



Эксплуатационные расходы при организации движения на ВСМ



Антон СЯЧИН

Anton E. SYACHIN

Operation Costs in High-Speed Rail Transportation

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 133)

В статье предложена методика расчёта годовых эксплуатационных расходов на 1 поезд-километр при организации движения на высокоскоростной магистрали Москва–Казань в зависимости от ходовой скорости и основного удельного сопротивления движению поезда. С учётом коэффициента комфортабельности и на основе многокритериального выбора за оптимальную композицию состава принята комбинация из 12 вагонов четырёх классов (одного вагона первого класса, двух вагонов бизнес-класса, четырёх экономического и пяти туристического класса) вместимостью 742 пассажира. Определены размеры движения высокоскоростных поездов на ВСМ, для расчётов привлечены актуальные исходные данные, а также возможные тарифы за проезд в вагонах различных классов. Обоснована часть условно-постоянных расходов, посчитаны эксплуатационные расходы, выручка и прибыль с продажи билетов при полном освоении планируемого пассажиропотока. Показаны приведённые расходы на 1 пассажира и 1 пассажиро-километр.

Ключевые слова: транспорт, высокоскоростные магистрали, высокоскоростные поезда, организация движения, эксплуатационные расходы, методика расчёта, композиция состава, пассажиропоток.

Сячин Антон Евгеньевич – аспирант кафедры международного бизнеса Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Как показывает зарубежный опыт, высокоскоростные железнодорожные пассажирские перевозки в мире развиваются, а сеть ВСМ расширяется. Наиболее яркие представители, эксплуатирующие ВСМ, – Китай, Япония, Франция, Германия, Испания, Италия. Мировая практика отмечает, что, с одной стороны, высокоскоростное пассажирское движение не только повышает престиж государства, но и предлагает совсем другой уровень транспортных услуг, стимулирует мобильность населения, соединяет с центром удалённые регионы, привлекает дополнительные инвестиции в развитие транспортной отрасли и помогает наращивать социально-экономический потенциал страны. С другой стороны, высокоскоростное движение специфично и, безусловно, требует строительства специализированной линии, являясь очень дорогостоящим проектом.

Принципиальное отличие высокоскоростных перевозок от традиционных – скорость движения поезда, поэтому необходимо особое внимание уделить сопротивлению движению высокоскоростного поезда и возникающим при этом расходам. Именно высокая скорость движения требует строительства отдельной линии, иначе высоко-

скоростной поезд снимает с графика движения множество поездов других категорий.

Не менее значима себестоимость высокоскоростных пассажирских перевозок, которая определяет тарификацию (цену проезда) и существенно влияет на объём пассажиропотоков. Конечная величина себестоимости единицы перевозок представляет собой отношение эксплуатационных расходов к рассматриваемому объёму перевозок.

Для проектируемых высокоскоростных линий может быть дана только приближённая оценка себестоимости и эксплуатационных расходов. Известна предложенная отечественными специалистами система определения себестоимости грузовых перевозок на проектируемых линиях, основанная на обоснованном выборе измерителей, связанных с объёмами перевозок и удельными расходами на каждый такой измеритель. Эта система использовалась до 80-х годов прошлого века в обоснованиях эффективности нового строительства и/или крупной реконструкции участков и направлений сети железных дорог [1].

Для пассажирских перевозок на ВСМ в обосновании их эффективности степень неопределённости заметно выше, чем для обоснования целесообразности проектов новых линий для грузового движения. Поэтому можно в предпроектных расчётах выбрать систему определения себестоимости пассажирских перевозок, основанную на укрупнённом измерителе для зависящей части расходов – величине эксплуатационных расходов на 1 поезд-километр.

1. Определение зависящих от объёмов перевозок эксплуатационных расходов, связанных с организацией движения высокоскоростных поездов.

Эксплуатационные расходы представляют собой сумму зависящих от объёмов перевозок и условно-постоянных расходов, которые не зависят от объёмов перевозок:

$$E_{зод} = E_{зод}^з + E_{зод}^{y-n} \quad (1)$$

К зависящим от объёмов перевозок расходам на один поезд относятся энергетические (на преодоление сопротивлений движению поезда и его перемещение) и временные расходы (зарплата поездной бригаде) [2]. Тогда зависящие расходы можно представить в виде формулы:

$$\begin{aligned} E_{обц} &= E_з + E_п = \\ &= R_{мех} \cdot C_{т-км} + \frac{L}{\beta_m \cdot V_x} \cdot C_{п-ч}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $R_{мех}$ – механическая работа высокоскоростного пассажирского поезда, т • км брутто; $C_{т-км}$ – расходная ставка на 1 т • км механической работы, руб.; L – длина направления, км; β_m – коэффициент маршрутной скорости пассажирских поездов, зависящий от количества и продолжительности стоянок; V_x – ходовая скорость поезда, км/ч; $C_{п-ч}$ – расходная ставка на 1 поезд-час пассажирского поезда, руб.

Механическая работа поезда определяется формулой

$$R_{мех} = Q \cdot (w_0 + i_з) \cdot L \cdot 10^{-3} + 3,8 \cdot Q \cdot (a \cdot V_x)^2 \cdot K_{ост} \cdot 10^{-6}, \quad (3)$$

где Q – масса поезда, т брутто; w_0 – основное удельное сопротивление движению поезда, Н/кН; $i_з$ – эквивалентный по механической работе уклон, %; a – отношение скорости начала торможения к ходовой скорости; $K_{ост}$ – количество остановок пассажирского поезда.

Основное удельное сопротивление движению высокоскоростного поезда (максимальная скорость до 300 км/ч) находится по рекомендованной ВНИИЖТ формуле [3]:

$$w_0 = 1 + 0,01 \cdot V + 0,00014 \cdot (V + 15)^2. \quad (4)$$

Первыми двумя слагаемыми (4) характеризуется механическое сопротивление, а последним – аэродинамическое сопротивление (с ростом скорости аэродинамическое сопротивление растёт квадратично) [4]. Коэффициенты, стоящие перед ходовой скоростью в формуле (4), желательно устанавливать по результатам экспериментов с определённым типом высокоскоростного поезда на приближённом к реальному профилю пути. К настоящему моменту таких данных нет. С другой стороны, если во всех вариантах использовать представленную выше формулу, то при их сравнении между собой величина возможной ошибки из-за несоответствия (4) реальным данным остаётся одинаковой, поэтому допустимо формулой пользоваться.

Расходная ставка на 1 поезд-час высокоскоростного пассажирского поезда:

$$\begin{aligned} C_{п-ч} &= C_{сост-ч} + 1,3 \cdot (\beta_{л.бр} \cdot C_{\sigma-ч}^л + \\ &+ \beta_{нр.бр} \cdot C_{\sigma-ч}^{нр} \cdot m + \\ &+ \beta_{м.бр} \cdot C_{\sigma-ч}^м + \beta_{и.бр} \cdot C_{\sigma-ч}^и), \end{aligned} \quad (5)$$

где $C_{сост-ч}$ – расходная ставка на 1 состав-





Таблица 1

Композиция высокоскоростного поезда на ВСМ Москва–Казань

Число вагонов в составе поезда					Число мест в вагонах				Вместимость поезда a_p , пасс.	Коэффициент комфортабельности k_k	Выручка от продажи билетов, руб.
П	Б	Э	Т	Итого	П	Б	Э	Т			
1	2	4	5	12	22	112	228	380	742	4,58	2872100

Таблица 2

Исходные данные для расчёта расходов на 1 п-км, выручки и прибыли компании

Показатель	Значение показателя	Показатель	Значение показателя	Показатель	Значение показателя
Q, т брутто	678	T, лет	30	$e_{п}$, руб./км	15
i_3 , %	7,5	$\Pi_{сост}$, руб.	1191285000	e_b , руб./км	10
L, км	770	$b_{л.бр}$, $b_{пр.бр}$, $b_{м.бр}$, $b_{н.бр}$	1,25	$e_{э}$, руб./км	5
a	0,9	$C_{т*км}$, руб.	33,12	$e_{т}$, руб./км	3
$K_{ост}$	14	$C_{б-ч}^A$, $C_{б-ч}^{np}$, $C_{б-ч}^M$, $C_{б-ч}^H$, руб./час (усреднённая)	400		
b_m	0,7	$N_{потр}$	8718		

час, руб.; 1,3 – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды; $C_{б-ч}^A$, $C_{б-ч}^{np}$, $C_{б-ч}^M$, $C_{б-ч}^H$ – расходные ставки 1 часа работы соответственно локомотивной бригады, бригады проводников, поездного электромеханика и начальника поезда, руб./час; $b_{л.бр}$, $b_{пр.бр}$, $b_{м.бр}$, $b_{н.бр}$ – коэффициенты, учитывающие время внепоездной работы соответственно локомотивной бригады, бригады проводников, поездного электромеханика и начальника поезда; m – количество вагонов в составе поезда, ваг.

Расходная ставка на 1 составо-час:

$$C_{сост-ч} = \frac{\Pi_{сост}}{T \cdot 8760}, \quad (6)$$

где $\Pi_{сост}$ – стоимость состава высокоскоростного поезда, руб.; T – срок службы состава, лет; 8760 – количество часов в году.

В формуле (2) зависящие расходы рассчитаны для всего направления. Если её слагаемые попеременно разделить на длину направ-

ления, тогда получим энергетические и временные расходы, приходящиеся на 1 поездок-километр, а их сумма – зависящие расходы на 1 поездок-километр:

$$E_{п-км} = \frac{R_{мех} \cdot C_{т-км}}{L} + \frac{C_{п-ч}}{\beta_m \cdot V_x}. \quad (7)$$

Определив зависящие от объёмов перевозок расходы на один поезд, можно вычислить годовые зависящие затраты:

$$E_{год}^3 = E_{п-км} \cdot L \cdot N_{потр}, \quad (8)$$

где $N_{потр}$ – годовое потребное количество высокоскоростных поездов.

2. Определение оптимальной композиции состава высокоскоростного поезда.

Планируемая композиция, типы вагонов и вместимость высокоскоростного поезда представлены в таблице 1.

В таблице 1 показана уже принятая и предлагаемая автором композиция, которая выбиралась из множества других возможных [5]. Изначально композиции варьировались по

Таблица 3

Расчёт эксплуатационных затрат, а также выручки и прибыли компании

V_x , км/ч	$w_{об}$, Н/кН	$R_{мех}$, Т*км	$R_{мех}$, Т*км/км	E_3 , руб.	E_b , руб.	$E_{общ}$, руб.	$E_{п-км}$, руб.
250	13,33	12700,53	16,49	420641,55	65705,42	486346,97	631,62
260	14,19	13298,51	17,27	440446,65	63166,8	503613,45	654,04
270	15,07	13912,77	18,07	460790,94	60777,51	521568,45	677,36
280	15,98	14548,53	18,89	481847,31	58686,89	540534,2	702
290	16,92	15205,8	19,75	503616,1	56596,26	560212,36	727,55
300	17,89	15884,58	20,63	526097,29	54804,29	580901,58	754,41

числу вагонов каждого типа, но суммарное их количество в составе составляло планируемые 12 вагонов. Среди композиций выбиралась та, что позволяла иметь наибольшую вместимость, чтобы предполагать максимальную прибыль компании и минимум поездов, обеспечивающих заданные объёмы пассажиропотоков, при этом количество вагонов с наименьшей вместительностью и самыми дорогими тарифами должно быть минимальным. С другой стороны, композиция не обязана состоять только из самых дешёвых и вместительных вагонов, так как необходимо создать для пассажира возможность выбора типа вагонов и уровня услуг в соответствии с его потребностями и финансовыми возможностями.

То есть поиск оптимальной композиции – многокритериальный. Для выбора композиции автором предлагается способ, основанный на коэффициенте комфортабельности. Суть способа состоит в следующем: каждому типу вагонов присваиваются баллы по шкале комфортабельности от 0 до 10 (самый комфортабельный и дорогой тип – 10 баллов), вводится коэффициент комфортабельности (в качестве наиболее подходящих будут приниматься во внимание композиции, у которых он находится в интервале от 4,5 до 5 баллов; ниже 4,5 – недостаточное количество вагонов самого высокого класса, более 5 баллов – недостаточная вместимость). Таким образом, вместимость одного поезда составляет 742 пассажира, а композиция включает 1 вагон первого класса (П), 2 вагона бизнес-класса (Б), 4 вагона эконом-класса (Э) и 5 туристических (Т).

В таблице 1 также указана выручка с одного поезда от продажи билетов, которая посчитана на основании тарифов за проезд в вагоне каждого типа (см. таблицу 2).

Воспользовавшись прогнозными данными по пассажиропотоку на 2019 год центра стратегических разработок и определив наполнение каждого участка на рассматриваемом направ-

лении Москва–Казань, можно предположить, что максимальная нагрузка ожидается на участке Москва–Владимир (6468643 пассажира в год) [6]. Тогда для освоения планируемых пассажиропотоков годовое потребное количество высокоскоростных поездов равно отношению максимальной густоты участка к вместимости одного поезда, то есть 8718 поездов в год при заданной композиции состава.

В дополнение к энергетическим и временным расходам, зависящим от объёмов движения, следует учесть расходы, связанные с подготовкой составов в рейс (мелкий внутренний ремонт, уборка, санитарный осмотр, обмывка, экипировка, внутренняя влажная уборка, приём состава комиссией) и затраты на ремонт, техническое обслуживание, переформирование, газовую обработку в пункте приписки [7]. Величина этих расходов в расчёте на 1 поезд может быть ориентировочно принята с учётом данных пассажирских составов на обычных направлениях, например, на скоростной линии Москва–Санкт-Петербург. Кроме того, надо иметь в виду и затраты, связанные с обслуживанием пассажиров на вокзальных комплексах и в пути следования (продажа билетов, оказание прочих услуг). В расчётах, приведённых в статье, эти расходы в части зависящих от размеров движения не учитывались.

3. Обоснование условно-постоянных расходов на ВСМ, определение выручки, прибыли и приведённых затрат на 1 пассажира и 1 пассажиро-километр.

К условно-постоянным расходам ($E_{год}^{y-n}$) отнесём связанные с содержанием, техническим обслуживанием, ремонтом, амортизацией контактной сети и ЛЭП, пути и постоянных устройств, устройств СЦБ (сигнализации, централизации и блокировки), электрической централизации стрелок, ВСМ, амортизацией ВСМ и отчислениями в резерв на капитальный ремонт ВСМ, прочие расходы [8].

$E_{год}^2$, млн руб.	$E_{год}^{y-n}$, млн руб.	$E_{год}$, млн руб.	$V_{год}$, млн руб.	$P_{год}$, млн руб.	$E_{пр}^{пасс}$, руб./пасс	$E_{пр}^{пасс-км}$, руб./пасс-км
4239,97	19326,06	23553,80	25038,97	1485,17	655,45	0,85
4390,5		23703,23		1335,74	678,72	0,88
4547,03		23852,66		1186,31	702,92	0,91
4712,38		24051,9		987,07	728,48	0,95
4883,93		24201,32		837,64	755	0,98
5064,3		24400,56		638,41	782,89	1,02



По последним официальным данным (на 2017 год) стоимость строительства 770-километровой ВСМ Москва—Казань составляет 1288 млрд рублей, включая расходы на закупку потребного количества подвижного состава. В данной статье эти расходы отнесены на годовую амортизацию ВСМ при сроке службы в 100 лет до капитального ремонта, остальные названные ранее расходы приняты в процентах к годовой амортизации (150 %). Таким образом, годовые условно-постоянные затраты превышают годовые зависящие затраты в 3,8–4,56 раз в зависимости от ходовой скорости движения высокоскоростных пассажирских поездов и составляют примерно $E_{год}^{y-n} = 19326,06$ млн руб.

Годовая выручка от проданных билетов будет находиться по формуле:

$$B_{год} = N_{норм} \cdot L \cdot \sum_{k=1}^r a_k \cdot e_k, \quad (9)$$

где a_k — количество пассажиров в k -типе вагона; e_k — тариф за проезд в вагоне k -типа, руб./км; k — тип вагона в составе поезда; r — количество типов вагонов в составе поезда (их четыре: П, Б, Э, Т).

Годовая прибыль компании от проданных билетов:

$$P_{год} = B_{год} - E_{год}^3 - E_{год}^{y-n}. \quad (10)$$

Приведённые затраты на одного пассажира:

$$E_{np}^{nacc} = \frac{E_{год}^3}{N_{норм} \cdot a_n}. \quad (11)$$

Приведённые затраты на один пассажиро-километр:

$$E_{np}^{nacc-км} = \frac{E_{год}^3}{N_{норм} \cdot a_n \cdot L}. \quad (12)$$

Исходные данные для расчёта расходов, приходящихся на 1 поезд-километр, выручки и прибыли, приведены в таблице 2.

Результаты расчёта в зависимости от ходовой скорости сведены в таблицу 3.

ВЫВОДЫ

Применительно к сделанным расчётам можно ожидать прибыль компании от про-

дажи билетов. Но расчёты представляют собой ориентировочную количественную оценку эксплуатационных расходов в идеальных условиях, то есть когда полностью осваивается прогнозируемый центром стратегических разработок пассажиропоток ВСМ. Кроме того, в расчёте на 1 поезд-километр показаны расходы на организацию непосредственно самого движения поездов, но не были учтены затраты на ремонт и обслуживание подвижного состава, формирование и подготовку пассажирских составов к отправлению, затраты на сервисное обслуживание на вокзальных комплексах, затраты на содержание и ремонт пути, устройств СЦБ, контактной сети в части зависящих расходов. На практике, если учесть все перечисленные оговорки, эксплуатационные расходы будут заведомо выше, а возможная прибыль ниже (приблизительно на 20–25 % против указанных значений в таблице 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гибшман А. Е. Определение экономической эффективности проектных решений на железнодорожном транспорте. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1985. — 239 с.
2. Пазойский Ю. О., Шубко В. Г., Вакуленко С. П. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте: Учеб. пособие. — М.: Учеб.-методический центр по образованию на ж.д. транспорте, 2009. — 342 с.
3. Кантор И. И. Изыскания и проектирование железных дорог. — М.: Академкнига, 2003. — 288 с.
4. Анисимов П. С., Иванов А. А. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда: Монография. — М.: Учеб.-методический центр по образованию на ж.д. транспорте, 2011. — 542 с.
5. Siemens. Velaro. Top-Performance für den Hochgeschwindigkeitsverkehr: Berlin, 2012. [Электронный ресурс]: <https://www.siemens.com/press/pool/de/feature/2013/infrastructure-cities/2013-12-ice/broschuere-velaro-de.pdf>. Доступ 19.10.2015.
6. Центр стратегических разработок. Обоснование целесообразности создания высокоскоростных железнодорожных магистралей ВСМ-2 «Москва—Казань—Екатеринбург» и ВСМ-3 «Центр—Юг». Оценка достигаемых результатов: М., 2013. [Электронный ресурс]: http://mindortrans.tatarstan.ru/file/ВСМ_полная_21.1113.pdf. Доступ 10.02.2016.
7. Смехова Н. Г., Купоров А. И., Кожевников Ю. Н. и др. Себестоимость железнодорожных перевозок. — М.: Маршрут, 2003. — 494 с.
8. Терёшина Н. П., Галабурда В. Г., Трихунков М. Ф. и др. Экономика железнодорожного транспорта. — М.: Учеб.-методический центр по образованию на ж.д. транспорте, 2006. — 801 с. ●

Координаты автора: **Сячин А. Е.** — tony_antony_s@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.12.2017, актуализирована 27.03.2018, принята к публикации 02.04.2018.