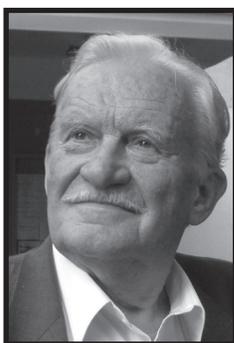




# Модернизация дорог: технико-экономический аспект



Игорь ТУРБИН

Igor V. TURBIN

**Современные подходы к анализу решений при проектировании новых и модернизации существующих железных дорог. В качестве критерия оценки принята величина чистого дисконтированного дохода (ЧДД, NPV), что позволяет с большей достоверностью учесть все основные особенности рассматриваемого объекта: грузопоток, изменяющийся во времени, размеры и сроки реализации капиталовложений, притоки и оттоки средств в течение расчетного периода. Приведена методика формирования оптимальной схемы развития технического оснащения дороги.**

**Ключевые слова:** железная дорога, экономика, строительство, модернизация, чистый дисконтированный доход, оптимальная схема развития, оценка проектного решения.

*Турбин Игорь Всеволодович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).*

Это последняя статья Игоря Всеволодовича Турбина (1923–2012) – 4 сентября с. г. его не стало.

Светлая память об ученом, педагоге, более 50 лет отдавшем преподаванию, солдате Великой Отечественной войны навсегда сохранится в сердцах его родных, учеников и коллег.

**С**тратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года [1] предусматривает кардинальную реформу, включая как коренную модернизацию основных устройств железных дорог, так и масштабное расширение сети общего пользования более чем на 20 тысяч километров (с учетом и высокоскоростных линий).

Потребность в этом назрела давно: по данным ОАО «РЖД» износ подвижного состава в России достиг критических 70%, устаревшие локомотивы составляют 84%, а технический уровень транспорта в целом сильно отстал от передовых стран мира. В меньшей степени это характерно и для постоянных устройств железных дорог, в особенности мостов старой постройки, не рассчитанных на современные скорости и осевые нагрузки подвижного состава.

Все еще велик удельный вес однопутных железных дорог, их производительность ограничивает темпы экономического развития регионов, потребности которых они обслуживают. «Стратегия–2030» предусматривает сооружение вторых путей на протяжении 2407,9 км к 2015 году и 3055,6 км – к 2030 году. А на особо грузонапряженных и пригородных участках – третьи и четвертые пути общей протяженностью 348,5 км.

Строительство второго (третьего, четвертого) пути относится к категории сложных инженерных и технологических задач, поскольку производится без перерыва движения по однопутной дороге. Поэтому необходима подробная экономическая проработка проекта сооружения дополнительных главных путей, нужен анализ целесообразности поэтапного возведения второго пути на перегонах однопутной железной дороги, ограничивающих ее пропускную способность.

#### I.

Протяженность железных дорог общего пользования явно не соответствует обширной территории Российской Федерации, более того, существующая сеть распределена крайне неравномерно.

В «Стратегии–2030» намечены перспективы и география развития сети железных дорог, при этом сделан акцент на регионы Восточной и Северо-Восточной Сибири и Дальнего Востока. Предложенная принципиальная конфигурация размещения новых дорог подтверждается рядом исследований и при дальнейшем детальном изучении может быть в известной степени усовершенствована и приближена к оптимуму.

Важно, используя основные положения стратегии, выработать концептуальные подходы к реализации столь обширной программы, определить экономическую эффективность и очередность строительства железных дорог, входящих в полигон, и при необходимости для каждой из них сформировать технические требования, учитывающие перспективные размеры грузопотока и специфику региона проектирования.

Скорости движения поездов, особенно пассажирских, должны быть существенно

повышены, иначе конкурентоспособность железных дорог по сравнению с другими видами транспорта окажется недостаточной, чтобы добиться преимуществ на рынке перевозок.

Названные и любые иные стратегические факторы оцениваются сегодня на основе существующих реалий с учетом достижений транспортной и экономической науки.

Так, масштабная программа введения электрической тяги (3918 км к 2015 году и 3580 км к 2030 году) может оказаться заметно эффективней с применением разработанной в МИИТ системы электрооборудования переменного тока с напряжением в контактной сети 66,5+27,5=94 кВ, которая дешевле системы однофазного тока 27,5 кВ, прежде всего за счет большего расстояния между головными тяговыми подстанциями, и отличается меньшей потерей мощности [2].

Разработаны новые конструкции электропоездов, в том числе грузовой постоянно-го тока «Гранит» мощностью 8,8 кВт, проведенный грузовой поезд массой 9000 т через Уральский хребет на перевальных участках с крутыми уклонами.

Испытан грузовой газотурбовоз ГТ-1–001 с электрической передачей мощностью 8,3 кВт, работающий на более дешевом по сравнению с дизельным топливе (сжиженный газ) и обеспечивающий лучшие экологические характеристики, чем типовой тепловоз. Мощность газотурбовоза позволяет водить грузовые поезда большой массы, что в известной степени помогает уменьшить стоимость строительства новых железных дорог, в первую очередь грузобразующих, за счет сокращения их длины, возможного при использовании более крутых руководящих уклонов. При этом применение мощных газотурбовозов во многих случаях повышает вероятность избежать перелома массы грузового поезда на станциях примыкания проектируемой линии к действующей сети железных дорог.

На железнодорожных линиях отмечается, как правило, достаточно большое число так называемых «узких мест», которые, отличаясь низкой пропускной и провозной способностью, уменьшают эффективность функционирования действующей сети в целом и являются в то же время





источником существенных экономических потерь.

К таким «узким местам» могут относиться как чаще всего однопутные железные дороги старой постройки, рассчитанные на относительно невысокую производительность, так и отдельные участки (перегоны) железнодорожных трасс.

Ликвидация подобных ограничений пропускной и провозной способности может быть проведена за счет совершенствования систем СЦБ, снятия ограничений скорости в кривых малого радиуса и на искусственных сооружениях, строительства второго или третьего главного пути на проблемных участках и других модернизационных и реконструктивных мер, требующих детальной проектной проработки.

В «Стратегии–2030» впервые введена классификация новых железных дорог по их назначению: они представлены как стратегические (развитие транспортной доступности), социально значимые (развитие устойчивого сообщения), грузообразующие (создание новых грузопотоков), технологические (разгрузка участков магистралей) и высокоскоростные (скоростное пассажирское сообщение).

Очевидно, что принципы и методы проектирования столь разнообразных по назначению железных дорог должны удовлетворять функциональным особенностям каждой из категорий новых линий.

Поэтому полезно пересмотреть и принципы классификации проектируемых железных дорог, и действующую нормативную базу проектирования постоянных устройств новых линий, ибо она не всегда отвечает современным требованиям и, кроме того, не может быть универсальной для железных дорог разного назначения.

Важнейшим полигоном расширения сети железных дорог будут районы севера и северо-востока Российской Федерации [3, 4], отличающиеся суровым климатом и наличием вечной мерзлоты. В ряде случаев это потребует разработки специальных технических условий (СТУ) для каждой проектируемой ветки. Применение СТУ, следует ожидать, позволит принимать проектные решения, учитывающие особенности региона размещения трассы и в определенной степени помогающие снизить

строительную стоимость, обеспечить условия для безопасности движения поездов.

Известную сложность представляют проблемы взаимодействия новых железных дорог разных категорий с полигоном уже действующих. Появление дорог современного типа может потребовать модернизации или реконструкции прилегающих к ним линий. В частности, грузообразующие железные дороги могут передавать на существующие линии немалую, весьма заметную дополнительную нагрузку, которая способна привести к созданию новых «узких мест». Причем резонирующая зона в этом случае достаточно велика.

Так, например, к Байкало-Амурской магистрали могут примыкать многие грузообразующие или так называемые «капиллярные» железные дороги – допустим, к Чинейскому месторождению титаномагнетитовых и других руд, Удоканскому месторождению медных руд и Эльгинским уголям, что создаст свою дополнительную нагрузку на магистраль и может потребовать увеличения ее провозной способности.

## II.

Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в новых экономических условиях должна быть обоснована всесторонне.

Этот процесс начинается со стадии проектного решения, когда дается предварительная оценка технико-экономических позиций бизнес-плана. Задача не столь простая. Она вызывает определенные трудности, поскольку далеко не всегда в распоряжении лица, принимающего решение, на раннем этапе проектирования оказываются достаточно достоверные и хорошо систематизированные исходные данные.

Далее изложен относительно несложный метод технико-экономической оценки проектного решения по модернизации или реконструкции действующей железной дороги, позволяющий в первом приближении обосновать срок окупаемости инвестиций.

В основу метода положено понятие о чистом дисконтированном доходе (ЧДД) или Net Present Value (NPV) в условиях стационарной рыночной экономики [5]:

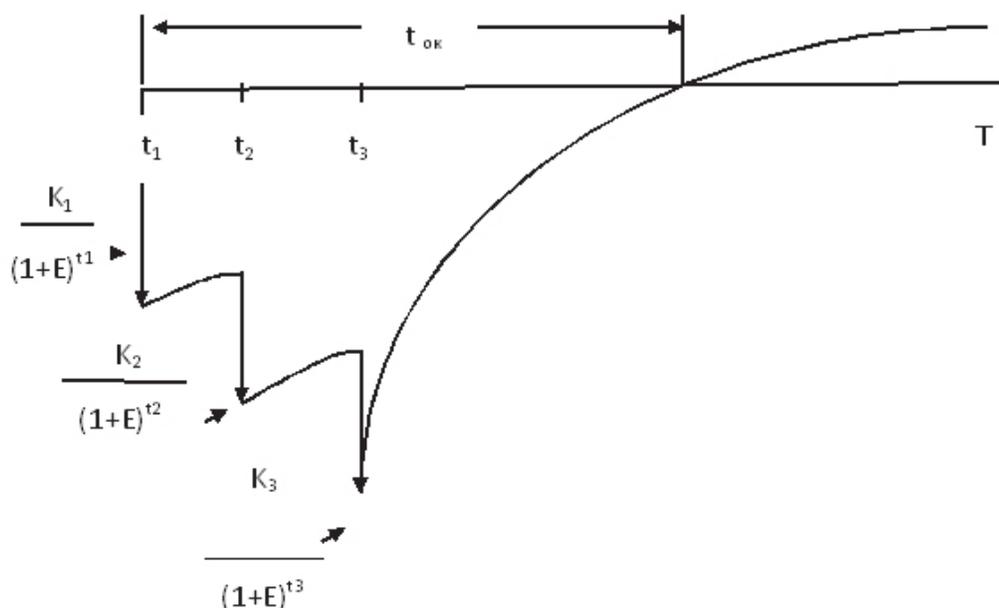


Рис. 1. Графическая интерпретация задачи технико-экономического обоснования проектного решения.

$$\text{ЧДД} = -K + \sum_{t=1}^T \frac{R(t) - C(t)}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где  $K$  – первоначальные инвестиции;  
 $R(t)$  – приток денег в  $t$  году;  
 $C(t)$  – отток денег в  $t$  году;  
 $T$  – продолжительность жизненного цикла, обычно 10–15 лет;  
 $E$  – норма дисконта.

Применительно к поставленной задаче  $R(t)$  пропорционален грузопотоку и тарифу на перевозки,  $C(t)$  – эксплуатационным расходам, зависящим также от грузопотока и технического оснащения железной дороги.

В ряде случаев, особенно при проектировании грузообразующих железных дорог с привлечением средств инвестора-владельца добывающего предприятия, в приток средств  $R(t)$  правомерно включать стоимость реализации продукции этого предприятия (франко порт или существующая железная дорога). Такой прием позволяет с достаточной степенью уверенности оценить реальный срок окупаемости объектов железной дороги.

На предварительных стадиях проектирования, когда выбираются принципиальные решения, искомые данные можно

получить на основе приближенных расчетов или воспользоваться аналоговыми показателями существующих железных дорог, идентичных по параметрам с проектируемой линией [6].

Пользуясь формулой (1), определяем предельную стоимость строительства  $K$ , при которой для принятых величин функций  $R(t)$  и  $C(t)$  будет установлен ожидаемый срок окупаемости проектируемой дороги.

Для этого надо положить ЧДД (NPV)=0, а верхний предел суммирования  $T=t_{ок}$ . Момент, когда возрастающая функция ЧДД( $t$ ) пересечет ось времени, будет соответствовать сроку окупаемости проекта модернизации.

Такой прием особенно полезен при разработке бизнес-плана, в котором стоимость строительства железной дороги имеет решающее значение при принятии принципиального для инвестора решения.

При планировании модернизации или реконструкции железной дороги с целью увеличения ее мощности (провозной способности) использование таких мер, как переход на более мощные локомотивы, наращивание полезной длины приемоотправочных путей, применение прогрес-



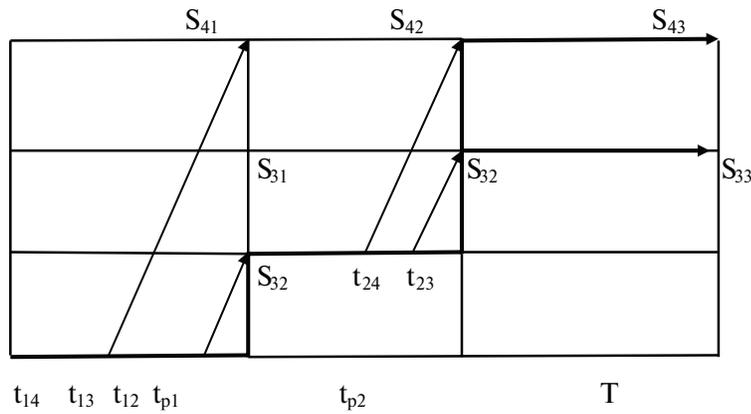


Рис. 2. Сетка «состояния–время» для формирования оптимальной схемы развития мощности проектируемой железной дороги по критерию ЧДД.

сивных видов тяги, необходимо подтвердить их экономическую целесообразность в динамике (в пределах расчетного горизонта не менее  $T=10-15$  лет).

Задачи такого типа предлагается решать за счет изменения чистого дисконтированного дохода (ЧДД) во времени. На рис. 1 показана графическая интерпретация подобной задачи.

Исходными данными для ее решения служат: рассредоточенные капиталовложения  $K_1, K_2$  и  $K_3$ , приток средств соответственно до и после ввода мер модернизации во времени:  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$  и отток средств  $C_1(t)$  и  $C_2(t)$ . Исходными данными для ее решения служат: рассредоточенные капиталовложения  $K_1, K_2$  и  $K_3$ , приток средств соответственно до и после ввода мер модернизации во времени:  $R_1(t)$  и  $R_2(t)$  и отток средств  $C_1(t)$  и  $C_2(t)$ .

$$\begin{aligned}
 &+ \\
 \text{ЧДД}(t) = & -K_1 + \sum_{t=t_1}^{t_2} (R_1(t) - C_1(t)) \alpha_t - K_2 \alpha_{t_2} \\
 & + \sum_{t=t_2}^{t_3} (R_1(t) - C_1(t)) \alpha_t - K_3 \alpha_{t_3} + \\
 & + \sum_{t=t_3}^T (R_2(t) - C_2(t)) \alpha_t. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Здесь  $\alpha_t = \frac{1}{(1+E)^t} \alpha_t$  – коэффициент дисконтирования,  $E$  – норма дисконта.

### III.

Такой же подход можно использовать и при проектировании новой железной дороги, когда предстоит наметить ее техническое развитие в перспективе,

чтобы уже на начальном этапе избежать непроизводительных затрат и предусмотреть те заведомо гарантирующие успех решения, которые не потребуются пересматривать в будущем. Для этого следует определить оптимальный срок перехода к новому генеральному состоянию. И в качестве критерия здесь можно, как в предыдущем случае, принять величину чистого дисконтированного дохода.

$$\begin{aligned}
 \text{ЧДД} = & \sum_{t=1}^{tr} ((R1(t) - C1(t)) \alpha_t - \\
 & - K \alpha_{tr} + \sum_{t=tr+1}^{ir} ((R2(t) - C2(t)) \alpha_t). \quad (3)
 \end{aligned}$$

В данном случае  $tr$  – срок перехода к более совершенному техническому состоянию проектируемой железной дороги, которое приводит к увеличению ее мощности, а следовательно и к возрастанию результата  $R(t)$  и, возможно, к уменьшению оттока средств  $C(t)$ . Функция ЧДД( $t$ ) имеет максимум, абсцисса которого соответствует оптимальному году перехода к новому состоянию проектируемой дороги.

При проектировании новой железной дороги полезно представить процесс развития ее мощности в перспективе не менее  $T=15$  лет. Для этого можно использовать предложенный А. П. Кондратченко и автором метод формирования оптимальной схемы развития технического оснащения проектируемой линии по критерию минимума приведенных строительно-эксплуатационных расходов. Метод основан на принципах динамического программирования.

В современных условиях целесообразно принять в качестве критерия величину ЧДД, а также учесть сроки строительства для перехода от одного состояния к другому.

На рис. 2 показан случай формирования оптимальной схемы развития технического оснащения проектируемой линии для четырех состояний, обеспечивающих перспективные размеры перевозок. Два последних состояния являются конечными.

Сущность метода состоит в определении ЧДД в узлах сетки и выборе оптимальной траектории.

Так, для узлов сетки с одним подходом  $S_{21}$ ,  $S_{31}$  и  $S_{41}$  схема определения критерия показана ниже:

$$S_{21} = \sum_{t=1}^{t_{p1}} ((R1(t) - C1(t))\alpha_t - \sum_{t=t_{12}}^{t_{p1}} K_{12} \frac{1}{(t_{p1} - t_{12})} \alpha_t. \quad (4)$$

Здесь  $K_{12}$  – стоимость перехода от состояния 1 к состоянию 2. При определении критерия в узлах  $S_{31}$  и  $S_{41}$  изменятся только значения стоимости переходов и пределы суммирования во второй сумме.

Для узлов с двумя подходами  $S_{42}$  и  $S_{32}$  выбирается тот, который имеет наибольшее значение критерия. Например, при подходе к узлу  $S_{32}$  сравниваются два критерия.

Первый – от узла  $S_{21}$ :

$$S_{32} = S_{21} + \sum_{t=t_{p1}}^{t_{p2}} ((R2(t) - C2(t))\alpha_t - \sum_{t=t_{23}}^{t_{p2}} K_{23} \frac{1}{(t_{23} - t_{p2})} \alpha_t. \quad (5)$$

Второй – от узла  $S_{31}$ :

$$S_{32} = S_{31} + ((R3(t) - C3(t))\alpha_t. \quad (6)$$

Пусть второй подход дает меньшее значение в узле  $S_{32}$ , поэтому он «закрывается».

При подходе к узлу  $S_{42}$  наибольшее значение получено при подходе от узла  $S_{21}$ .

В заключение определяется значение критерия в узлах  $S_{43}$  и  $S_{33}$  в конце расчетного срока  $T$ . Пусть  $S_{43} > S_{33}$ . Тогда оптимальная по критерию ЧДД схема развития технического оснащения восстанавливается по узлам с незакрытыми переходами (показана на рис. 2 более толстой линией).

Таким образом, предлагается на любом этапе проектирования новой железной дороги, прежде всего на стадии разработки бизнес-плана или в ходе модернизации, особо оценивать технико-экономический эффект, зависящий от принимаемых технических решений. При этих расчетах должны учитываться специфические условия проектируемой железной дороги в соответствии с принятой в «Стратегии–2030» классификацией [7].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года.
2. Мамошин Р.Р. Новые технологии электроснабжения железных дорог на переменном токе // Евразия Вести. – 2007. – № 4.
3. Копыленко В.А., Быков Ю.А., Круглов В.М., Турбин И.В., Космин В.В. Северные и восточные районы России – важнейший полигон расширения сети железных дорог страны в XXI веке // Транспортное строительство. – 2008. – № 4.
4. Копыленко В.А., Быков Ю.А., Турбин И.В., Космин В.В. Расширение сети железных дорог в малоосвоенных регионах России – одна из важных задач развития железнодорожного транспорта страны в XXI веке // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – М., 2008.
5. Лифшиц В.Н. О методологии оценки эффективности российских инвестиционных проектов // Научные доклады Института экономики РАН. – М., 2009.
6. Волков Б.А. Экономическая эффективность инвестиций на железнодорожном транспорте в условиях рынка. – М.: Транспорт, 1996.
7. Турбин И.В., Мудров П.В. Параметры проекта и трасса грузообразующих железных дорог // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1. ●

## MODERNIZATION OF RAILWAYS: TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECT

**Turbin, Igor V.** – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

### In memoriam

This is the last article of Igor V. Turbin (1923–2012) who deceased on September, 4. The relatives, colleagues and disciples will always retain the blessed memory of the soldier of Great Patriotic war, scientist and professor who dedicated more than 50 years of his life to education.

The article analyzes some modern approaches towards solutions used to engineer and modernize railways. Net present value is deemed to be a criterion of assessment. This method allows considering the main features of the subject with greater validity. These include cargo traffic changing during the given periods, volume and dates of investments, onflow and flight of capital during the estimated period. The author has proposed a method to outline technical developments of a railway.

**Key words:** railway, economics, construction, modernization, net present value, optimum development scheme, project decision assessment.

