

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (275)

УДК 625.11

ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЛИНИЯХ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО СООБЩЕНИЯ

Канд. техн. наук Г. В. Ахраменко, старш. преп. Т. А. Дубровская

ОСОБЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ЗАЛІЗНИЧНИХ ЛІНІЯХ МІЖРЕГІОНАЛЬНОГО СПОЛУЧЕННЯ

Канд. техн. наук Г. В. Ахраменко, старш. викл. Т. О. Дубровська

FEATURES OF TRAINING MOVEMENT OF TRAINS ON RAILWAY LINES OF INTERREGIONAL COMMUNICATION

PhD (Tech.) G. V. Akhramenko, senior lecturer T. A. Dubrovskaya

Скорость движения пассажирских поездов является важнейшим показателем качества пассажирских перевозок. Для успешной интеграции Белорусской железной дороги в мировой транспортный рынок необходимо развитие скоростного пассажирского движения, что позволит поднять качество предоставляемых транспортных услуг на более высокий уровень. Повышение скорости в пассажирском сообщении делает железную дорогу конкурентоспособной с другими видами транспорта. Ближайшая скоростная перспектива – 160 км/ч.

С повышением участковой скорости в пассажирском движении ускоряется доставка пассажиров и улучшается их обслуживание. Однако повышение скорости не только обеспечивает экономию, но и вызывает дополнительные транспортные затраты. Их величина зависит от того, за счет каких мероприятий обеспечивается рост скоростей. При росте технической скорости повышаются расходы топлива (электроэнергии) на тягу, растут издержки по содержанию подвижного состава, верхнего строения пути. Поэтому при расчете общей экономии от увеличения скорости необходимо учитывать и дополнительные затраты, вызываемые ростом скорости. В отдельных случаях их величина не ограничивается только эксплуатационными расходами. Так, если рост скорости будет обеспечиваться за счет усиления верхнего строения пути или внедрения более мощных локомотивов, дороге потребуются дополнительные инвестиции.

В статье рассмотрен метод увеличения скорости движения на железнодорожных линиях межрегионального сообщения с учетом их особенностей. В данном случае, учитывая небольшую протяженность железнодорожных направлений, связывающих столицу Республики Беларусь г. Минск с областными центрами, увеличение скорости только за счет модернизации железнодорожного пути эффекта не даст. Поэтому предлагается комплексный подход к решению данной проблемы – увеличение скорости движения за счет модернизации и организационно-технических мероприятий.

Ключевые слова: железнодорожные линии, скорость, модернизация, расходы, задачи.

Швидкість руху пасажирських поїздів є найважливішим показником якості пасажирських перевезень. Для успішної інтеграції Білоруської залізниці у світовий транспортний ринок необхідний розвиток швидкісного пасажирського руху, що дозволить підняти якість транспортних послуг на більш високий рівень. Підвищення швидкості в пасажирському сполученні робить залізницю конкурентоспроможною з іншими видами транспорту. Найближча швидкісна перспектива – 160 км/год.

З підвищенням дільничної швидкості в пасажирському русі прискорюється доставка пасажирів і поліпшується їхнє обслуговування. Однак підвищення швидкості не тільки забезпечує економію, але викликає додаткові транспортні витрати. Їхня величина залежить від того, за рахунок яких заходів забезпечується зростання швидкостей. При зростанні технічної швидкості підвищуються витрати палива (електроенергії) на тягу, збільшуються витрати на утримання рухомого складу, верхньої будови колії. Тому при розрахунку загальної економії від збільшення швидкості необхідно враховувати і додаткові витрати, викликані зростанням швидкості. В окремих випадках їхня величина не обмежується тільки експлуатаційними витратами. Так, якщо зростання швидкості буде забезпечуватися за рахунок посилення верхньої будови колії або впровадження більш потужних локомотивів, залізниці будуть потрібні додаткові інвестиції.

У статті розглянуто метод збільшення швидкості руху на залізничних лініях міжрегіонального сполучення з урахуванням їхніх особливостей. У даному випадку з огляду на невелику протяжність залізничних напрямків, що зв'язують столицю Республіки Білорусь м. Мінськ з обласними центрами, збільшення швидкості тільки за рахунок модернізації залізничної колії ефекту не дасть. Тому пропонується комплексний підхід до вирішення даної проблеми – збільшення швидкості руху за рахунок модернізації і організаційно-технічних заходів.

Ключові слова: залізничні лінії, швидкість, модернізація, витрати, завдання.

Speed of the movement of passenger trains is the most important indicator of quality of passenger traffic. Successful integration of the Belarusian railroad into the world transport market requires development of high-speed passenger traffic that will allow to lift quality of the provided transport services to higher level. Increase in speed in passenger traffic does the railroad competitive with other means of transport. The near-term high-speed outlook – 160 km/h.

With increase in local speed in passenger traffic delivery of passengers accelerates and their service improves. However increase in speed not only provides economy, but causes additional transport expenses. Their size depends on through what actions growth of speeds is provided. With a growth of technical speed fuel consumption (electric power) on draft increase, costs for the maintenance of the rolling stock, the top structure of a way grow. Therefore when calculating the general savings from increase in speed it is necessary to consider also the additional expenses caused by growth of speed. In some cases their size isn't limited only to operational costs. So, if growth of speed is provided due to strengthening of the top structure of a way or introduction of more powerful locomotives, the road will need additional investments.

In article the method of increase in speed of the movement on railway lines of the interregional message taking into account their features is considered. In this case considering small extent railway the directions, connecting the capital of Republic of Belarus Minsk with the regional centers, increase in speed only due to modernization of a railway track of effect won't give. Therefore an integrated approach to the solution of this problem – increase in speed of the movement for the account of modernization and organizational and technical actions is offered.

Keywords: railway lines, speed, modernization, costs, tasks.

Введение. Возрастание скорости движения пассажирских поездов дает большой экономический эффект, выражающийся в увеличении провозной способности линий, снижении эксплуатационных расходов, уменьшении затрат трудовых ресурсов (локомотивных и поездных бригад), сокращении потребного парка вагонов и локомотивов, затрат на топливо и электроэнергию.

Социально-экономический рост сопровождается повышением спроса на высокоскоростной транспорт, поскольку обеспечивает гражданам страны свободу перемещения с минимальными временными затратами.

Необходимым условием повышения скоростей движения на железнодорожных линиях межрегионального сообщения является возможность достижения времени нахождения пассажира в пути, не превышающего максимально допустимого, принятого из условия обеспечения минимальной утомляемости организма и равного 3-5 часам в одну сторону [2].

Достижение этого условия может быть осуществлено по двум направлениям:

- совершенствование параметров постоянных устройств за счет модернизации, в результате которой можно достичь заданного сокращения времени хода и которая при необходимости включает и реконструкцию;

- осуществление организационно-технических мероприятий, при которых экономия во времени достигается путем отмены остановок на отдельных пунктах, дающих незначительное пополнение пассажиропотока.

Теоретические основы методики повышения скоростей движения за счет модернизации, не исключающей и реконструкцию, изложены в работах [3, 4]. Но эти методики характерны для железнодорожных линий большой протяженности. Для направлений межрегионального сообщения, имеющих небольшую протяженность, указанная выше методика неприемлема. Для таких

направлений разработана модель решения задачи, которая приведена в работе [5].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ зарубежной литературы показал, что накоплен значительный мировой опыт по повышению скоростей движения пассажирских поездов. Лидерами в этой области являются Япония и Франция.

Проблема повышения скорости движения поездов интересовала, помимо зарубежных ученых, также и наших соотечественников. Этой проблемой занимались такие видные ученые, как Турбин И. В., Кантор И. И., Харина Е. В. [3], Селезнева Н. Е. [4], Курган Д. Н. [7] и др. За рубежом эту проблему решали также многие ученые, среди которых Keith Barrow [10], Levinson David M [11] и др.

Современные исследования показали, что расчет повышения скоростей движения тесно связан с математическими методами и расчетами. Одними из эффективных современных методов расчета сокращения времени хода являются математические методы, основанные на принципах условной оптимизации.

Определение цели и задачи исследования. Повышение скоростей пассажирских поездов – одно из приоритетных направлений научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте.

Основной задачей исследования является сократить время пассажира в пути на межрегиональных линиях до максимально допустимого, принятого из условия обеспечения минимальной утомляемости организма и равного 3–5 часам в одну сторону [2].

Целью данного исследования является сокращение времени хода для обеспечения удобства и комфортабельности езды пассажиров.

Основная часть исследования. За основу создания такой модели принят полученный при разработке ЦКП «Прогресс» [5] график зависимости величины капитальных вложений от

сокращения времени хода $K = f(\Delta t)$. Основной особенностью принятой модели является определение сокращения времени хода на основе отмены остановок. На рисунке справа приведена зависимость $K = f(\Delta t)$, слева на графике приведена зависимость, определяющая эти потери от сэкономленного времени хода, $\Delta\Pi_{\text{пас}} = f(\Delta t_{\text{ост}})$. Аппроксимируя зависи-

мости $K = f(\Delta t_{\text{ост}})$ и $\Delta\Pi_{\text{пас}} = f(\Delta t_{\text{ост}})$, получаем уравнения указанных кривых

$$K = a(\Delta t_{\text{ост}})^2, \text{ или } K = a(\Delta t_3 - \Delta t_{\text{ост}})^2, \quad (1)$$

$$\Delta\Pi_{\text{пас}} = b\Delta t_{\text{ост}}, \quad (2)$$

где a и b – коэффициенты уравнений, полученные в результате аппроксимации.

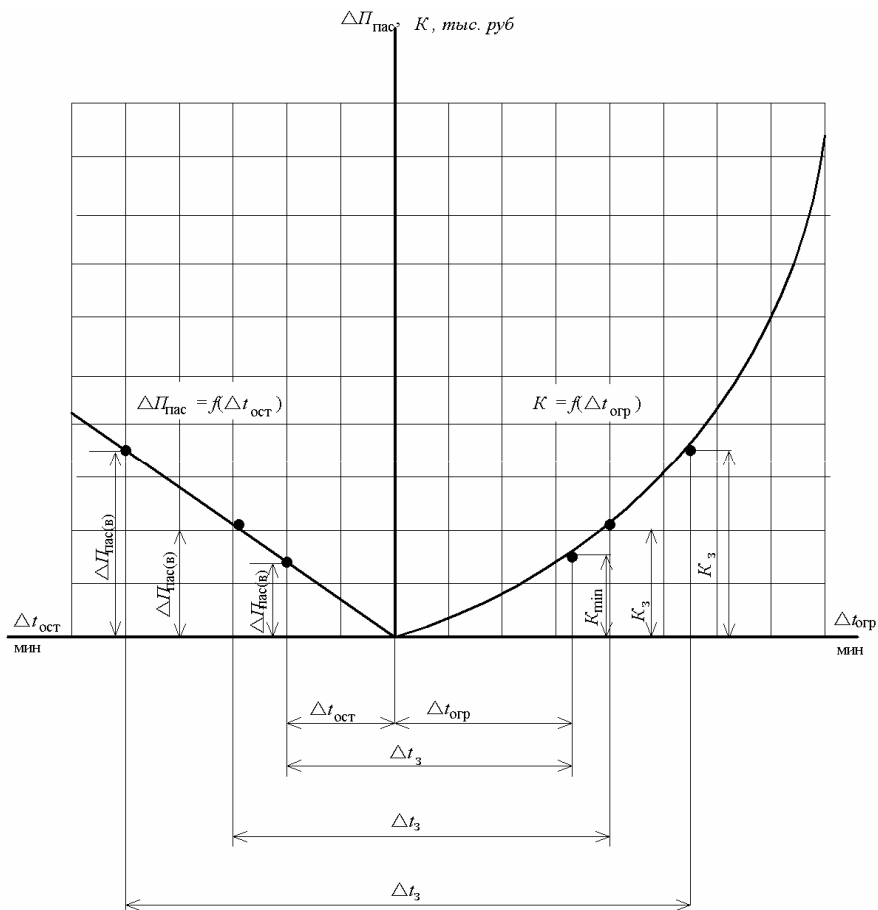


Рис. Графическое решение задач

Приведенная модель позволяет определить рациональную величину экономии времени хода за счет временной отмены остановок, при этом критерием является величина, представляющая собой сумму, состоящую из капиталовложений, необходимых для снятия ограничений скорости, и

окапитализированных социальных потерь, полученных при отмене остановок, которую необходимо минимизировать:

$$\mathcal{E} = K + \Delta\Pi_{\text{пас}} \rightarrow \min.$$

С учетом формул (1) и (2)

$$\mathcal{E} = a(\Delta t_3 - \Delta t_{\text{ост}})^2 + b\Delta t_{\text{ост}} \rightarrow \min. \quad (3)$$

или

$$\mathcal{E} = a\Delta t_3^2 - 2a\Delta t_3\Delta t_{\text{ост}} + a\Delta t_{\text{ост}}^2 + b\Delta t_{\text{ост}} \rightarrow \min.$$

Продифференцировав это уравнение по $\Delta t_{\text{ост}}$ и приравняв его к 0, получим следующее выражение:

$$\frac{d\mathcal{E}}{d\Delta t_{\text{ост}}} = -2a\Delta t_3 + 2a\Delta t_{\text{ост}} - b = 0.$$

Решая полученное выражение относительно $\Delta t_{\text{ост}}$, получаем

$$\Delta t_{\text{ост}} = \Delta t_3 - \frac{b}{2a}. \quad (4)$$

Полученное выражение позволяет определить целесообразную экономию во времени, получаемую в результате формирования оптимальной схемы остановок.

Таким образом, приведенная модель решения задачи повышения скорости движения пассажирских поездов на направлениях малой протяженности позволяет заранее определить ряд важных показателей:

- ожидаемый социальный ущерб при отмене остановок $\Delta P_{\text{пас}}$;
- величину необходимых капитальных вложений K_{min} ;
- величину возможного сокращения времени хода $\Delta t_{\text{в}}$;
- составляющие заданного сокращения времени хода $\Delta t_{\text{огр}}$ и $\Delta t_{\text{ост}}$ и т. д.

Это дает возможность ЛПР в зависимости от конкретной ситуации производить выбор проектного решения.

Очевидно, на первом этапе введения скоростных поездов межрегионального сообщения необходимое сокращение времени хода будет получено преимущественно за счет отмены остановок $\Delta t_{\text{ост}}$. Поскольку процесс модернизации требует определенного временного интервала, то предварительно целесообразную величину этого сокращения можно определить в

соответствии с выражением (4) в дальнейшем, т. е. на последующих этапах. За счет выделяемых капиталовложений на процесс модернизации достигается дополнительное сокращение времени хода, позволяющее формировать новую схему остановок с целью открытия отмененных ранее остановок.

Очевидно, на первом этапе при введении в обращение поездов указанного типа преимущественное сокращение времени хода будет достигаться за счет организационно-технических мероприятий, т. е. временной отмены остановок на промежуточных отдельных пунктах. Величина этого сокращения $\Sigma \Delta t_{\text{ост}}$ определяется разностью между заданным и возможным сокращением, достигаемым в результате модернизации постоянных устройств в рамках выделяемых капиталовложений в течение первого этапа $\Sigma \Delta t_{\text{огр}}$. При назначении схемы остановок немаловажное значение имеет социальный фактор, т. к. пассажиры, проживающие в населенных пунктах, тяготеющих к отдельному пункту, где предполагается отмена остановки, будут иметь значительные потери времени и определенные неудобства. В силу этого назначение схемы остановок должно осуществляться из следующих соображений:

- должны быть учтены социальные факторы, т. е. обеспечение максимальных удобств для пассажиров, пользующихся указанными поездами;
- необходим учет экономических факторов, т. е. получение максимального эффекта при отмене остановок;
- обеспечение необходимого сокращения времени хода;
- сохранение остановок на тех отдельных пунктах, где происходит наиболее интенсивное накопление пассажиропотока, т. е. в зоне крупных населенных пунктов с

достаточно развитым промышленным и сельскохозяйственным комплексом.

С учетом вышеизложенного поставленную задачу можно сформулировать следующим образом: назначить такую схему остановок, которая при максимальном их числе обеспечила бы уровень среднеходовой скорости, при котором достигается необходимое сокращение времени хода в данном направлении.

В результате отмены остановок на отдельных пунктах сократятся эксплуатационные расходы, связанные с дополнительной механической работой моторвагонного подвижного состава в процессе разгона, замедления и стоянки; затраты, связанные с задержкой пассажиров в пути, находящихся в поезде; но с другой стороны, увеличатся затраты, обусловленные дополнительным временем ожидания и проезда пассажиров, проживающих на отменяемом остановочном пункте.

Математическая модель назначения схемы остановок состоит из отдельных элементов, определяющих вышеперечисленные факторы и характеризующих процесс в целом:

- экономия в эксплуатационных расходах $\Delta C_{ост}$, обусловленная экономией в энергетических затратах, определяется по формуле

$$\Delta C_{ост} = \sum_{i=1}^p M_i, \quad (5)$$

где P – число отменяемых остановок;

M_i – экономия в эксплуатационных расходах в результате отмены остановки на i -м отдельном пункте, у. е.;

- экономия в затратах пассажиров $\Delta Z_{пас}$, находящихся в поезде, в результате отмены остановки на i -м отдельном пункте, у. е.,

$$\Delta Z_{пас} = \frac{a_{пч}}{60} \sum_{i=1}^p (n_0 + \sum_{i=1}^{m-p} n_i) \Delta t_{i(ост)}, \quad (6)$$

где m – число всех существующих остановок на рассматриваемом направлении;

$a_{пч}$ – стоимость пассажиро-часа, у. е./пас.ч;

n_0 – число пассажиров, севших в поезд на станции отправления, пас;

n_i – число пассажиров, севших в поезд на i -м отдельном пункте, где остановка поезда сохранена, пас;

$\Delta t_{i(ост)}$ – экономия во времени в результате отмены остановки на i -м отдельном пункте, мин;

- потери $\Delta \Pi_{пас}$, обусловленные дополнительным временем ожидания пассажирами отменяемого остановочного пункта более позднего поезда и дополнительным временем пребывания их в пути следования за счет различия в скоростях движения ускоренного межрегионального и обычного пассажирского поезда, у. е.,

$$\Delta \Pi_{пас} = \frac{a_{пч}}{60} \sum_{i=1}^p n_i (\tau_i + \Delta t_{сли}), \quad (7)$$

где τ_i – дополнительное время ожидания пассажирами i -го отдельного пункта более позднего поезда в связи с отменой остановки, мин;

$\Delta t_{сли}$ – дополнительное время пребывания в пути следования пассажиров отменяемого остановочного пункта, мин.

В соответствии с вышеизложенным математическая модель выбора схемы остановок будет выглядеть следующим образом:

$$\sum_{i=1}^p A_i = \Delta C_{(ост)} + \Delta Z_{(пас)} - \Delta \Pi_{(пас)} \rightarrow \max, \quad (8)$$

при условии

$$\sum_{i=1}^p \Delta t_{i(\text{ост})} \geq \Delta t_{3(\text{ост})}, \quad (9)$$

где ΣA_i – суммарный эффект, получаемый в результате отмены некоторых остановок, у. е.;

$\Delta t_{3(\text{ост})}$ – необходимое сокращение времени хода за счет отмены остановок, мин.

Целью решения задачи является достижение максимального суммарного эффекта ΣA_i при обеспечении необходимого сокращения времени хода за счет отмены остановок $\Delta t_{3(\text{ост})}$.

Для выявления возможных схем остановок при небольшом числе допустимых решений (число остановок на основных направлениях Белорусской железной дороги ввиду их небольшого протяжения не превышает 10...15) предлагается метод перебора с ограничениями [6]. Применение этого метода основывается на следующем:

- у критерия, в качестве которого принят суммарный эффект ΣA_i , ослаблено свойство аддитивности;

- сравнительно небольшое число возможных решений;

- данные, полученные в результате применения метода перебора с ограничениями, расширят сферу выбора для ЛПР;

- реализация данного метода достаточно проста при условии использования ПЭВМ.

Применяемый метод перебора с ограничениями предусматривает решение задачи выбора оптимальной схемы остановок в два этапа. На первом этапе из всех допустимых решений, полученных в результате метода перебора с ограничениями, выбираются эффективные, или иначе множество по Парето [7], на втором этапе полученные альтернативные варианты схем остановок, удовлетворяющие требованиям заданной экономии во времени, сравниваются между собой и из их числа выбирается одна.

Исходные данные для выбора рациональной схемы остановок на существующих отдельных пунктах включают в себя:

- число существующих остановок;
- число пассажиров на станциях отправления;
- число пассажиров на промежуточных отдельных пунктах;
- время, необходимое на разгон, замедление и стоянку поездов на каждом остановочном пункте.

Предлагаемый метод опробован на Белорусской железной дороге на участке Минск – Гродно.

Процесс сбора исходных данных завершается построением диаграммы накопления пассажиропотока (табл. 1) [5].

Следующий этап включает в себя производство тяговых расчетов с целью определения существующего времени хода, а также максимально возможного сокращения времени хода при снятии всех ограничений скорости (табл. 2).

Таблица 1

Накопление пассажиропотока на направлении Минск-Гродно

Название остановочного пункта	Расстояние, км	Прирост пассажиров на станции, чел
1	2	3
Минск	-	450
Белорусь	26,3	2
Молодечно	50,9	13
Воложин	36,4	2

Продолжение табл. 1

1	2	3
Богданов	22,3	2
Юратишки	20,3	2
Гавья	19,9	2
Лида	29,0	16
Скрибовцы	30,7	5
Рожанка	20,1	10
Мосты	22,9	37
Черлена	18,1	3
Скидель	10,3	6
Гродно	29,7	$\Sigma 550$

Таблица 2

Показатели, определяющие эффект на каждом остановочном пункте в результате отмены на нем остановки

Наименование раздельных пунктов	Показатели				
	Экономия в эксплуата- ционных расходах, ΔC , млн руб./год	Экономия в затратах для пассажиров, находящихся в поезде	Экономия во времени в результате отмены остановки $\Delta t_{i(ост)}$, мин	Социальные потери, $\Delta P_{пас}$, обусловлен- ные отменой остановки, млн руб./год	Эффект, A_i , млн руб/год
Белорусь	44	22	6	6	60
Молодечно	59	34	9	5	86
Воложин	33	21	3	2	42
Богданов	31	14	3	4	41
Юратишки	29	11	3	2	38
Гавья	28	17	4	3	39
Лида	118	65	16	15	157
Скрибовцы	29	20	5	5	41
Рожанка	52	20	6	13	59
Мосты	52	26	7	22	52
Черлена	29	15	4	4	38
Скидель	40	18	5	12	44
Гродно	-	-	-	-	-

Для снятия ограничений скорости путем модернизации требуется определенный временной интервал, поэтому мероприятия должны быть распределены во времени с учетом имеющихся возможностей дороги.

При введении ускоренных поездов межрегионального сообщения достичь Δt_3 только за счет модернизации не представляется возможным, т. к.:

- процесс модернизации не может быть осуществлен одновременно, а требует

какого-то определенного временного интервала;

- даже при снятии всех ограничений скорости полученное при этом сокращение времени хода $\sum \Delta t_{\text{орп}}$ не может обеспечить заданное Δt_3 .

В то же время достижение Δt_3 только за счет экономии во времени в результате отмены остановок приведет к значительным социальным потерям. Поэтому предлагается решение, в соответствии с которым заданное сокращение времени хода предлагается достичь следующим образом:

$$\Delta t_3 = \sum \Delta t_{\text{орп}} + \sum \Delta t_{\text{ост}}. \quad (10)$$

Эта формула предполагает достижение Δt_3 на первом этапе в основном за счет временной отмены остановок, но с постепенным осуществлением процесса модернизации, в результате которой сокращение времени хода будет увеличиваться, появится возможность открытия остановок, отмененных первоначально.

Этапный процесс модернизации и формирования оптимальной схемы остановок (этапом является год) продолжается до тех пор, пока не будет исчерпана возможность сокращения времени хода за счет модернизации. Схему остановок, полученную на последнем этапе, можно считать окончательной. В случае необходимости открытия оставшихся отмененных остановок при условии сохранения заданного сокращения времени хода, очевидно, встанет вопрос о мерах реконструктивного характера, включающих в себя реконструкцию плана линии, ИССО и т. д.

Выводы. В статье предложена методика формирования рационального плана введения ускоренных поездов межрегионального сообщения, позволяющая найти решение, обеспечивающее заданное время хода за счет взаимоувязанного комплекса мероприятий по совершенствованию параметров постоянных устройств и формированию схемы остановок.

Предложенная методика формирования оптимальной схемы остановок позволяет учесть не только денежный выигрыш, но и социальные потери. Реализация методики осуществляется методами решения комбинаторных задач целочисленного программирования, применение которых зависит от целей, поставленных перед ЛПР, и числа анализируемых остановок: метод перебора с ограничением и метод неявного (частичного) перебора.

Предложенный метод был апробирован на направлении Минск–Гродно Белорусской железной дороги протяженностью 337 км. На указанном направлении расположено 12 промежуточных остановочных пунктов, время нахождения пассажиров в пути составляло 5–5,5 ч. С учетом расчетов и табл. 1 и 2 получили, что на направлении Минск–Гродно оптимальная схема остановок должна включать только 4 остановочных пункта: Молодечно, Богданов, Лида и Мосты, что позволяет сократить время нахождения пассажиров в пути до 4,5 ч. Учитывая перспективу электрификации данного направления и введения подвижного состава на электрической тяге, а также проведения модернизации постоянных устройств, возможно дополнительное сокращение времени хода.

Список использованных источников

1. Экономика железнодорожного транспорта [Текст] : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / Н. П. Терёшина, В. Г. Галабурда, М. Ф. Трихунков [и др.]. – М. : УМЦ ЖДТ, 2006. – 801 с.
2. Черномордик, Г. И. Сферы применения скоростного пассажирского движения на железных дорогах СССР [Текст] / Г. И. Черномордик, К. В. Паршикова. – М. : Транспорт, 1970. – 57 с.

3. Харина, Е. В. Выбор рациональных мер по повышению скорости движения пассажирских поездов в условиях растущего объема грузовых и пассажирских перевозок [Текст] : автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Е. В. Харина. – М. : МИИТ, 2004. – 24 с.
4. Селезнева, Н. Е. Повышение скоростей движения поездов и рациональное устройство переходных кривых [Текст] : автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Н. Е. Селезнева. – М. : МИИТ, 2001. – 24 с.
5. Ахраменко, Г. В. Модернизация и реконструкция постоянных устройств с целью ввода ускоренных поездов межобластного сообщения (на примере Белорусской железной дороги) [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.22.03 / Г. В. Ахраменко. – М., 1991. – 181 с.
6. Вагнер, Г. Основы исследования операций [Текст] : пер. с англ. / Г. Вагнер; [под ред. В.Я. Алтаева]. – М. : Мир, 1973. – Т. 2. – 486 с.
7. Курган, Д. Н. Методология расчетов железнодорожной колеи при взаимодействии со скоростным подвижным составом [Текст]: автореф. дисс... д-ра техн. наук: 05.22.06 / Д. Н. Курган. – Днепропетровск, 2017. – 35 с.
8. Об утверждении Государственной программы развития транспортного комплекса Республики Беларусь на 2016–2020 годы. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 апреля 2016 г. № 345. – 35 с.
9. Методические указания по разработке плана оптимального переустройства железнодорожных линий для введения 140–160 км/ч движения пассажирских поездов [Текст] / МПС СССР. – М. : ВНИИЖТ, МИИТ, 1986. – 61 с.
10. Keith Barrow 350 km/h operation resumes on Beijing – Tianjin HSL [Electronic resours] // International Railway Journal. – 08.08.2018. Режим доступа : <http://www.railjournal.com/index.php/asia/350km-h-operation-resumes-on-beijing-tianjin-line.html?channel=523>.
11. Levinson, David M. Accessibility impacts of high-speed rail [Text] // Journal of Transport Geography. – 2012. – №22. – P. 288–291.

Ахраменко Галина Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта.

Тел.: +375293442518. E-mail: ahramenko.galina1@gmail.com.

Дубровская Татьяна Алексеевна, старший преподаватель кафедры проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов Белорусского государственного университета транспорта.

Тел.: +375445545253. E-mail: rt-555@yandex.ru.

Ахраменко Галина Володимирівна, канд. техн. наук, доцент кафедри проектування, будівництва та експлуатації транспортних об'єктів Білоруського державного університету транспорту. Тел.: +375293442518.

E-mail: ahramenko.galina1@gmail.com.

Дубровська Тетяна Олексіївна, старший викладач кафедри проектування, будівництва та експлуатації транспортних об'єктів Білоруського державного університету транспорту. Тел.: +375445545253.

E-mail: rt-555@yandex.ru.

Ahramenko Galina Vladimirovna, PhD (Tech.), associate professor, Department of Designing, Construction and Operation of Transport Facilities, Belarusian State University of Transport. Tel.: +375293442518.

E-mail: ahramenko.galina1@gmail.com.

Dubrovskaya Tatyana Alekseevna, senior lecturer, Department of Design, Construction and Operation of Transport Facilities, Belarusian State Transport University. Tel.: +375445545253. E-mail: rt-555@yandex.ru.

Статтю прийнято 05.12.2018 р.