

УДК 656.212;625.1

*ВАН ЮЙБЯНЬ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель  
alerof@tut.by*

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ ВЛИЯНИЕ НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Установлены факторы, оказывающие влияние на пропускную способность железнодорожной линии при организации высокоскоростного движения поездов: скорости движения поездов различных классов и их сочетания, режимы остановок поездов, доли поездов разных категорий в графике движения поездов. Предложены методики выполнения аналитических расчетов величины изменения пропускной способности в зависимости от значимых факторов. Выполнено математическое моделирование и установлены аналитические зависимости изменения пропускной способности в зависимости от значимых факторов.

Организация высокоскоростного движения пассажирских поездов по существующей инфраструктуре предполагает распределение пропускной способности между различными категориями поездов. Целью исследования является определение факторов и их влияние на наличную пропускную способность железнодорожного участка. В качестве наиболее значимых факторов рассматриваются ходовые скорости и их сочетания для различных категорий поездов, количество остановок и продолжительность остановок.

К наиболее значимым факторам, оказывающим влияние на участковую скорость движения поездов можно отнести следующие.

1 Ходовая скорость движения поездов.

В данной работе в качестве объекта исследования рассмотрены две категории поездов: высокоскоростные поезда, следующие с ходовыми скоростями 250 и 200 км/ч (далее – категория *A*) и скоростные поезда – 180 км/ч и 160 км/ч; 140 км/ч и 120 км/ч – категория *B*.

2 Количество остановок и время, затрачиваемое на остановки.

При организации движения пассажирских поездов решается технико-экономическая задача по определению рационального количества остановок поезда в пути следования. Очевидно, чем больше количество остановок, тем больше величина потенциально обслуживаемого пассажиропотока, но тем меньше участковая скорость. При организации движения поездов категорий *A* и *B* на одной железнодорожной линии принимается, что высокоскоростные поезда делают остановки реже, чем скоростные. При этом в качестве

параметра, характеризующего удельное влияние времени, затрачиваемого на стоянки, предлагается использовать коэффициент участковых скоростей  $\beta_x$ .

3 Соотношение количества поездов  $A$  и  $B$  в графике и их ходовых скоростей движения.

Несмотря на то, что данное соотношение не влияет на ходовую скорость каждой из категорий поездов (за исключением случаев, когда поезда категории  $B$  вынуждены делать остановки для обгона поездами категории  $A$ ), оно оказывает непосредственное влияние на среднюю участковую скорость на рассматриваемом направлении.

Таким образом, для того, чтобы рассчитать участковую скорость движения поездов классов  $A$  и  $B$ , необходимо установить среднее время остановки и количество остановок поездов классов  $A$  и  $B$ .

Для этих целей предлагается следующая методика расчета.

Пусть  $v_A$  – скорость движения класса  $A$ , а  $v_B$  – скорость движения класса  $B$ .  $T_A$ ,  $T_B$  обозначают чистое время движения поездов классов  $A$  и  $B$ , которое можно получить, разделив маршрутное расстояние на скорость движения:  $T_A = L/v_A$ ;  $T_B = L/v_B$ . В данной статье  $v_A$  и  $v_B$  принимаются равными установленным ходовым скоростям. Коэффициенты ходовых скоростей могут быть рассчитаны по формулам

$$\beta_A = \frac{T_A}{T_A + k_A(T_{\text{ост}} + \Delta t)}; \quad \beta_B = \frac{T_B}{T_B + k_B(T_{\text{ост}} + \Delta t')}. \quad (1)$$

где  $T_{\text{ост}} + \Delta t$  – продолжительность одной остановки поезда, включая затраты времени на посадку-высадку пассажиров, дополнительные затраты времени на разгоны и замедления;  $k_A$ ,  $k_B$  – количество остановок на участке для поездов соответственно классов  $A$  и  $B$ .

Тогда средняя участковая скорость может быть определена по формуле

$$\bar{v} = \frac{L}{(1 - a_B)(T_A + k_A(T_{\text{ост}} + \Delta t)) + a_B(T_B + k_B(T_{\text{ост}} + \Delta t'))}, \quad (2)$$

где  $a_B$  – доля поездов категории  $B$ .

Оценим влияние расстояния между станциями остановки поездов на участковую скорость движения.

Предположим, что существует 5 пассажирских участков различной длины от 50 до 250 км. На каждом пассажирском участке имеется 1 промежуточная станция. Коэффициент остановки для поездов класса  $A$  на промежуточной станции составляет 0,3, коэффициент остановки для поездов  $B$  – 0,7. Дополнительное время на разгоны и замедления для поездов  $A$  составляет 5 мин; для поездов  $B$  – 3 мин. Продолжительность стоянки для посадки-высадки пассажиров для поездов  $A$  составляет 2 мин, а для поездов  $B$  – 5 мин. Рассчитаем участковую скорость для каждой категории поездов и в целом для участка (таблицы 1, 2).

**Таблица 1 – Зависимость участковых скоростей движения поездов от расстояния между техническими станциями и от ходовой скорости (без остановок)**

Расстояние, км	$v_A = 250$		$v_A = 200$		$v_B = 180$		$v_B = 160$		$v_B = 140$		$v_B = 120$	
	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$
50	176,5	0,71	150,0	0,75	152,5	0,85	137,9	0,86	122,8	0,63	107,1	0,71
100	206,9	0,83	171,4	0,86	165,1	0,92	148,1	0,93	130,8	0,77	113,2	0,83
150	219,5	0,89	180,0	0,90	169,8	0,94	151,9	0,95	133,8	0,84	115,4	0,88
200	226,4	0,91	184,6	0,92	172,2	0,96	153,8	0,96	135,3	0,87	116,5	0,91
250	230,8	0,92	187,5	0,94	173,7	0,97	155,0	0,97	136,2	0,90	117,2	0,93

**Таблица 2 – Зависимость участковых скоростей движения поездов от расстояния между техническими станциями и от ходовой скорости (одна остановка)**

Длина участка, км	$v_A = 250$		$v_A = 200$		$v_B = 180$		$v_B = 160$		$v_B = 140$		$v_B = 120$	
	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$	$v_{уч}$ , км/ч	$\beta_x$
50	157,9	63,2	136,4	68,2	121,6	70,4	112,1	72,8	101,9	42,4	90,9	51,7
100	193,5	77,4	162,2	81,1	145,2	82,6	131,9	84,3	118,0	59,5	103,4	68,2
150	209,3	83,7	173,1	86,5	155,2	87,7	140,1	88,9	124,5	68,8	108,4	76,3
200	218,2	87,3	179,1	89,6	160,7	90,5	144,6	91,5	128,0	74,6	111,1	81,1
250	223,9	89,6	182,9	91,5	164,2	92,3	147,4	93,1	130,3	78,6	112,8	84,3

На основании сравнения таблиц 1 и 2 можно сделать вывод, что добавление остановок на промежуточных станциях уменьшит значения участковых скоростей для всего диапазона исследуемых расстояний между техническими станциями. Поскольку коэффициент остановки поездов класса *A* меньше, чем у поездов класса *B*, сравнение значений коэффициентов в таблицах 1 и 2 показывает, что значения коэффициентов скорости движения поездов класса *B* уменьшаются в большей степени, это свидетельствует о том, что добавление промежуточных станций оказывает большее влияние на значения скорости поездов класса *B*.

Изменяя уравнение (1), можно найти наименьшую длину зоны, чтобы гарантировать приемлемое значение коэффициента скорости *A*, *B*.

$$L > \frac{\beta(T_{ост} + k(T_{ост} + \Delta t))v}{60(1-\beta)}. \quad (3)$$

Для того чтобы коэффициент ходовой скорости был выше 0,75 (китайский стандарт составляет около 0,85 для поездов класса *B*), необходимо установить наименьшее расстояние между станциями остановок поездов (таблица 3).

**Таблица 3 – Зависимость минимального рекомендованного расстояния между техническими станциями от ходовой скорости и количества промежуточных станций**

$k$	$v_A = 250$	$v_A = 200$	$v_B = 180$	$v_B = 160$	$v_B = 140$	$v_B = 120$
0	62,5	50,0	27	24	21	18
1	150,0	120,0	99	88	77	66
2	237,5	190,0	171	152	133	114
3	325,0	260,0	243	216	189	162

Как видно из таблицы 3, чем выше ходовая скорость, тем больше минимальное расстояние между начальной и конечной станциями маршрута должно быть для обеспечения приемлемого значения коэффициента скорости, и чем больше количество остановок, тем больше длина маршрута. При этом для скоростей движения 250 км/ч минимальное расстояние между остановочными пунктами должно составлять не менее 62,5 км.

Оценим влияние доли поездов класса  $B$  на участковую скорость поездов.

Соотношение количества поездов классов  $A$  и  $B$  оказывает непосредственное влияние на среднюю участковую скорость движения всех поездов в зоне обслуживания и определяет, насколько быстро или медленно перевозятся пассажиры. Величина средней скорости движения анализируется путем изменения доли поездов категорий  $A$  и  $B$ .

В таблице 4 приведены результаты расчета средней участковой скорости движения при различных пропорциях между количеством поездов категорий  $A$  и  $B$ . При выполнении расчетов принималось, что длина участка составляет 150 км, и поезда могут делать одну остановку в пути следования.

**Таблица 4 – Зависимость средней участковой скорости от доли поездов категории  $B$  и значений ходовых скоростей**

$a_B$	$v_A = 250$	$v_A = 250$	$v_A = 250$	$v_A = 250$	$v_A = 200$	$v_A = 200$	$v_A = 200$	$v_A = 200$
	$v_B = 180$	$v_B = 160$	$v_B = 140$	$v_B = 120$	$v_B = 180$	$v_B = 160$	$v_B = 140$	$v_B = 120$
0	209,3	209,3	209,3	209,3	173,1	173,1	173,1	173,1
0,1	202,2	199,4	196,0	191,5	171,1	169,1	166,6	163,3
0,2	195,7	190,5	184,2	176,5	169,2	165,3	160,6	154,6
0,3	189,5	182,3	173,8	163,6	167,3	161,7	154,9	146,8
0,4	183,7	174,8	164,5	152,5	165,4	158,2	149,7	139,8
0,5	178,2	167,8	156,1	142,9	163,6	154,8	144,8	133,3
0,6	173,1	161,4	148,6	134,3	161,9	151,6	140,2	127,5
0,7	168,2	155,5	141,7	126,8	160,1	148,6	136,0	122,1
0,8	163,6	150,0	135,5	120,0	158,5	145,6	131,9	117,2
0,9	159,3	144,9	129,8	113,9	156,8	142,8	128,1	112,6
1,0	155,2	140,1	124,5	108,4	155,2	140,1	124,5	108,4

Результаты расчетов графически представлены на рисунке 1.

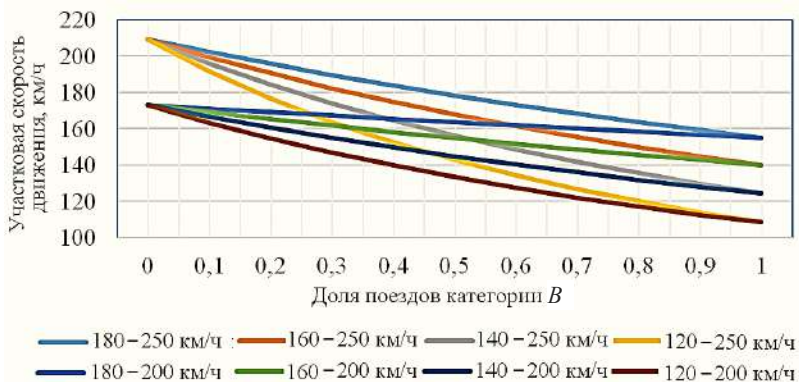


Рисунок 1 – Зависимость средней участковой скорости от доли поездов категории B и значений ходовых скоростей

Как видно из таблицы 4 и рисунка 1, на среднюю участковую скорость движения в большей мере влияет ходовая скорость движения поездов категорий A и B, а соотношение количества таких поездов влияет в меньшей степени. При этом сценарии 200–160 км/ч и 200–140 км/ч имеют более высокие значения средней скорости движения, чем сценарий 250–120 км/ч. Таким образом, при постановке скоростей движения пассажирских поездов рекомендуется одновременно решать задачу повышения скорости движения поездов не только класса A, но и класса B. В противном случае средняя участковая скорость движения поездов может оказаться ниже расчетной.

Организация движения высокоскоростных поездов по действующей инфраструктуре неизбежно связана со снижением пропускной способности для пропуска поездов других категорий. Одним из методов снижения коэффициента съема поездов является выбор рациональных сочетаний скоростей движения поездов различных категорий. На пропускную способность железнодорожных участков оказывает влияние ряд технических и технологических параметров. Рассмотрим основные из них.

1 Количество категории поездов и разница в ходовых скоростях движения.

При организации движения поездов различных категорий возникают обгоны менее скоростных поездов более скоростными. При этом чем больше разница в ходовых скоростях движения, тем меньшее расстояние проходят поезда без обгонов. Разница в скорости движения поездов приводит к тому, что поезда класса A обгоняют поезда класса B, что снижает пропускную способность железнодорожного участка.

2 Доля поездов различных типов.

Изменение пропорций различных типов поездов напрямую влияет на величину пропускной способности. Если данные сочетания не сбалансирова-

ны, невозможно организовать подряд отправление поездов одной категории (организовать период с параллельным графиком), что приводит к снижению пропускной способности.

3 Остановки поездов для посадки-высадки пассажиров.

Остановка высокоскоростных поездов создает дополнительное время занятия графика движения поездов и увеличивает коэффициент основного съема. При этом при увеличении количества остановок высокоскоростных поездов, несмотря на сближение участков скоростей движения поездов различных категорий, фактический коэффициент съема возрастает.

4 Длина участка.

Длина участка влияет на время хода поездов по участку. Чем длиннее участок, тем больше разница между временем хода поездов класса  $A$  и поездов класса  $B$ , тем больше коэффициент съема для поездов класса  $B$  и тем меньше пропускная способность.

Аналитический метод расчета пропускной способности при непараллельном графике предполагает определение пропускной способности при параллельном графике и распределение ее между поездами в соответствии с коэффициентами съема поездов. Пропускную способность при параллельном графике можно рассчитать по формуле

$$N = \frac{1440 - t_{\text{техн}}}{T_{\text{пер}}} \cdot \alpha_n, \quad (4)$$

где  $T_{\text{пер}}$  – период графика, мин;  $t_{\text{техн}}$  – продолжительность технологического окна, мин;  $\alpha_n$  – коэффициент надежности работы технических устройств.

Коэффициент съема высокоскоростных поездов класса  $A$   $\varepsilon_A$  связан с временем стоянки на промежуточной станции участка (при ее наличии), дополнительными затратами времени на разгоны и замедления и значением межпоездного интервала. По сравнению с существующей системой организации движения поездов время стоянки и дополнительные затраты времени на замедления и разгоны оказывают значительное влияние на коэффициент съема. Влияние остановки на пропускную способность можно выразить как  $\Delta t / I$ . Время, приходящееся на одну остановки поезда  $\Delta t$  можно выразить

$$\Delta t = t_3 + t_{\text{ст}} + t_p, \quad (5)$$

где  $t_{\text{ст}}$  – время стоянки поезда класса  $A$ ;  $t_p$  и  $t_3$  – дополнительные затраты времени соответственно на разгон и замедление.

Тогда основной коэффициент съема при условии одной остановки поезда на участке

$$\varepsilon_A = 1 + \Delta t / I. \quad (6)$$

Поскольку на практике поезда класса  $A$  имеют более высокую маршрутную скорость и только для части из них предусматриваются остановки на маршруте следования, коэффициент съема будет иметь вид

$$\varepsilon_A = 1 + x_A \Delta t / I. \quad (7)$$

где  $x_A$  – доля остановок поезда;  $\Delta t$  – среднее время остановки поезда.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что при организации высокоскоростного движения чем больше остановок в пути следования предусматривается для поездов класса  $A$ , тем ниже будет пропускная способность участка. На коэффициент съема поездов класса  $B$   $\varepsilon_B$  влияет большее количество факторов, чем класса  $A$ .

В случае, когда доля поездов класса  $B$  меньше или равна 0,5, т. е. когда количество курсирующих поездов класса  $B$  меньше, чем количество поездов класса  $A$ , пакетная прокладка поездов класса  $B$  не рассматривается. В таком случае основной коэффициент съема для поездов класса  $B$  может быть выражен как

$$\varepsilon_B = \frac{I_{\text{отпр}} + I_{\text{приб}} + t_{\text{разница}} + x_B \Delta t}{I} - 1 = 1 + \frac{t_{\text{разница}} + x_B \Delta t}{I}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{разница}} = \left( \frac{L}{v_B} - L / v_a \right)$  выражает разницу во времени хода поездов по участку длиной  $L$ .

Когда  $a_B > 0,5$ , т. е. когда количество курсирующих поездов класса  $B$  больше, чем количество поездов класса  $A$ , может возникнуть ситуация, при которой поезда класса  $B$  идут друг за другом в пакете, тем самым формируя фрагмент параллельного графика движения поездов. В соответствии с предпосылкой пропорциональной укладки максимальное количество поездов, следующих в пакете,  $z = a / (1 - a)$ . В таком случае основной коэффициент съема поездов класса  $B$  можно рассчитать по формуле

$$\begin{aligned} \varepsilon_B &= \frac{I_{\text{отпр}} + I_{\text{приб}} - I + t_{\text{разница}} + (z - I)I_{\text{след}} + z x_B \Delta t'}{zI} - 1 = 1 + \frac{t_{\text{разница}} + x_B \Delta t'}{I} = \quad (9) \\ &= \frac{I_{\text{след}}}{I} + \frac{I - I_{\text{след}} + t_{\text{разница}} + z x_B \Delta t'}{zI}. \end{aligned}$$

Из уравнения (9) следует, что значение  $z$  стремится к бесконечности, когда  $a$  стремится к 1. Тогда

$$\begin{aligned} \lim_{z \rightarrow \infty} \varepsilon_B &= \frac{I_{\text{след}}}{I} + \frac{I - I_{\text{след}} + t_{\text{разница}}}{zI} + x_B \frac{\Delta t'}{I} = \\ &= \frac{I_{\text{след}}}{I} + x_B \frac{\Delta t'}{I} + \lim_{z \rightarrow \infty} \varepsilon_B (I - I_{\text{след}} + t_{\text{разница}}) = \frac{I_{\text{след}}}{I} + x_B \frac{\Delta t'}{I}. \quad (10) \end{aligned}$$

Когда  $a_B = 1$ , т. е. когда все курсирующие поезда являются поездами класса  $B$ , максимальная пропускная способность высокоскоростной железнодорожной линии равна значению пропускной способности при параллельном графике и зависит от минимального интервала отправления поездов в пакете  $I_{\text{след}}$ . Тогда для поездов класса  $B$ , имеющих остановки на части станций участка коэффициент съема

$$\varepsilon_B = \frac{I_{\text{след}}}{I} + x_B \frac{\Delta t'}{I}, \quad (11)$$

где  $x_B$  – коэффициент остановок;  $\Delta t'$  – время остановки поездов класса  $B$ .

Результирующая пропускная способность участка при организации движения поездов классов  $A$  и  $B$

$$N_{AB} = \frac{1440 - T_{\text{тех}}}{I(a_B \varepsilon_B + (1 - a_B) \varepsilon_A)}. \quad (12)$$

Из уравнения (12) видно, что на пропускную способность влияют не только коэффициенты съема поездов  $\varepsilon_A$  и  $\varepsilon_B$ , но и доля поездов класса  $B$ , равная  $a_B$ . Поэтому необходимо эффективно согласовать скорости движения поездов  $A$  и  $B$ , а также их количество и расположение на графике.

Оценим влияние различных сочетаний скоростей движения поездов классов  $A$  и  $B$  на условном примере. При расчете принимаем, что высокоскоростные поезда класса  $A$  следуют со скоростями 250 км/ч, 200 км/ч; а скоростные поезда класса  $B$  – 180 км/ч, 160 км/ч, 140 км/ч и 120 км/ч. Поезда 6 классов образуют 8 сочетаний. При расчетах длины участков принимаем равными от 50 до 250 км с шагом 50 км, что характерно для условий Белорусской железной дороги.

Для поездов класса  $A$  межпоездной интервал составляет 4 минуты, дополнительное время на разгоны и замедления – 3 и 2 минуты соответственно, а время одной стоянки  $A$  – 2 минуты. Для поездов класса  $B$  межпоездной интервал составляет 5 минут, дополнительное время на разгон и замедление – 2 минуты и 1 минута соответственно, а время стоянки – 5 минут.

Определим чистые времена хода поездов по участкам различной длины (таблица 5).

**Таблица 5 – Расчетная таблица чистых времен хода поездов по участкам**

Длина участка, км	Чистое время хода $T_A, T_B$ , км/ч					
	250	200	180	160	140	120
50	12,00	15,00	16,67	18,75	21,43	25,00
100	24,00	30,00	33,33	37,50	42,86	50,00
150	36,00	45,00	50,00	56,25	64,29	75,00
200	48,00	60,00	66,67	75,00	85,71	100,00
250	60,00	75,00	83,33	93,75	107,14	125,00



Для каждого сценария определяем  $t_{\text{разница}}$  (таблица 6).

Если предположить, что доля поездов класса  $B$  составляет  $a_B = 30\%$ , а процент остановки поездов класса  $A$  составляет  $x = 30\%$ , то пропускная способность каждого участка определяется по таблице 7.

Таблица 6 – Разница во времени хода поездов по участку для каждого сценария

Длина участка, км	$v_A = 250$ $v_B = 180$	$v_A = 250$ $v_B = 160$	$v_A = 250$ $v_B = 140$	$v_A = 250$ $v_B = 120$	$v_A = 200$ $v_B = 180$	$v_A = 200$ $v_B = 160$	$v_A = 200$ $v_B = 140$	$v_A = 200$ $v_B = 120$
	50	4,67	6,75	9,43	13,00	1,67	3,75	6,43
100	9,33	13,50	18,86	26,00	3,33	7,50	12,86	16,67
150	14,00	20,30	28,29	39,00	5,00	11,30	19,29	25,00
200	18,67	27,00	37,71	52,00	6,67	15,00	25,71	33,33
250	23,33	33,80	47,14	65,00	8,33	18,80	32,14	41,67

Таблица 7 – Пропускная способность участка для различных сценариев

Длина участка, км	$v_A = 250$ $v_B = 180$	$v_A = 250$ $v_B = 160$	$v_A = 250$ $v_B = 140$	$v_A = 250$ $v_B = 120$	$v_A = 200$ $v_B = 180$	$v_A = 200$ $v_B = 160$	$v_A = 200$ $v_B = 140$	$v_A = 200$ $v_B = 120$
	50	133	125	116	106	146	137	126
100	117	105	93	81	139	123	107	98
150	104	90	78	65	132	111	92	82
200	94	79	67	55	126	101	81	71
250	85	71	58	47	120	93	73	63

Графически результаты расчета представлены на рисунке 2.

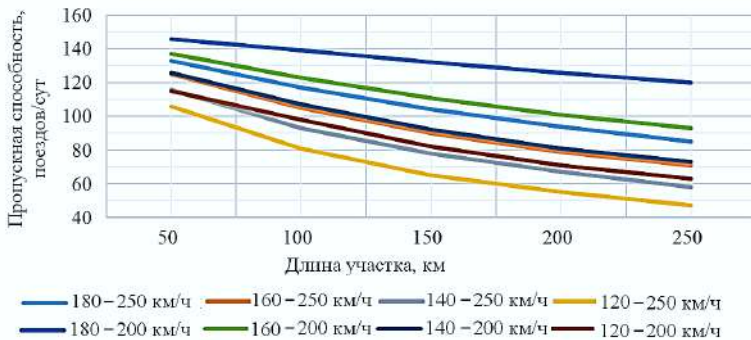


Рисунок 2 – Зависимости пропускной способности от длины железнодорожного участка и сочетаний скоростей движения поездов

Из данных таблицы 7 и рисунка 2 можно сделать вывод, что максимальная пропускная способность обеспечивается при наименьшей разнице скоростей движения поездов различных классов (200–180 км/ч), а минимальная пропускная способность – при сочетании скоростей 250–120 км/ч. При этом чем больше длина участка, который поезда проследуют без остановок, тем

меньше пропускная способность (при условии построения безобгонного графика движения поездов).

Оценим влияние доли поездов категории *B* на пропускную способность. Для этого используем формулу (12). Предположим, что имеется участок, длиной 100 км. Определим для него значения пропускной способности при различных соотношениях количества поездов классов *A* и *B*. Результаты расчета приведены в таблице 8 и на рисунке 3.

Таблица 8 – Пропускная способность железнодорожного участка в зависимости от доли поездов класса *B*

Пропорция $a_B$	В поездах в сутки							
	$v_A = 250$ $v_B = 180$	$v_A = 250$ $v_B = 160$	$v_A = 250$ $v_B = 140$	$v_A = 250$ $v_B = 120$	$v_A = 200$ $v_B = 180$	$v_A = 200$ $v_B = 160$	$v_A = 200$ $v_B = 140$	$v_A = 200$ $v_B = 120$
0	196	196	196	196	196	196	196	196
0,1	162	154	145	134	175	166	155	149
0,2	138	127	115	83	158	144	129	120
0,3	121	108	96	83	144	127	110	100
0,4	107	94	82	69	133	114	96	86
0,5	96	83	71	60	123	103	85	76
0,6	101	90	78	67	124	107	91	82
0,7	106	97	86	76	124	111	98	90
0,8	112	105	97	88	125	116	106	100
0,9	119	115	110	104	126	121	116	112
1,0	127	127	127	127	127	127	127	127

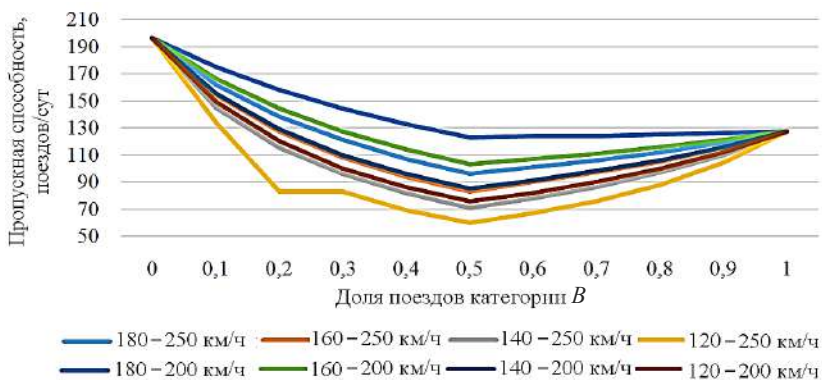


Рисунок 3 – Зависимость пропускной способности железнодорожного участка от доли поездов класса *B*

Как видно из рисунка 3, для любого сценария по мере увеличения доли поездов класса *B*, пропускная способность интервала становится меньше, достигая минимума, когда доля поездов класса *B* составляет 50 %. После

этого значения пропускная способность возрастает. Подобные зависимости характерны для участков любой длины.

Оценим влияние доли остановок поездов класса  $A$  на пропускную способность. При организации высокоскоростного движения большее количество остановок для поездов класса  $A$  увеличивает частоту обслуживания станций, но при этом увеличивается время на остановки поездов класса  $A$ , время в пути и снижается скорость движения поездов класса  $A$ . С использованием формул (7)–(12) выполним расчет для описанных выше условий: длина участка 100 км, а доля поездов  $B$   $a_B = 0,3$ . Результаты моделирования приведены в таблице 9 и на рисунке 4.

Таблица 9 – Взаимосвязь между процентом остановок поездов класса  $A$  и пропускной способностью

Пропорция $x_A$	$v_A = 250$ $v_B = 180$	$v_A = 250$ $v_B = 160$	$v_A = 250$ $v_B = 140$	$v_A = 250$ $v_B = 120$	$v_A = 200$ $v_B = 180$	$v_A = 200$ $v_B = 160$	$v_A = 200$ $v_B = 140$	$v_A = 200$ $v_B = 120$
	0,0	162	144	126	109	196	171	147
0,1	156	140	123	106	188	165	142	129
0,2	151	135	120	103	180	159	137	126
0,3	146	131	116	101	173	153	133	122
0,4	141	128	113	99	167	148	129	119
0,5	137	124	111	97	161	143	126	116

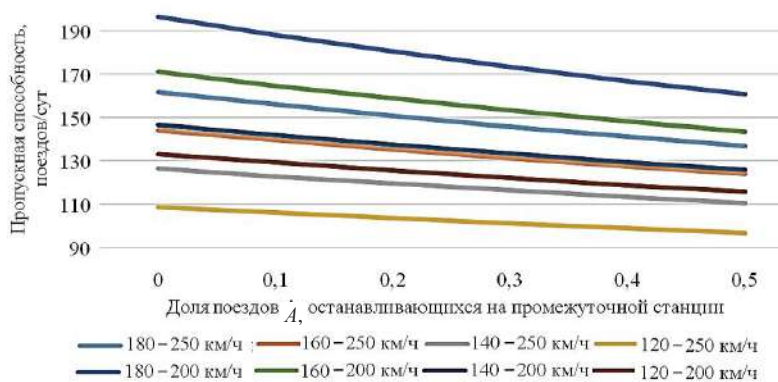


Рисунок 4 – Зависимость между процентом остановок поездов класса  $A$  и пропускной способностью

Из данных таблицы 9 и рисунка 4 видно, что для любого из сценариев пропускная способность зоны уменьшается по мере увеличения доли остановок поездов класса  $A$ .

Таким образом, в результате аналитического моделирования получен ряд зависимостей изменения пропускной способности железнодорожного участка от параметров поездопотоков. Количественно установлено влияние

факторов на пропускную способность участка. Полученные закономерности могут быть использованы на стадии формирования предпроектных решений при организации высокоскоростного движения поездов как по существующей инфраструктуре, так и проектируемых железнодорожных линий.

WANG YUBIAN

## **ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE THROUGHPUT OF A RAILWAY SECTION WHEN ORGANIZING HIGH-SPEED TRAFFIC**

The factors influencing the throughput of the railway line when organizing high-speed train traffic are established: the speed of movement of trains of various classes and their combinations, modes of train stops, the proportion of trains of different categories in the train schedule. Methods for performing analytical calculations of the amount of change in throughput depending on significant factors are proposed. Mathematical modeling has been carried out and analytical dependences of changes in throughput depending on significant factors have been established.

Получено 07.10.2021

---

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития  
железнодорожных станций и узлов. Вып. 3. Гомель, 2021

---

УДК 51-7: 656.2

*T. A. ВЛАСЮК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель  
vlasiuk.ta@gmail.com*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЦЫ АНСОФФА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО СООБЩЕНИЯ**

Предложено применение матрицы Ансоффа в качестве инструмента повышения эффективности работы железнодорожного транспорта при обслуживании пассажиров в межрегиональном сообщении. Рассмотрены отличительные особенности метода, который позволяет найти оптимальное решение при его практическом применении исходя из конкретных условий, что повышает эффективность стратегического планирования и конкурентоспособность железнодорожного транспорта.

В настоящее время очень высокая степень конкуренции между различными видами транспорта, особенно железнодорожным и автомобильным, который сегодня не только прочно занимает свою нишу на рынке транспортных услуг,