, 20—36.
2. Баранов А. О. Отображение лага капиталовложений в динамической модели межотраслевого баланса. — В кн.: Межотраслевой анализ воспроизводства. Новосибирск, 1984, 22—38.
3. Озеров В. К., Павлов В. Н., Баранов А. О. Динамическая межотраслевая модель с учетом длительности периода воспроизводства основных фондов. — Экономика и математические методы, 1987, № 1, 87—94.
4. Богачев В. Н., Суспицын С. А. Оптимизация сроков строительства. — В кн.: Фактор времени в плановой экономике. М., 1978, 212—224.
5. Лойтер М. Н. Формы проявления и учета фактора времени. — В кн.: Фактор времени в плановой экономике. М., 1978, 139—154.
6. Talts, V. Ajategur ja kulutuste majanduslik efektiivsus. Tallinn, 1972.
7. Сутт Ю. Имитационное моделирование экономического механизма строительной организации. Таллин, 1985.

Представил Ю. Эннусте

Институт экономики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
30/VI 1988

Ilmar LEPIK

EHITUSKESTUSE JA KAPITAALMAHUTUSTE VIITAJA OPTIMEERIMINE

On käsitletud ehituskestuse ning ehitusviitaja optimeerimist. Optimaalse ehituskestuse all on mõistetud tähtaega, millest kõrvalekaldumine mõlemas suunas suurendab kulutusi vastava rahvamajandusobjekti loomiseks. Kuivõrd ehitusviitae on määratud ehituskestusega ning kapitaalvahutuste jaotusega ehitusperioodi vältel, on optimaalne ehitusviitae leitav optimaalse ehituskestuse alusel. Kapitaalvahutuste jaotuse modelleerimisel on kasutatud statistilisi jaotusi. On esitatud ehituskestuse optimeerimise mudel, kasutades eksponentjaotust kapitaalvahutuste jaotuse modelleerimisel.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud
30. VI 1988

Ilmar LEPIK

OPTIMIZATION OF THE BUILDING DURATION AND THE TIME LAGS OF CAPITAL INVESTMENTS

In the article the optimization of the building duration and the time lags of the capital investments have been dealt with. Under an optimal building duration a fixed date is meant the deviation from which in both directions increases expenditures creating economic objects. As the building lag is determined by the building duration and the distribution of capital investments during the building period, an optimal building lag is found on the basis of optimal building duration. On modelling the distribution of capital investments statistical distributions have been used. In the article a model of optimization of building duration has been presented using exponential distribution in modelling the distribution of capital investments.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Economics*

Received
June 30, 1988