

# Методика увеличения пропускной способности линии при росте объема перевозок



**Ж. Я. Абдуллаев,**  
аспирант кафедры  
«Управление эксплуатацион-  
ной работой» Петербу-  
ргского государствен-  
ного университета путей  
сообщения Императора  
Александра I (ПГУПС)



**Г. М. Грошев,**  
д. т. н., профессор,  
кафедра «Управление  
эксплуатационной рабо-  
той» ПГУПС



**А. А. Грачев,**  
к. т. н., доцент,  
кафедра «Управление  
эксплуатационной рабо-  
той» ПГУПС



**А. В. Сугоровский,**  
к. т. н., доцент кафедры  
«Управление эксплуатаци-  
онной работой» ПГУПС



**А. С. Аль-Шумари,**  
к. т. н., доцент, кафедра  
«Управление эксплуатаци-  
онной работой» ПГУПС

Сегодня значительно возрастают объемы грузовых перевозок на железных дорогах, все больше внимания уделяется безопасному пропуску поездов. Поэтому необходимо выбирать наиболее эффективные комплексные мероприятия, направленные на максимальное использование пропускной способности железных дорог.

Рост экономики Узбекистана в период 2000–2018 г. г. привел к увеличению объемов грузов, перевозимых по железной дороге, а передача инвентарного парка вагонов АО «Узбекистан темир йуллари» — к изменениям структуры грузопотоков. При прогнозировании роста грузопотоков была выявлена проблема: отсутствует резерв пропускной способности на участке Тинчлик – Учкудук II – Мискин. Для решения аналогичных проблем необходима методика разработки экономически эффективных мер по повышению пропускной и провозной способности отдельных участков (линий) железных дорог.

Вопросы разработки методики по усилению пропускной способности линий при росте объема грузопотоков рассмотрены в работах многих ученых. В исследованиях [1, 3, 6, 7, 12] приведена методика определения перспективной длины станционных путей с использованием многоэтапного увеличения пропускной способности железных дорог. Следует отметить, что в этих работах оптимизация общего функционала по длине станционных путей и связанных

с ним показателей осуществлялась для небольшого набора фиксированных схем технически оснащенных линий, в которых не учитывались значения участковой скорости, электрификация линии, замена локомотива, возможность неоднократного удлинения путей.

В своей работе Д. Ю. Левин предложил методику технико-экономических расчетов, необходимых для сравнения и выбора способов увеличения пропускной способности однопутных железнодорожных линий [5]. Изложены проблемы технико-экономической эффективности усиления тяговых средств. При измерении видов тяги учитывается только участковая скорость.

В работе А. М. Макарошкина предложена методика по расчету потребной пропускной способности в зависимости от увеличения объемов грузовых и пассажирских перевозок [2].

Методы прогнозирования можно разделить на три группы: эвристические, формализованные и комбинированные. Н. В. Правдин подробно описал методы прогнозирования роста транспортных потоков [8].

В работах Е. А. Сотникова, Д. А. Мачерета, Ф. С. Пехтерева предложено использовать методы прогноза при росте объема перевозок, определяемые на основе анализа линейного тренда [9–11]. Однако прогнозирование при росте объема перевозок по линейной модели не подходит для описания тенденции временного ряда параболической модели, так как прогноз сильно занижен. Из работ [9–11] следует, что прогнозные значения ближе к фактическим, если они немного завышены.

Сегодня не существует общепринятых математических методов для моделирования вариантов увеличения пропускной способности линии при росте объема перевозок.

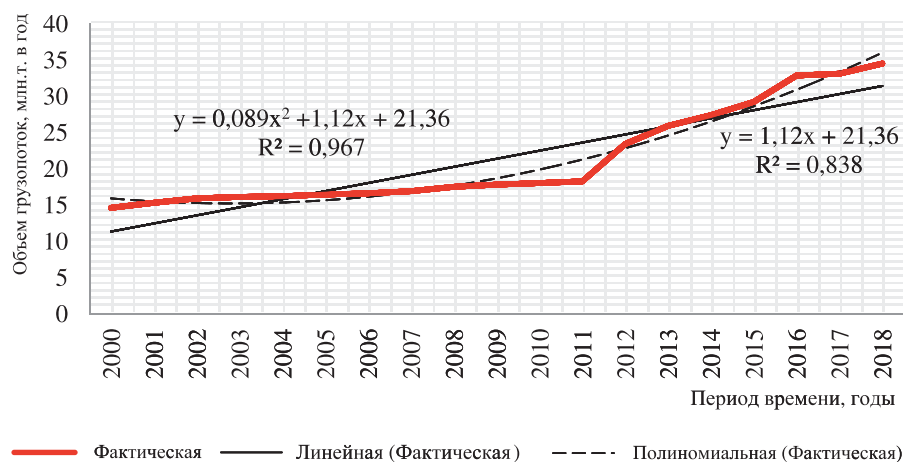


Рис. 1. Динамика объема грузопотока с 2000 до 2018 г. на однопутной линии Тинчлик – Учкудук II – Мискин

Чтобы выяснить, насколько эффективны схемы повышения пропускной способности линии, необходимо решить следующие задачи:

- выполнить прогнозирование при росте объема грузовых перевозок на основе анализа номинального тренда;
- определить участковую скорость линии для выбора схемы развития;
- разработать экономико-математические модели развития линии, ее технического оснащения и освоения возрастающих в перспективе грузовых перевозок.

В условиях рыночной экономики рост объемов перевозок на железнодорожном транспорте отражает потребности развития линии.

Закономерности роста грузовых перевозок во многом определяются новыми тенденциями, отражающими законы развития экономики страны на современном этапе. Изучение новых ситуаций позволяет значительно облегчить экспертам принятие решений и повысить точность прогнозирования развития грузовых перевозок на железнодорожном транспорте.

Одна из современных ведущих тенденций — опережающий темп роста объема провозной способности и объема перевозок по сравнению с периодом 2000–2018 гг.

Изменение объема грузопотока на однопутной линии Тинчлик – Учкудук II – Мискин (Т–У–М) показано на рис. 1.

Как видно из графика, рост объема груза отражается по номинальной второй степени, а для наибольшей достоверности аппроксимации близко к 1. Эти степени применимы в тех случаях, когда процесс развивается равноускоренно. Известно [8], что при использовании моделей задача прогноза — определить значения параметров  $d_1, d_2, d_3$  в уравнении

$$\bar{Q}_t = d_1 + d_2 \cdot t + t^2 \cdot d_3, \quad (1)$$

чтобы сумма квадратов отклонений действительных значений  $Q_t$  от их теоретических значений в период времени ( $t = 1, 2, \dots, n$ ) была минимальной, т. е.

$$S = \sum_{i=1}^n (\bar{Q}_i - Q_i - a_i)^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $Q_t$  — фактическое значение грузопотоков уровней динамического ряда;

$\bar{Q}_t$  — расчетное значение грузопотоков уровней динамического ряда;

$a_i$  — расчетные темпы прироста перевозок в год;

$n$  — длина времени динамического ряда;

$t$  — число члена рядов;

$d_1, d_2, d_3$  — эмпирические коэффициенты соответственно для грузовых и пассажирских перевозок (параболического тренда).

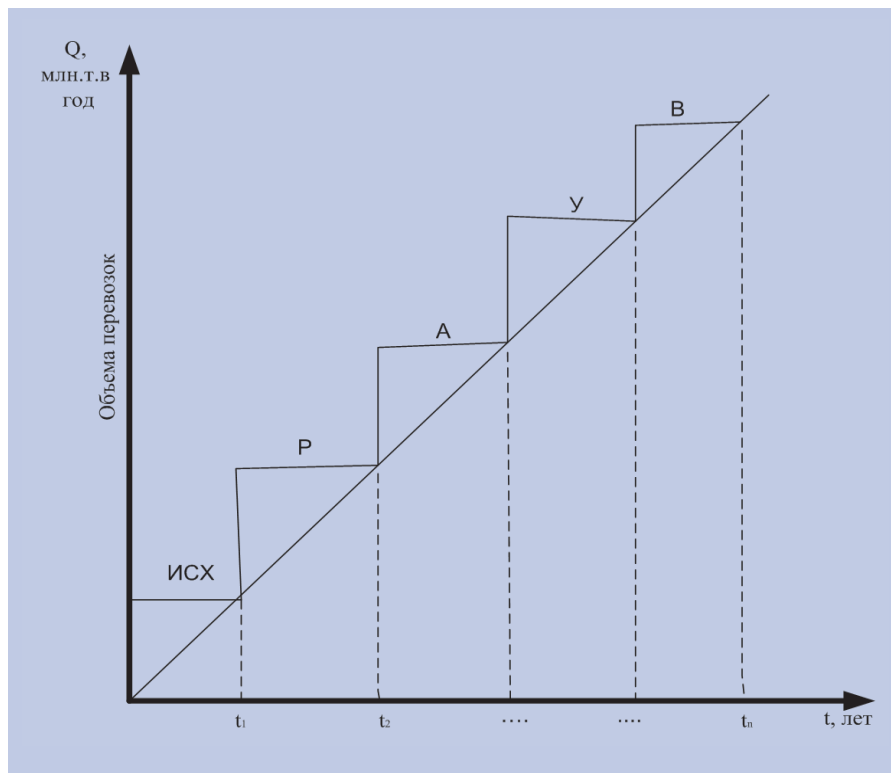


Рис. 2. Последовательность освоения возрастающих объемов перевозок: ИСХ — исходное состояние железнодорожной линии; Р — строительство дополнительных разъездов; У — удлинение станционных приемоотправочных путей; А — оборудование линии автоблокировкой; В — строительство двухпутной вставки

Для расчета эмпирических коэффициентов ( $d_1, d_2, d_3$ ) параболического тренда используется в соответствии с [8].

С использованием корреляционного анализа для прогнозирования грузовых перевозок уравнение параболического тренда примет следующий вид:

$$\bar{Q}_t = t^2 \cdot 0,09 + t \cdot 1,12 + 21,36 \text{ млн т в год.} \quad (3)$$

Среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 3,03$  млн т в год.

Прогноз объема грузопотоков на исследуемой линии к 2030 г. составил  $81,43 \pm 3,53$  млн т в год.

Перспективный прогноз объема грузовых перевозок в современных условиях оказывает влияние на усиление мощности линий, их технические характеристики. Из анализа технических характеристик следует, что в АО «Узбекистан темир йуллари» можно проводить следующие мероприятия по увеличению пропускной и провозной способности линий: строительство дополнительных разъездов (Р), удлинение станционных приемоотправочных путей (У), оборудование линии автоблокировкой (А), строительство двухпутной вставки (В). Последнее мероприятие рассматривается как завершающая стадия этапного увеличения пропускной способности участков и планируется на поздние сроки эксплуатации линии.

В зависимости от условий работы линии указанные варианты усиления пропускной и провозной способности можно осуществлять в различных сочетаниях в той или иной последовательности. В каждом конкретном случае имеется оптимальная очередность проведения мероприятий по техническим срокам, чтобы общие перевозочные затраты за весь период эксплуатации линии вплоть до переустройства ее в двухпутную были наименьшими. Нами использована методика выбора множества возможных состояний технического оснащения однопутных железнодорожных линий [4].

Для рассматриваемого железнодорожного однопутного участка Т–У–М требуется индивидуальный комплекс мероприятий по увеличению пропускной способности и рациональная последовательность их внедрения.

На рис. 2 показаны этапы выполнения мероприятий по увеличению пропускной и провозной способности линий, необходимых для освоения растущих объемов перевозок. Для выбора комплекса мероприятий нужно исследовать влияние различных факторов на пропускную способность линий. На основании проведенного анализа выявлен такой фактор, как участковая скорость поездов.

На рис. 3. представлено изменение участковой скорости при различных схе-

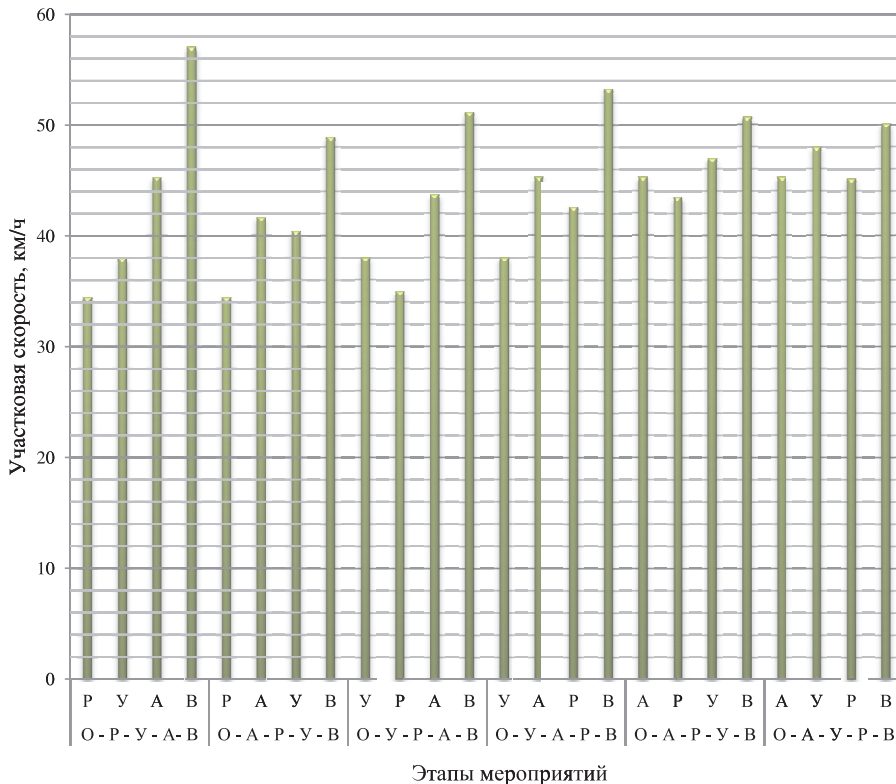


Рис. 3. Изменение участковой скорости при различных схемах перспективного развития пропускной способности участка

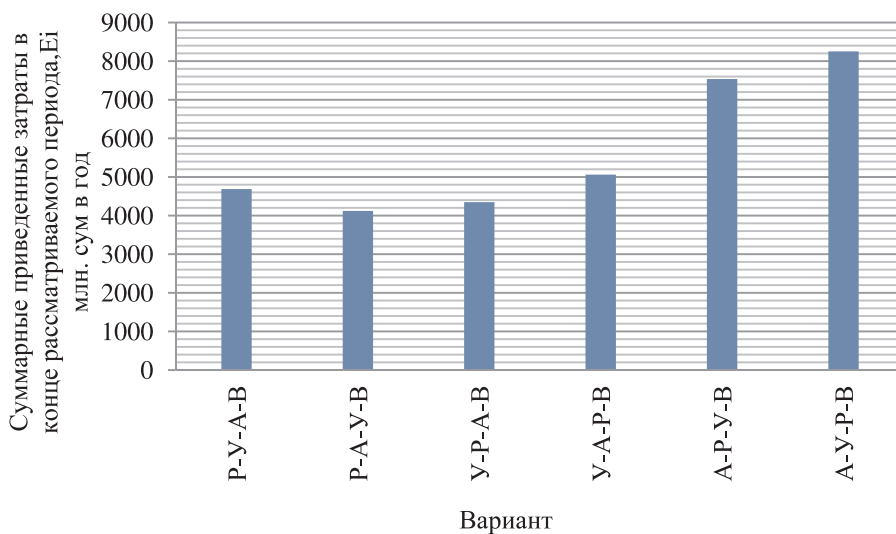


Рис. 4. Схемы развития технического оснащения участка Т-У-М

мах перспективного развития пропускной способности участка. После анализа состояния участка с учетом продолжительности рассматриваемого периода выбраны четыре вида мероприятий развития линии.

Приведены результаты моделирования при различных вариантах выполнения рассматриваемых мероприятий. Присвоим каждому из возможных проводимых на линии мероприятий произвольный порядковый номер  $t_i = 1, 2, \dots, n$ . Осуществление того или иного мероприятия означает изменение значения соответствующего ему параметра — показателя технического оснащения ли-

нии. Так, при удлинении станционных путей и двухпутной вставки изменяется их длина  $\Delta L$ , при введении пакетного графика — коэффициент пакетности  $\alpha_n$ . Обозначим соответствующие мероприятиям параметры:  $L_1, L_2, \dots, L_n$ . Каждое мероприятие и, следовательно, изменение каждого параметра будут осуществлены на линии единожды в срок  $t_i$ . Таким образом, элементами решения станут векторы значений параметров железнодорожной линии  $L_1 = L_1, L_2, \dots, L_n$  и сроки их эксплуатации  $L_1 = t_1, t_2, \dots, t_n$ .

Годовые перевозочные затраты, изменяющиеся в результате роста перево-

зок и усиления пропускной способности линии, зависят от величины параметров, характеризующих техническое оснащение и срок эксплуатации линии.

Суммарные приведенные затраты на все мероприятия усиления пропускной способности за весь период составят согласно [12]:

$$E_c = \sum_{i=1}^n \frac{K_i(L)}{(1+\Delta)^i} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{E(L,t)}{(1+\Delta)^t}, \quad (4)$$

где  $K, E$  — капиталовложения и эксплуатационные расходы на  $t$ -м шаге расчета;

$L$  — горизонт расчета, равный продолжительности расчетного периода (10–20 лет);

$\Delta$  — нормативный коэффициент приведенных затрат;

$t$  — шаг расчета, который целесообразно принять равным одному году.

В качестве критерия оптимальности целесообразно принять минимальное значение приведенных затрат, т. е.

$$E_c = f(N) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Таким образом, при разработке экономико-математической модели овладения перевозками необходимо установить зависимость пропускной способности и перевозочных затрат от показателей технической оснащенности линии, а также раскрыть взаимосвязь последних и влияние их на эффективность способов развития линий в разных условиях. Одновременно с определением оптимального варианта развития с минимальными затратами устанавливается оптимальная этапность осуществления мероприятий. Важно, что под отдельным этапом понимается период эксплуатации линии между смежными мероприятиями. При этом изменение срока эксплуатации линии между смежными мероприятиями по-разному влияет на значения технико-эксплуатационных показателей и суммарные приведенные расходы. Нами даны рекомендации по развитию пропускной и провозной способности участка при росте объема перевозок на следующие 10 лет, на период 2019–2029 гг. Результаты технико-экономических расчетов приведены на рис. 4.

Из результатов технико-экономических расчетов следует, что для развития пропускной и провозной способности участка Т-У-М оптимален вариант P-A-Y-B, а минимальные приведенные затраты в конце рассматриваемого периода составят 4120,5 млн сум. Прежде всего необходимо построить дополнительные развязки и оборудовать линию



автоблокировкой, при таком техническом оснащении линия может эксплуатироваться приблизительно до 2024 г. Далее, в 2024–2026 гг. нужно увеличить длину приемоотправочных путей до 1050 м, а в 2027–2029 гг. построить двухпутные вставки.

Таким образом, в условиях роста объема перевозок определение экономической целесообразности и технической выполнимости последовательности мероприятий по повышению пропускной и провозной способности становится приоритетной задачей для ОАО «Российские железные дороги» и для АО «Узбекистан темир йуллари».

Разработкой методики расчета пропускной способности линии при росте объема перевозок занимались многие исследователи, однако использование отдельных параметров, таких как  $\Delta L$ ,  $\alpha$ ,  $t$ , дает существенно отличные друг от друга результаты.

На основании анализа технического оснащения и перспективных объемов перевозок выявлена возможность осуществления необходимых мероприятий по увеличению пропускной и провозной способности на участках линии Т–У–М. Это строительство дополнительных разъездов, удлинение станционных приемоотправочных путей, оборудование линии автоблокировкой, строительство двухпутной вставки.

Согласно результатам технико-экономических расчетов, для участка Т–У–М установлены тенденции увеличения пропускной и провозной способ-

ности, определена оптимальная схема реализации мероприятий на ближайшие 10 лет.

Разработанная методика минимизации затрат для развития пропускной способности на однопутном участке (полигоне) Т–У–М АО «Узбекистан темир йуллари» позволяет оптимизировать условия для роста вагонопотока, и ее можно использовать на подобных участках железных дорог.

#### Литература

1. Белова В. В., Серова Д. С. Определение факторов, влияющих на пропускную способность железнодорожных участков // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Т. 1. – Хабаровск : ДВГУПС, 2017. С. 124–128.
2. Макарошкин А. М., Дьяков Ю. В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. – М. : Транспорт, 1981. – 287 с.
3. Беседин А. И. Методы анализа наличной пропускной способности железнодорожных участков при временных ограничениях скоростей движения поездов: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – М. : МИИТ, 2009. – 24 с.
4. Абдуллаев Ж. Я. Выбор этапов развития новой железнодорожной линии // Дис. ... магистра. – Ташкент : ТаШИИТ, 2010. – 112 с.
5. Левин Д. Ю., Павлов В. Л. Расчет и использование пропускной способности железных дорог. – М. : Учеб.-метод.

центр образования на железнодорожном транспорте, 2011. – 364 с.

6. Балжир М. Обоснование освоения перспективных объемов перевозок на Монгольской железной дороге: автореф. дис. ... канд. тех. наук. – М. : МИИТ, 2016. – 16 с.
7. Агапова Ю. Ю., Одуденко Т. А. Анализ эффективности мероприятий поэтапного увеличения провозной и пропускной способности однопутных участков Дальневосточной железной дороги // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 3. № 5 (35). С. 114–117.
8. Правдин Н. В., Дыканюк М. Л., Негрей В. Я. Прогнозирование грузовых потоков. – М. : Транспорт, 1987. – 287 с.
9. Сотников Е. А., Шенфельд К. П. Стратегическое прогнозирование состояния сложной производственной системы – железнодорожный транспорт // Вестн. ВНИИЖТ. 2017. № 5. С. 255–265.
10. Мачерет Д. А., Ледней А. Ю. Перспективы развития транспортной инфраструктуры // Транспорт РФ. 2018. № 5 (78). С. 16–22.
11. Пехтеров Ф. С. С учетом прогнозов социально-экономического развития страны // Железнодорожный транспорт. 2016. № 5. С. 14–19.
12. Ефименко Ю. И., Рыбин П. К., Олейникова Л. А. Исходные положения теории оптимизации этапности развития станций и узлов // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом / под ред. д. т. н. Ю. И. Ефименко. Вып. 8.