



Методика расчета строительной стоимости



Виталий БУЧКИН
Vitaly A. BUCHKIN

Леонид ДЮКАРЕВ
Leonid A. DUKAREV



*Бучкин Виталий Алексеевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).
Дюкарев Леонид Александрович — аспирант МИИТ.*

В статье приведены основные методы формирования сметной стоимости на стадии инвестиционного планирования. Проанализированы факторы и причины существенного различия стоимости строительства железных дорог. Доказана необходимость учета разнородности инженерных сооружений, разработаны показатели стоимости на основе статистического анализа. Представлена структура методики расчета по видам работ.

Ключевые слова: железная дорога, процесс проектирования, инвестиционное планирование, строительная стоимость, математическая статистика, проектные решения.

Стоимость строительства объекта формируется поэтапно, на различных стадиях инвестиционного процесса и должна учитывать как интересы заказчика, так и подрядчика.

На предпроектной стадии (инвестиционное планирование) осуществляется предварительная оценка стоимости, учитывающая финансовые возможности инвестора (заказчика), и тем самым определяется потребность в источниках финансирования строительства объекта. Учитывая недостаточность исходных данных для подготовки проектно-сметной документации, на этом этапе предпочтительными являются:

- аналого-параметрический метод, который заключается в подборе объектов, аналогичных оцениваемому по основным техническим показателям;
- индексный метод (по трендам изменения цен);
- метод укрупненных ценовых показателей.

В настоящее время расчет строительной стоимости для планирования инвестиций (капитальных вложений) производится с применением объектов-аналогов или укрупненных нормативов цены строитель-



Рис. 1. Погрешности при определении стоимости строительства.

ства (УНЦС). Однако следует иметь в виду, что существующие нормативы не учитывают, к примеру, затраты на строительство водопропускных труб, полный комплекс работ по устройству мостов, тоннелей, подготовку территории строительства и т.д., не дают возможности с требуемой точностью ($\pm 10\%$ типичны для этапа обоснования инвестиций) определить капитальные вложения в создание железной дороги.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СМЕТНУЮ СТОИМОСТЬ

Отсутствие стимула для повышения точности расчета стоимости при реализации инвестиционных проектов приводит к существенному росту издержек, недостоверному определению технико-экономических показателей, экономическим потерям как со стороны заказчика, так и подрядчика.

Использование произвольных объектов-аналогов при формировании строительной стоимости на стадии инвестиционного планирования, незаинтересованность в применении эффективных проектных решений, несовершенство системы ценообразования и отсутствие полноценных укрупненных показателей цены строительства способствуют очевидным расчетным погрешностям (рис. 1).

В данный момент разброс цен на строительство одного километра железных дорог составляет от 9 до 500 млн руб. [1],

что создает определенные трудности при использовании объектов-аналогов. Наиболее типичные причины существенного различия строительной стоимости:

1. *Территориальные* — обусловлены сложными геологическими (физико-геологическими), географическими (пересеченная местность) и климатическими (вечная мерзлота, погребенные льды, термокарсты) условиями строительства. Кроме того, здесь значительное влияние оказывает близость крупных городов, приводящая к увеличению затрат на аренду или выкуп территорий для полосы отвода.

2. *Транспортные* — характеризуются отдаленностью объекта строительства от сырьевых баз, увеличением расходов на доставку материалов и конструкций, вынужденными задержками и дорогостоящими простоями из-за непредвиденных дорожных обстоятельств.

3. *Технические* — проект новой железной дороги представляет собой сложную систему, состоящую из разного рода сооружений, и при наличии неординарных конструкций мостов, тоннелей, большого количества водопропускных объектов может возникнуть существенное удорожание 1 км проектируемой линии.

4. *Фактор времени* — отклонение продолжительности строительства от нормативного срока оказывает немалое влияние на стоимость.

Все указанные причины должны учитываться при определении капитальных





вложений на предпроектной стадии. Важно найти более совершенные методики расчета строительной стоимости для планирования инвестиций.

«ЭТАЛОННЫЕ» ПОКАЗАТЕЛИ

Как уже отмечалось, использование существующих методов расчета строительной стоимости на предпроектной стадии не дает достаточно точного результата.

При экспертизе сметной стоимости установлено отклонение от планируемых инвестиций на 30–40% как в одну, так и другую сторону. Но в то же время, если заранее не определять требуемые капиталовложения, а сразу переходить к непосредственному проектированию, то инвестор (заказчик) будет необоснованно переплачивать в большинстве случаев за неэффективные, экономически несостоятельные решения. В худшем случае это приведет к долгострою из-за отсутствия адекватного финансирования.

С учетом сопутствующих проектированию негативных факторов возникает задача добиться появления такого метода расчета строительной стоимости, который позволил бы выпускать на первом этапе ТЭО и проекты с погрешностями порядка 10–20%, а в последующем, по мере совершенствования, в еще меньших размерах.

При решении столь неоднозначной задачи стоит рассмотреть еще раз имеющийся отечественный и зарубежный опыт.

К примеру, В.Я. Ткаченко, В.К. Цернант, В.А. Егоров и др. [2,3,4] применительно к различным видам строительства (транспортное, промышленное, гражданское и т.д.) связывали вопрос моделирования сметной стоимости с использованием статистического ряда наблюдений. А их коллега А.Д. Ларионов [5] в качестве основы для контроля расчетной и сметной стоимости берет разработанный в ЦНИПИАСС Госстроя СССР эвристический метод оценки показателей при экспертизе проектов.

За рубежом специалистами компании «Бехтел» (США) для определения уровня достоверности сметной стоимости строительства разработана методика анализа риска. Она предусматривает составление модели оценочной сметы, которая позволяет своевременно принять меры, предупреждающие увеличение строительной

стоимости до выпуска проектно-сметной документации.

Суммируя известные подходы, представляется целесообразным создать «эталонные» показатели стоимости строительства по видам работ для проектируемой железной дороги на базе методов математической статистики и теории вероятности.

Определены вариационные ряды строительной стоимости путем анализа 25 проектов строящихся и построенных линий. Далее с помощью методов математической статистики используется поэтапная система расчетов.

На первом этапе исследования определяется несколько показателей.

1. *Центр распределения, выборочное среднее* ($\bar{x}_{ц.р.}$, $\bar{x}$).

Центром распределения вариационного ряда или выборочным средним значением могут служить: среднее арифметическое, медиана, мода, срединный размах, центр размаха.

Выборочное среднее арифметическое всех значений рассчитывается по формуле [6,7]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{x}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i \quad (1, 2)$$

где $m_i = \frac{n_i}{n}$ — частотность при сгруппированных данных.

2. *Выборочная дисперсия* (S^2) и *выборочное среднее квадратическое отклонение* (S).

Выборочная дисперсия S^2 вариационного ряда для решения практической задачи принимается по формуле [6,7]:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$
$$S_s^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_s)^2 \cdot m_i. \quad (3, 4)$$

3. *Оценка однородности ряда на основе методов, связанных с обнаружением аномальных, не согласующихся с остальными элементов выборки данных.*

Показатели полученных вариационных рядов иногда существенно отличаются от среднего значения; на данном этапе проверяется, являются ли такие

отклонения случайными, либо их появление обусловлено наличием систематической ошибки.

Для проверки значимости подозрительных результатов использованы специальные статистические критерии и методы:

Графический метод — быстрый способ визуальной проверки, представляет собой эффективный инструмент для исследования однородности группы наблюдений с точки зрения соответствия нормальному распределению.

Критерий Шовене — находится по формуле:

$$K = \frac{|x_i - \bar{x}|}{S}. \quad (5)$$

Полученное значение сравнивается с критическим показателем критерия, приведенным в таблицах [8].

Критерий Ирвина — его статистика имеет вид:

$$\tau_1 = \frac{x_n - x_{n-1}}{S}, \quad \tau_2 = \frac{x_2 - x_1}{S}. \quad (6, 7)$$

Формулы соответственно для проверки наибольшего и наименьшего значения выборки x_n . Полученные значения сравниваются с критическими показателями [8].

Критерий Смирнова — для его реализации определены действительные значения наблюдаемого ряда по формулам [5, 9]:

$$v_1 = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S}, \quad v_2 = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S}. \quad (8, 9)$$

Найденные значения сопоставляются с критерием v_α , приведенным в таблице [9].

Критерий Роснера — является одним из методов выявления не только выбросов, но и их количества. Основан на статистике Груббса [8]:

$$\tau = \max\left(\frac{\bar{x} - x_1}{S}; \frac{x_n - \bar{x}}{S}\right). \quad (10)$$

Следует подчеркнуть, что выбросы в исследуемых показателях строительной стоимости являют собой не ошибки расчетов, а категорию сложности строительства и только в редких случаях могут отражать погрешности определения сметной стоимости (завышение или занижение).

Вторым этапом исследования стал одномерный анализ полученных вариаци-

онных рядов, дающий возможность выполнить проверку нормальности распределения.

Для использования методов и критериев проверки гипотез о нормальности распределения вариационный ряд разбивается на интервалы, длина которых определяется по формуле Стерджеса [6, 7]:

$$h = \frac{R}{1 + 3,322 \cdot \log n}, \quad (11)$$

где R — размах вариационного ряда, $R = x_{\max} - x_{\min}$.

Выборочное среднее и выборочная дисперсия принимаются по формулам, приведенным выше (1–4).

Определяются начальные v_k и центральные μ_k моменты распределения [7, 9]:

$$v_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^l x_j^k \cdot m_j, \quad \mu_k = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^l (x_j - \bar{x})^k \cdot m_j. \quad (12, 13)$$

где l — число интервалов сгруппированного вариационного ряда, x_j — середины интервалов, m_j — соответствующие им частоты.

Связь между центральными и начальными моментами записывается с помощью бинома Ньютона. Таким образом, указанные показатели вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} \mu_2 &= v_2 - v_1^2; \\ \mu_3 &= v_3 - 3 \cdot v_2 \cdot v_1 + 2 \cdot v_1^3; \\ \mu_4 &= v_4 - 4 \cdot v_3 \cdot v_1 + 6 \cdot v_2 \cdot v_1^2 - 3 \cdot v_1^4. \end{aligned} \quad (14)$$

Среди моментов высших порядков особое значение имеют центральные моменты 3-го и 4-го порядков.

μ_3 — является числовой характеристикой симметрии распределения и необходим для определения коэффициента асимметрии [6, 7, 9]:

$$A_c = \frac{\mu_3}{S^3}. \quad (15)$$

μ_4 — характеризует выраженность вершины распределения в окрестности среднего значения, при этом величина

$$E_k = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 \quad (16)$$



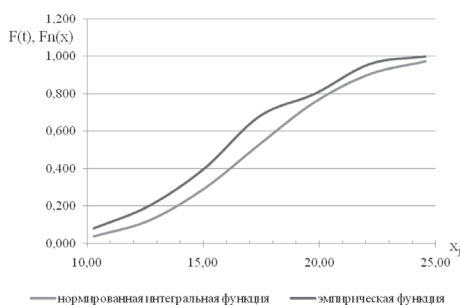


Рис. 2. Кривые интегральной функции распределения.

называется коэффициентом эксцесса — показатель, служащий мерой крутости графика вариационного ряда в сравнении с кривой нормального распределения.

На третьем важнейшем этапе после одномерного анализа показателей строительной стоимости проводится статистическая проверка гипотез о нормальности распределения.

Предварительно следует отметить, что нормальность распределения полученных данных служит предпосылкой корректного применения большинства методов математической статистики. И с этой точки зрения проверка на нормальность является обязательной процедурой.

Особого внимания заслуживает отечественный стандарт ГОСТ Р ИСО 5479-2002 [10], аутентичный тексту международного стандарта ISO 5479-97. Стандарт учитывает графический метод проверки на нормальность распределения, критерии проверки на симметричность и на значение эксцесса, критерии Шапиро-Уилка, основанные на регрессионном анализе порядковых статистик.

Графический метод (визуальный анализ нормальности) представляет собой вероятностный график, то есть кумулятивную функцию распределения показателей строительной стоимости исследуемой величины. Между тем, в практических целях визуальный метод видоизменен и превращен в график эмпирической $F(x)$ и теоретической $F(t)$ функции интегрального вида, что позволяет судить и о нормальности распределения экспериментальных данных.

Для построения теоретической функции $F(t)$ определяется значение нормированного аргумента t_j по формуле

$$t_j = \frac{(x_j - \bar{x})}{S_\sigma} \quad (17)$$

А затем с помощью статистической таблицы [9] принимается значение функции нормального распределения.

Реализация графического метода представлена на рис. 2 (в качестве показателя принята строительная стоимость земляных работ).

Направленные критерии предназначены для проверки на симметричность наблюдаемого закона распределения (асимметрия совокупности) и на эксцесс (кривизна совокупности).

Асимметрия совокупности определяется по формуле

$$\sqrt{\beta_1} = \frac{\mu_3}{S^3} \quad (18)$$

Кривизна совокупности принимается по формуле

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{S^4} \quad (19)$$

Здесь же следует отметить, что принятие гипотезы о симметричности является необходимым, но не всегда достаточным условием.

Критерий Шапиро-Уилка основан на отношении оптимальной линейной несмещенной оценки дисперсии к ее обычной оценке методом максимального правдоподобия.

Статистика критерия определяется по формуле [10]:

$$W = \frac{1}{nm^2} \left[\sum a_k (x_{n+1-k} - x_k) \right]^2, \quad (20)$$

где $nm^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$;

k — индекс, имеющий значения от 1 до $n/2$ или от 1 до $(n-1)/2$ при четном и нечетном n соответственно;

a_k — коэффициент, имеющий специальное значение для выборки n (значения приведены в таблицах [10]).

Резюмируя полученные результаты при реализации приведенного поэтапного расчета, можно утверждать, что вариационные ряды показателей строительной стоимости анализируемых проектов железных дорог принадлежат

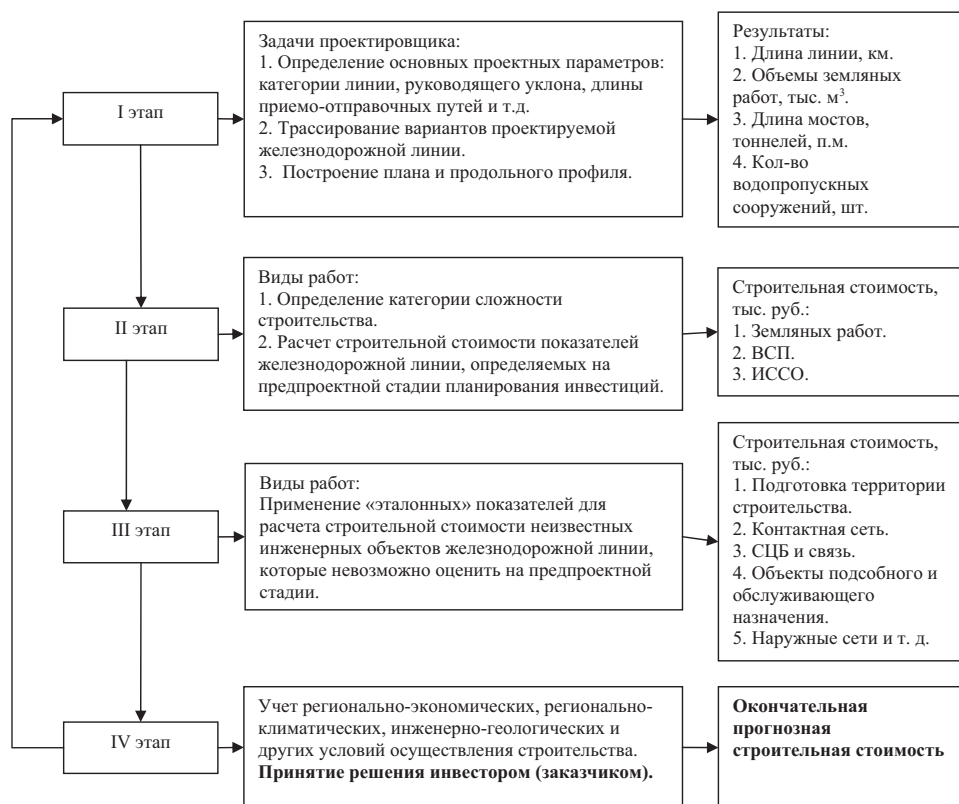


Рис. 3. Структура методики расчета строительной стоимости по видам работ.

нормальному распределению с функцией плотности:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{S}\right)^2}. \quad (21)$$

Для получения ограничений (критических максимальных и минимальных значений) при использовании «эталонных» показателей строительной стоимости производится расчет доверительных интервалов. С этой целью определяется величина ε , исходя из условия:

$$P\left\{\bar{x} - t_{q,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} < v < \bar{x} + t_{q,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}\right\} = p, \quad (22)$$

$$\varepsilon = t_{q,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (23)$$

где $t_{q,n-1}$ — табличная величина распределения Стьюдента с $n-1$ степенями свободы. Пользуясь таблицей квантилей распределения Стьюдента [7,9], можно найти значение $t_{q,n-1}$.

Доверительный интервал будет находиться в пределах

$$\left(\bar{x} - t_{q,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}; \bar{x} + t_{q,n-1} \frac{S}{\sqrt{n}}\right). \quad (24)$$

Кроме этого, определяется область допустимых значений ($\bar{x} \pm 2\sigma$), что соответствует области статистического допуска для 95,4% всех наблюдений и является достаточным для практических целей.

СТРУКТУРА МЕТОДИКИ

Проведенный анализ строительной стоимости построенных, строящихся и проектируемых объектов железнодорожной инфраструктуры позволил разработать методику расчета строительной стоимости по видам работ, основанную на совместном использовании УНЦС и объектов-аналогов с последующей программной реализацией.

Накопление базы данных о построенных и введенных в действие объектах дает возможность приблизить «эталонные» показатели строительной стоимости неизвестных конструкций проектируемой железнодорожной линии (площадь подготов-





ки территории строительства, параметры контактной сети, тип СЦБ и связи, здания и сооружения производственного назначения и т. д.) к набору показателей, которые можно реально оценить на предпроектной стадии (длина проектируемой железнодорожной линии, объем земляных работ, протяженность мостов и тоннелей, количество водопропускных сооружений и т. п.).

Методика расчета строительной стоимости по видам работ базируется на использовании статистических данных, в состав которых могут входить директивные, нормативные, прогрессивные и экспертные показатели, а также показатели отечественных проектов.

Структура предложенной методики представлена на рис. 3.

Стоит заметить, что стоимость строительства, полученная предложенным методом, отражает затраты, производимые в нормальных (стандартных) условиях, неосложненных внешними факторами. Расчет окончательной прогнозной стоимости (требуемых капиталовложений) планируемого к строительству объекта предлагается осуществлять с применением коэффициентов, учитывающих регионально-экономические, регионально-климатические, инженерно-геологические и другие особенности инвестируемого проекта.

ВЫВОДЫ

Представленная методика охватывает не только область расчета строительной стоимости, но также и сам процесс проектирования.

Цель предложенного варианта — полностью отказаться при расчетах от недовер-

ных в настоящее время объектов-аналогов путем расширения оценочной базы за счет новых проектных данных и тем самым совершенствуя полученные «эталонные» показатели строительной стоимости.

Структура предложенной методики позволяет контролировать процесс проектирования и в случаях, когда инвестора (заказчика) не устраивает полученный результат и он предпочитает вернуться к поэтапной корректировке проектных решений, связанных с определением строительной стоимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карела П. «Мы не на луне строим...»//РЖД-партнер. — 2010. — № 5.
2. Ткаченко В. Я., Перцев В. П., Варнавский В. Г., Прокофьева Т. А. и др. Оценка эффективности инвестиций в проекты транспортного строительства. — Новосибирск: Наука, 2004.
3. Егоров В. А. Комплексная система обеспечения качества проектирования. — Л.: Стройиздат, 1989.
4. Егоров В. А., Тимошук В. С. Вопросы методологии и организации САПР отраслевого института//Сб. науч. трудов ЦНИПИАСС. Вып. 24. — М., 1979.
5. Ларионов А. Д. Исследование и совершенствование методов контроля качества технико-экономических обоснований и проектов новых железных дорог/Дис... канд. техн. наук. — М.: МИИТ, 1978.
6. Мхитарян В. С., Трошин Л. И., Астафьева Е. В., МIRONкина Ю. Н. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие. — М.: Маркет ДС, 2010.
7. Письменный Д. Т. Конспект лекций по теории вероятностей, математической статистики и случайным процессам. — 3-е изд. — М.: Айрис-пресс, 2008.
8. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. — М.: Физматлит, 2006.
9. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. — М.: Наука, 1969.
10. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения. — М.: Изд-во стандартов, 2002. ●

METHODS TO CALCULATE CONSTRUCTION COSTS

Buchkin, Vitaly A. — D.Sc. (Tech), professor of the department of survey and engineering of railways of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Dukarev, Leonid A. — Ph. D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The authors describe the principal methods to calculate the estimate at the stage of investment planning and study factors and reasons of substantial difference in costs of construction of different railways. They made an attempt to prove the necessity to consider different nature of engineering installations, to elaborate the cost rates on the basis of statistical analysis. They also put forward a structure of methods to be used to calculate divers kinds of works and operations.

Key words: railway, engineering process, investment planning, construction cost, mathematical statistics, project decisions.

Координаты авторов (contact information): Бучкин В. А. — buchkin@mail.ru, Дюкарев Л. А. — DjukarevLA@yandex.ru.