

ORGANIZATION OF SPEED TRAFFIC OF PASSENGER TRAINS ON THE EXPLOITED RAILWAYS

Djabbarov S.T., DSc, professor
Mirakhmedov M., DSc, professor
Tashkent Institute of Railway Engineers
1, Adilxodjaev str., Tashkent, Uzbekistan, 700167
Тел. +998 90 185 29 34; +998 90 925 87 08
E-mail: _saidhon_@inbox.ru; mirakhmedovm@mail.ru

Abstract: Based on the results of mathematical modeling of the movement of high-speed trains on the existing single-track railway, a set of measures was developed to increase (prevent) its throughput and shipping capacity to determine the safe distance between a moving train and a person and elements of the track infrastructure.

Key words: high-speed train traffic, high-speed rail, speed limitation, construction and technological parameters, freight and throughput capacity, capacity deficit, traffic safety, environmental protection.

ТАСАРРУФДАГИ ТЕМИР ЙЎЛЛАРДА ТЕЗЮРАР ЙЎЛОВЧИ ПОЕЗДЛАР ХАРАКАТИНИ ТАШКИЛ ЭТИШ

Jabborov S.T., t.f.d., professor
Mirakhmedov M., t.f.d., professor
Toshkent temir yo'l muxandislari instituti
700167, O'zbekiston, Toshkent, Odilxo'jaev ko'ch., 1
Тел. +998 90 185 29 34; +998 90 925 87 08
E-mail: _saidhon_@inbox.ru; mirakhmedovm@mail.ru

Annotatsiya: Mavjud bir izli temir yo'lda tezyurar va yuqori tezyurar poezdlar harakatini matematik modellashirish natijablf uning o'tkazish va yuk tashish qobiliyatini oshirish (pasayishiga yo'l qo'ymaslik) hamda harakatlanayotgan poezd bilan odam va yo'l infratuzilmasi elementlari orasidagi masofa aniqlanib, kompleks chora-tadbirlar ishlab chiqilgan.

Kalit so'zlar: tezyurar va yuqori tezyurar poezdlar harakati, qurilish-texnologik parametrlar, poezdlarni o'tkazish va yuk tashish imkoniyati, yuk tashish tanqisligi, matematik model, harakat havfsizlik, atrof muxit muxofazasi.

ОРГАНИЗАЦИЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Джаббаров С.Т., д.т.н., профессор
Мирахмедов М., д.т.н., профессор
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта
700167, Узбекистан, Ташкент, ул. Адылходжаева, 1
Тел. +998 90 185 29 34; +998 90 925 87 08
E-mail: _saidhon_@inbox.ru; mirakhmedovm@mail.ru

Аннотация: На основе результатов математического моделирования движения скоростных и высокоскоростных поездов по существующей однопутной железной дороге был разработан комплекс мер по увеличению (предотвращению снижения) ее пропускной и провозной способности и по определению безопасного расстояния между движущимся поездом и человеком и элементами инфраструктуры пути.

Ключевые слова: скоростное и высокоскоростное движение поездов, скоростная и высокоскоростная железная дорога, ограничение скорости, строительско-технологические параметры, провозная и пропускная способность, дефицит провозной способности, математическая модель, безопасность движения, защита окружающей среды.

1. ВВЕДЕНИЕ

Скоростные и высокоскоростные железнодорожные перевозки, являясь быстрыми, недорогими, общедоступными, комфортными и экологически чистыми видами наземного транспорта занимают лидирующие позиции в удовлетворении растущего спроса населения на транспортные услуги.

2. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

В мире для обеспечения безопасной и бесперебойной работы системы «рельс-колесо» разрабатываются методы и технологии проектирования, строительства и эксплуатации скоростных железных дорог в различных приоритетных направлениях, таких как: совершенствование конструкции подвижного состава и элементов верхнего строения пути с учетом воздействия вибродинамических сил, возникающих на большой скорости; влияние движения поездов на окружающую среду и людей и определение мер безопасности вдоль железных дорог; создание средств и методов обеспечивающих безопасное движение скоростных и высокоскоростных поездов по существующим железным дорогам со смешанным движением поездов разной категории на существующих железных дорогах [1-17, 19-22] в том числе, в соответствии с требованиями Директивы 96/48 Европейского союза» [18].

Однако в этих исследованиях не в полной мере рассмотрены проблемы организация движения скоростных и высокоскоростных пассажирских поездов на однопутных железных дорогах со смешанным движением, проектирование скоростных и высокоскоростных железных дорог в районах распространения экзогенных процессов, например, песчаных пустынь.

3. ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

К этим задачам относятся следующее:

- выявление факторов влияния на максимальный уровень скорости, безопасность и эффективность движения пассажирских поездов на существующих линиях;
- разработка методики по установлению параметров инфраструктуры железной дороги, оказывающих влияние на принятие проектных решений по реконструкции и модернизации существующих и строительству новых участков скоростных железных дорог с учетом максимальной скорости движения пассажирских поездов;
- разработка методики по выявлению критериальных условий проектирования скоростного движения поездов на линиях с грузовым движением и компенсации дефицита провозной способности при сочетании скоростного и высокоскоростного движения;
- влияние характера распространения вторичных воздушных потоков на людей и окружающую среду, особенно, в условиях распространения подвижных песков вокруг скоростного поезда для безопасного размещения элементов инфраструктуры скоростной железной дороги.

4. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проектирование скоростного и высокоскоростного движения поездов с использованием существующей инфраструктуры в отличие от строительства новых специализированных высокоскоростных магистралей могут быть определены только с учетом ряд факторов, ограничивающих скорость движения поездов:

- многочисленных кривых малого радиуса;
- несоответствия конструкции верхнего строения пути, в первую очередь, стрелочных переводов и рельсов, контактной сети и тяговых подстанций, устройства связи и сигнализации в отношении к предъявляемым им повышенным требованиям, в первую очередь, для обеспечения уровня комфорта для пассажиров.

Общий объем работ по устранению как локальных, так и линейных ограничений скорости невозможно привести к единому измерителю, поэтому, они должны быть определены по видам ограничений, типу устройств и сооружения [25].

Все ограничения скоростей движения поездов, вызванных существующим состоянием инфраструктура железнодорожного пути можно условно разделить на две категории: локальные и линейные (протяженные). Ограничения скорости, не зависимо к какой категории они отнесены, могут быть двух видов: временные и постоянные (рис. 1).



Рис. 1. Классификация ограничений скоростей движения поездов

Снятие каждого ограничения скорости приводит к увеличению скорости на величину $\Delta V = V_{ПМ} - V_{ДМ}$ и в сумме к экономии (снижению) времени хода поезда на

$$\Delta t = 60 \sum_{i=1}^k L_i \frac{\Delta V_i}{V_{ДМi} (V_{ДМi} + \Delta V_i)} \tag{3}$$

где $V_{ДМ}$ и $V_{ПМ}$ - средние скорости на данном участке ограничения до и после модернизации.

На каждом рассматриваемом i -ом месте ограничения скорости движения поездов, сокращения времени хода поезда составит

$$\Delta t = \frac{l_{огрi}}{V_{maxi} - V_{огрi}} = \frac{l_{огрi}}{\Delta V_i} \tag{4}$$

Для снятия (устранения) ограничения скорости на данном i -ом участке необходимы капитальные вложения (средства) в размере K_i . Следовательно, стоимость сокращения времени хода поезда на одну минуту на данном i ом участке C_{li} равна следующему

$$C_{li} = \frac{K_i}{\Delta t} \tag{5}$$

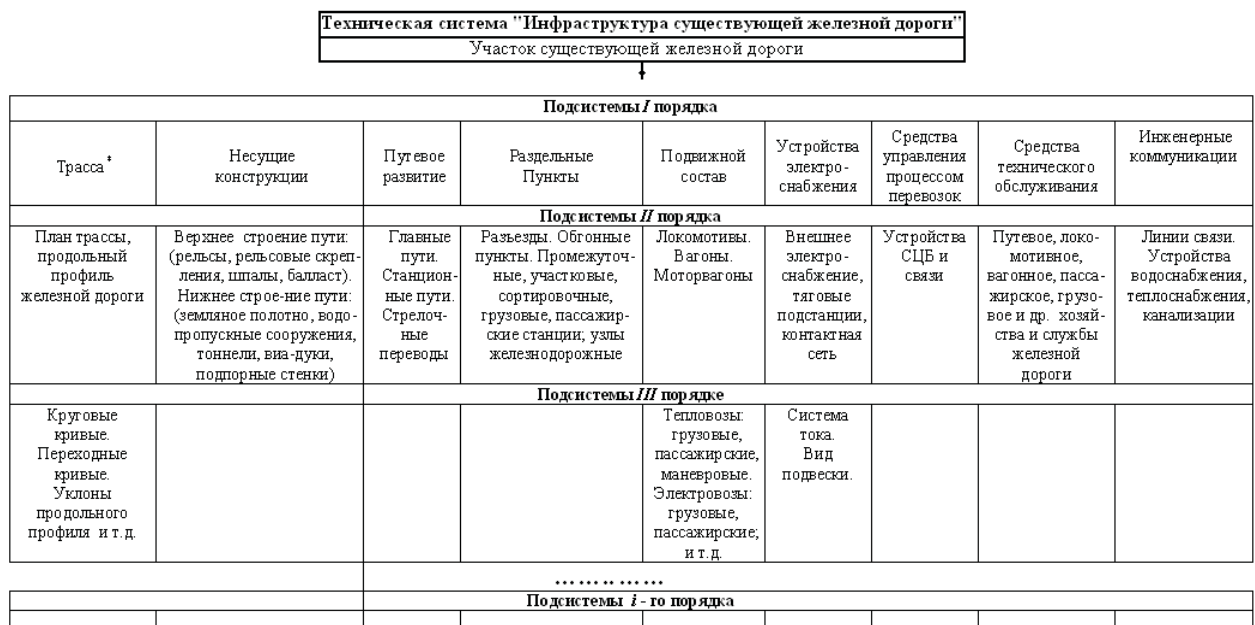
или учитывая (4) выражение (5) можно представить в следующем виде

$$C_{li} = \frac{K_i \cdot \Delta V_i}{l_{огрi}} \tag{6}$$

В исследовании инфраструктура существующей железной дороги рассмотрена как линейная природно-техническая система, элементами которой являются отдельные участки железнодорожного пути.

Подсистемами технической системы «инфраструктура существующей железной дороги» приняты её отдельные объекты или конструктивные элементы, выделяемые на основе принципа декомпозиции.

Предполагая, что между строительно-технологическими параметрами отдельных объектов или конструктивных элементов подсистем i -го уровня инфраструктуры существующей железной дороги существуют устойчивые структурные, физические, функциональные, экономические связи, железная дорога представлена в виде сложной технической системы, состоящей из множества подсистем I, II, III, \dots, i -го уровня (рис. 2); установлены её границы, а также границы подсистем различного уровня; определены и установлены в каждой подсистеме ограничения скоростей движению пассажирских поездов по постоянным устройствам и сооружениям железной дороги.



Примечание: продольная ось ж.д. определяющая пространственное положение самой системы и взаимное расположение ее подсистем

Рис. 2. Деление технической системы «инфраструктура существующей железной дороги» на подсистемы

Декомпозиция задачи, расширение установленных границ систем и подсистем, влияющих на функционирование исследуемой системы, позволили сократить количество рассматриваемых вариантов проектных решений введения скоростного движения пассажирских поездов, с использованием существующей инфраструктуры железнодорожной линии.

Установление границ и протяженности участков проведено в зависимости от конкретных условий движения поездов, уровня, характера и месторасположения мест ограничения скорости на каждом участке линии, предлагаемым методом, в основу которого заложен принцип группировки мест локальных ограничений скорости и учета длины разгона и тормозного пути поезда. В качестве границ участков для оптимизации переустройства приняты границы участков со сгруппированными местами локальных ограничений скорости, которые могут быть устранены в результате выполнения мероприятий по реконструкции инфраструктуры железной дороги.

Предлагаемый метод деления на участки и установления границ подсистем с группировкой мест ограничения скорости по их причинам, позволяет получить результаты, более точно учитывающие реальные условия движения скоростного поезда [25].

Минимальная длина участка $l_{уч}$, где рассматривается несколько вариантов уровня скорости, должна быть больше или равно сумме длины разгона $l_{разг}$ и тормозного пути $l_{торм}$ поезда (рис. 3) то есть,

$$l_{уч} \geq l_{разг} + l_{торм} \tag{7}$$

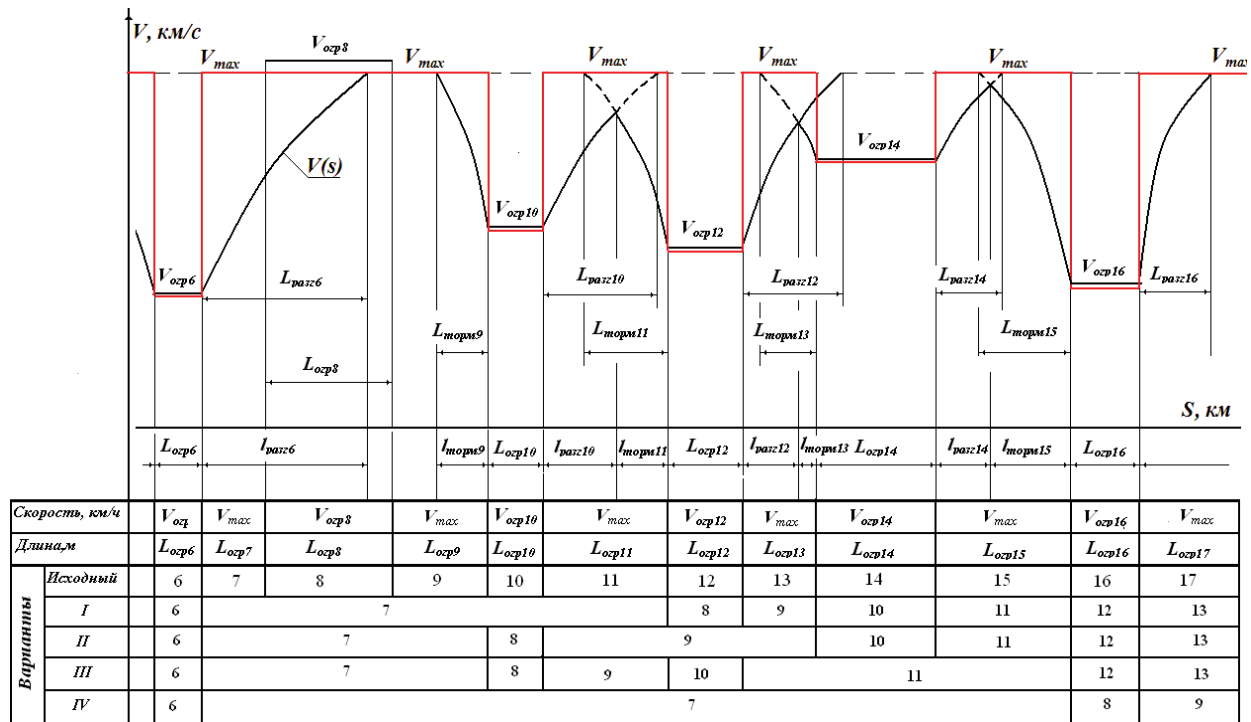


Рис. 3. Установление границ участков

Существующий способ определения этапов производства работ по реконструкции железных дорог сводится к решению двойственной задачи:

- отысканию максимального сокращения времени хода пассажирского поезда ΔT_{max} на i -том этапе при заданных капиталовложениях $-K$;
- определение минимальных капиталовложений K_{min} на i -том этапе при заданном значении требуемого сокращения времени хода поезда ΔT .

Размеры грузовых перевозок до и после введения скоростного (высокоскоростного) движения пассажирских поездов соответственно можно определить по формулам

$$n_{сп}^{\partial} = N - \sum_{i=1}^k n_i \varepsilon_i \tag{9}$$

$$n_{сп}^n = N - n_{уск} \varepsilon_{уск} - \sum_{i=1}^k n_i \varepsilon_i \tag{10}$$

где N – наличная пропускная способность линии;

$n_{уск}$ – количество подлежащих ускорению пассажирских поездов;

$\varepsilon_{уск}$ – коэффициент съема грузовых поездов ускоренными пассажирскими поездами;

n_i – количество i -ой категории не грузовых поездов;

ε_i – коэффициент съема грузовых поездов i -ой категории не грузовых поездов.

В результате увеличения скоростей движения пассажирских поездов происходит уменьшение размеров грузового движения на величину

$$\Delta n_{cp} = n_{cp}^{\delta} - n_{cp}^n \quad (11)$$

При этом возникает дефицит провозной способности, равный по величине

$$\Delta \Gamma = \Gamma^{\delta} - \Gamma^n = \Delta n_{cp} Q_{cp}^n 365 \gamma \quad (12)$$

Компенсация дефицита провозной способности возможна за счет:

1. Увеличения норм массы поезда при сохранении наличной пропускной способности N ;
2. Увеличения наличной пропускной способности N за счет перехода к меньшему интервалу I на двухпутной линии.

Предполагая, что размеры перевозок не растут, т.е. $\Gamma(t) \cong const$, приравняв уравнения (9) и (10), можно определить среднюю массу грузового поезда после введения скоростного движения пассажирских поездов

$$Q_{cp}^n = Q_{cp}^{\delta} k_y \quad (13)$$

где k_y – коэффициент увеличения средней массы состава после введения скоростного движения поездов, определяемый по следующему выражению

$$k_y = \frac{N - \sum_{i=1}^k n_i \varepsilon_i}{N - n_{yck} \varepsilon_{yck} - \sum_{i=1}^k n_i \varepsilon_i} \quad (14)$$

Если поставить другое условие, т.е. сохранение пропускной способности по грузовому движению за счет сокращения интервала I при соответствующей реконструкции системы сигнализации, то в качестве исходной посылки можно принять равенство

$$N_{cp}^{\delta} = N_{cp}^n \quad (15)$$

С учетом (9, 10) равенство (15) можно представить в следующем виде

$$\begin{aligned} & \frac{N_{\delta}^{\delta}}{1 + \beta} - N_{nac}^{\delta} \cdot \varepsilon_{nac} - N_{cb}^{\delta} (\varepsilon_{cb} - 1) - N_{xoz}^{\delta} \varepsilon_{xoz} - N_{nop}^{\delta} = \\ & = \frac{N_{\delta}^n}{1 + \beta} - N_{ck}^n \varepsilon_{ck} - N_{nac}^n \cdot \varepsilon_{nac} - N_{cb}^n (\varepsilon_{cb} - 1) - N_{xoz}^n \varepsilon_{xoz} - N_{nop}^n \end{aligned} \quad (16)$$

Полагая, что расчетные интервалы между попутными поездами в пакете в нечетном и четном направлении I_p' и I_p'' до и после введения скоростного движения пассажирских поездов равны, т.е. $I_p' = I_p'' = I_p^{\delta}$, а также период непарного графика движения поездов не изменяется, то уравнение (16) можно записать в следующем виде

$$\begin{aligned} & \frac{2(1440 - t_{mex}) \alpha_n}{(2 - \alpha_n) T_{nep} + 2I_p^{\delta} \alpha_n} - N_{nac}^{\delta} \cdot \varepsilon_{nac} - N_{cb}^{\delta} (\varepsilon_{cb} - 1) - N_{xoz}^{\delta} \varepsilon_{xoz} - N_{nop}^{\delta} = \\ & = \frac{2(1440 - t_{mex}) \alpha_n}{(2 - \alpha_n) T_{nep} + 2I_p^n \alpha_n} - N_{ck}^n \varepsilon_{ck} - N_{nac}^n \cdot \varepsilon_{nac} - N_{cb}^n (\varepsilon_{cb} - 1) - N_{xoz}^n \varepsilon_{xoz} - N_{nop}^n \end{aligned} \quad (16)'$$

Исходя из (16)' можно получить равенство, при котором будет достигнута компенсация дефицита провозной способности

$$I_p^n = \frac{1}{2\alpha_n} \left\{ \frac{1}{\left[\frac{1}{(2 - \alpha_n) T_{nep} + 2I_p^{\delta} \alpha_n} - \frac{(N_{nac}^{\delta} - N_{nac}^n) \varepsilon_{nac} - N_{ck}^n \varepsilon_{ck}}{2(1440 - t_{mex}) \alpha_n} \right]} - (2 - \alpha_n) T_{nep} \right\} \quad (17)$$

Расчеты при $t_{mex} = 180$ мин. $\alpha_n = 0.85$ и для $\varepsilon_{yck} = 2.76$ показывают, что данное средство может быть рассмотрено в качестве альтернативного для ликвидации дефицита провозной способности [23, 25].

Как показали исследования изменение (уменьшение) межпоездного интервала на 3 мин (при $I_{\delta m} = 16$ мин) позволяет (без ущерба) ввести в обращение до 5 скоростных поездов [23, 25].

Для сохранения провозной способности по грузовому движению при проектировании скоростного движения на существующих железных дорогах необходимо рассмотреть комбинацию указанных двух подходов увеличения Q_{cp} и снижение I и выбрать наиболее оптимальный.

Обеспечение безопасности пассажиров и бесперебойности движения высокоскоростных пассажирских поездов достигается применением научно обоснованных норм проектирования объектов инфраструктуры железной дороги.

Расширение полигона скоростного и высокоскоростного движения поездов требует совершенствования отдельных разделов, используемых в настоящее время в нашей стране норм проектирования железных дорог. Это, прежде всего, касается установления (нормирования) минимально допустимого расстояния расположения людей и отдельных объектов инфраструктуры железных дорог от оси скоростной железной дороги.

В отдельных случаях при проектировании высокоскоростных железных дорог возникает необходимость пересечение песчаных массивов (строительство отдельных участков линии Бухара-Мискин). В ходе строительства образуются техногенные пески, утратившие свое естественное сложение и структуру. В результате эти пески при скорости ветра на поверхности песка более критической переносятся и создают проблемы, как в период строительства, так и при эксплуатации [23].

При движении, скоростные и высокоскоростные поезда за счет вовлечения в движение воздуха создает поток, избыточное давление которого может оказывать негативное влияние на элементы инфраструктуры железной дороги (будки, переезды, человек, почва, здания вокзалов и др.). Поэтому изучение влияния потоков, создаваемых поездами при скоростях движения свыше 160-200 км/ч, является актуальной задачей обеспечения безопасности на железной дороге.

Исследование воздушных потоков вокруг высокоскоростного пассажирского поезда проведено по принципу «от простого к сложному», моделируя его движение осесимметричным телом, движущимся в сжимаемой (акустической) среде с постоянной скоростью v_0 [19, 22, 26]. При этом предполагаем, что тело находится на высоте h от границы полупространства (рис. 4). Обозначим через L длину тела, R - наибольшее удаление границы тела от оси вращения и полагаем, что $R/L \ll 1$. Введем осесимметрические координаты $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, z_1 и обозначим через t время. Начало координат установлено в среднем сечении тела, ось Oz_1 направлено по оси тела, а ось Or перпендикулярная к ней.

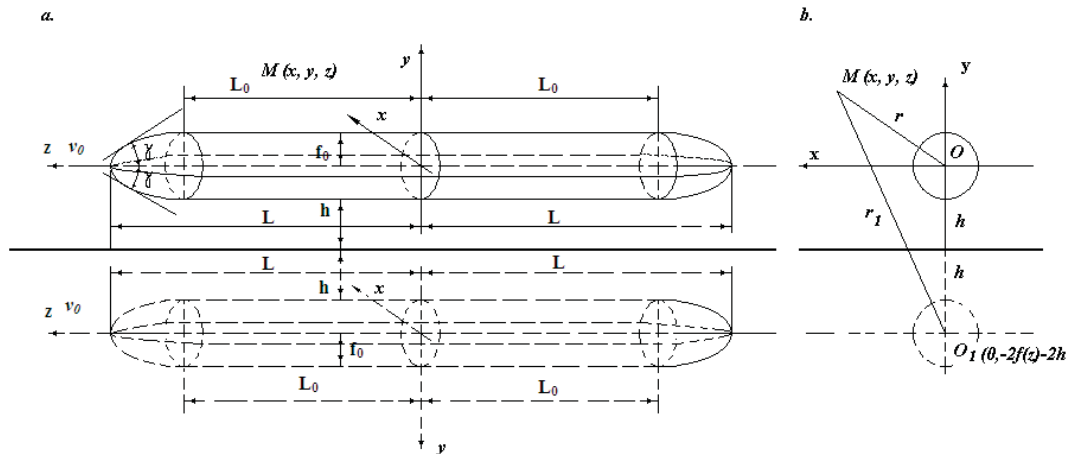


Рис. 4. Схема движения осесимметрического тела в полупространстве

Компоненты скоростей частиц воздушной среды по осям координат Oz и Or можно определить через потенциал скорости $\varphi_1(r, z_1, t)$ по формулам

$$v_z = \frac{\partial \varphi_1}{\partial z}, v_r = \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} \quad (18)$$

Уравнение распространения акустической волны в воздушной среде можно записать в следующем виде

$$\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial t^2} = a^2 \left(\frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial z_1^2} \right) \quad (19)$$

После некоторых преобразований функцию $\varphi_1(r, z)$ можно представить в следующем виде

$$\varphi_1 = [\varphi(z, r) + \varphi(z, r_1)]/2 \quad (20)$$

где $r_1 = \sqrt{x^2 + [2f_1(z) + 2h + y]^2}$.

Можно показать, что представленная формулой (9) функция $\varphi_1(r, z)$ удовлетворяет всем условиям рассматриваемой задачи.

Компоненты вектора скорости частиц воздуха в декартовой системе координат в произвольной точке пространства выражаются по формулам

$$v_x = \frac{\partial \varphi_1}{\partial x} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial x} + \frac{\partial \varphi}{\partial r_1} \frac{\partial r_1}{\partial x} \right) \quad (21)$$

$$v_y = \frac{\partial \varphi_1}{\partial y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \frac{\partial r}{\partial y} + \frac{\partial \varphi}{\partial r_1} \frac{\partial r_1}{\partial y} \right) \quad (22)$$

$$v_z = \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} + \frac{\partial \varphi}{\partial r_1} \frac{\partial r_1}{\partial z} \right) \quad (23)$$

Дальнейшее исследование распределения воздушного потока и определение его скорости вдоль движущегося высокоскоростного поезда, проведено на модели поезда, который составлен из локомотива и $2n$ вагонов. Локомотив и вагоны представлены в качестве осесимметричного тела, с обтекаемой формой головной и хвостовой части движущегося в сжимаемой (акустической) среде (рис. 5).

Для определенности считаем, что локомотив и все вагоны имеют одинаковые цилиндрические формы, состоящие из кругового цилиндра и одинаковых круговых конусов в начальных и конечных сечениях

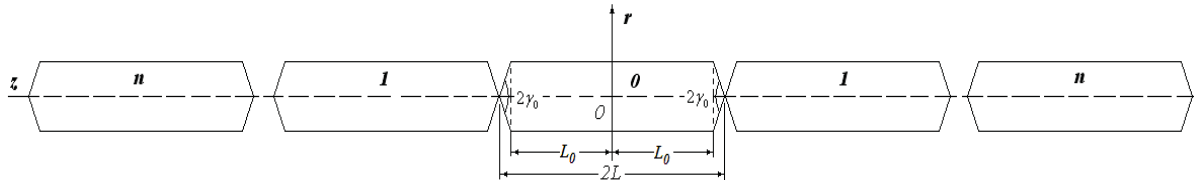


Рис. 5. Схема движения поезда с локомотивом и $2n$ вагонов

Давление в воздушном потоке определяем по формуле

$$\Delta p = -\rho_0 \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \rho_0 v_0 \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (24)$$

5. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 6 приведено графическое изображение результатов расчета сокращения времени хода поезда Δt для условного места ограничения длиной 1 км в зависимости от приращения скорости ΔV после снятия ограничений, определенное по формуле (3) [25]. Анализ выражения (3) показывает, что при одинаковой длине места ограничения скорости $-L_i$ наибольший эффект в сокращении времени хода достигается при устранении ограничений с наименьшим уровнем ограничения скорости V_{DM} и где можно достичь большего приращения скорости движения ΔV .

Проверка результатов, полученных по изложенной выше методике (4-8) на некоторых участках линии А-Б и К-М, входящих в полигон скоростных железных дорог АО «Ўзбекистон темир йўллари» подтвердила правомерность этих выводов, где количество рассматриваемых участков сократилось с 33 и 21 до 21 и 17 соответственно, уменьшилось также и количество рассматриваемых вариантов при оптимизации переустройства существующей линии [25].

Анализ выражения (6) показывает, что:

- при одинаковых затратах и приращении скорости наиболее эффективным является устранения ограничений с наибольшей длиной;
- при одинаковых затратах и длине места ограничения скорости рациональным является устранения ограничений с наибольшим приращением скорости;
- при одинаковом приращении скорости затратах и длине места ограничения скорости рациональным является устранения ограничений с наименьшими затратами.

Рассматривая совместно эти две задачи можно заключить, что предлагаемый метод деления линии на участки также приводит к сокращению рассматриваемых вариантов, снижению капитальных затрат в пределе до 10% (рис. 7) [25].

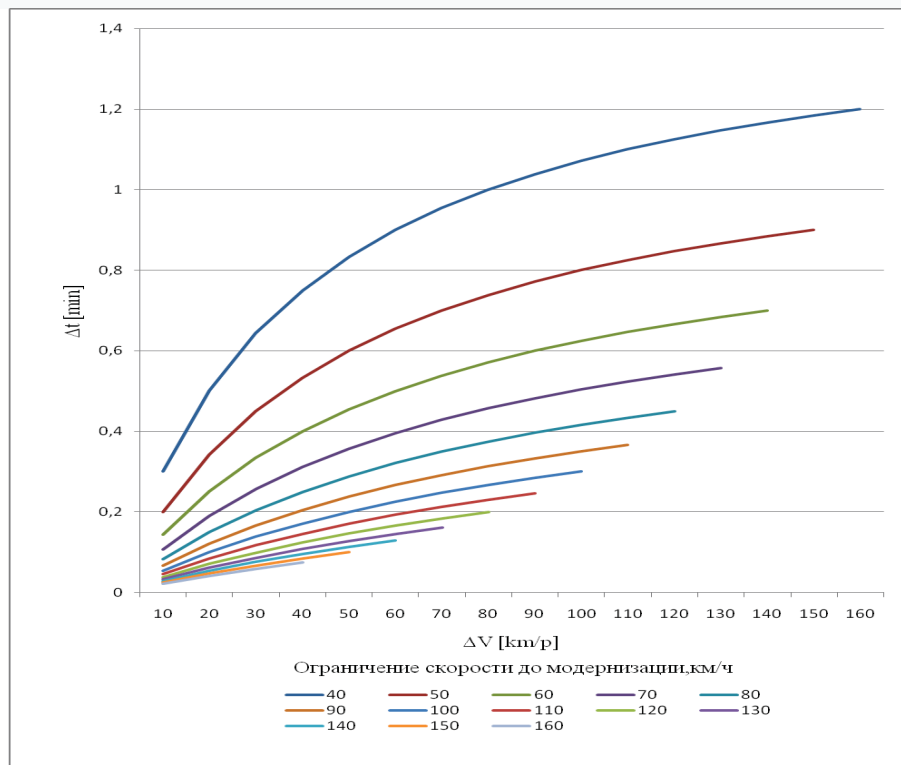
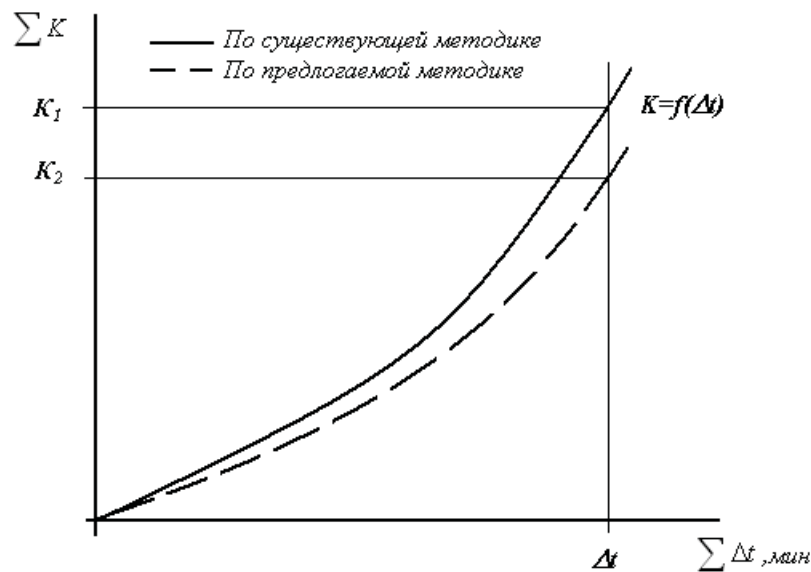


Рис. 6. Зависимости сокращения времени хода поезда от приращения скорости после снятия ограничений

Рис. 7. Графики зависимости $K=f(\Delta t)$

Так как длина направления, в котором вводится скоростное движение поездов, как правило, достаточно велика, выполнение всего объема работ в один этап практически невозможно, т.е. эти работы должны выполняться в несколько этапов.

Совмещение грузового и пассажирского движения на существующих железных дорогах (Узбекистана и других стран Центральной Азии) является объективным фактором, отражающим современный уровень развития сети. Известно, что пассажирское движение снимает часть грузового движения, основным показателем которого является коэффициент съема $\epsilon_{\text{пс}}$.

С использованием математической модели (8-17) и информационных технологий построены графики изменения скорости воздушного потока вдоль движущегося в акустической среде тела на различном расстоянии от него (рис. 8). Анализ построенных графиков показывает, что общая физика воздушных потоков вдоль движущегося тела идентична.

При этом с приближением поезда начинается возмущение воздуха. Когда головной вагон приближается к точке наблюдения, давление достигает своего максимального значения и резко падает. Появляется отрицательное давление, т.е. отсос воздуха, абсолютное максимальное значение которого превышает максимума избыточного давления. Далее происходит резкий спад давления и в конце поезда вновь поочередно появляется отрицательное и избыточное давление, значение которых соответственно равны значению в головной части поезда (рис. 9а). Во втором случае, четко видно влияние междувагонного пространства на

характер, абсолютную величину аэродинамического давления, которое имеет тенденцию к увеличению (рис. 9б).

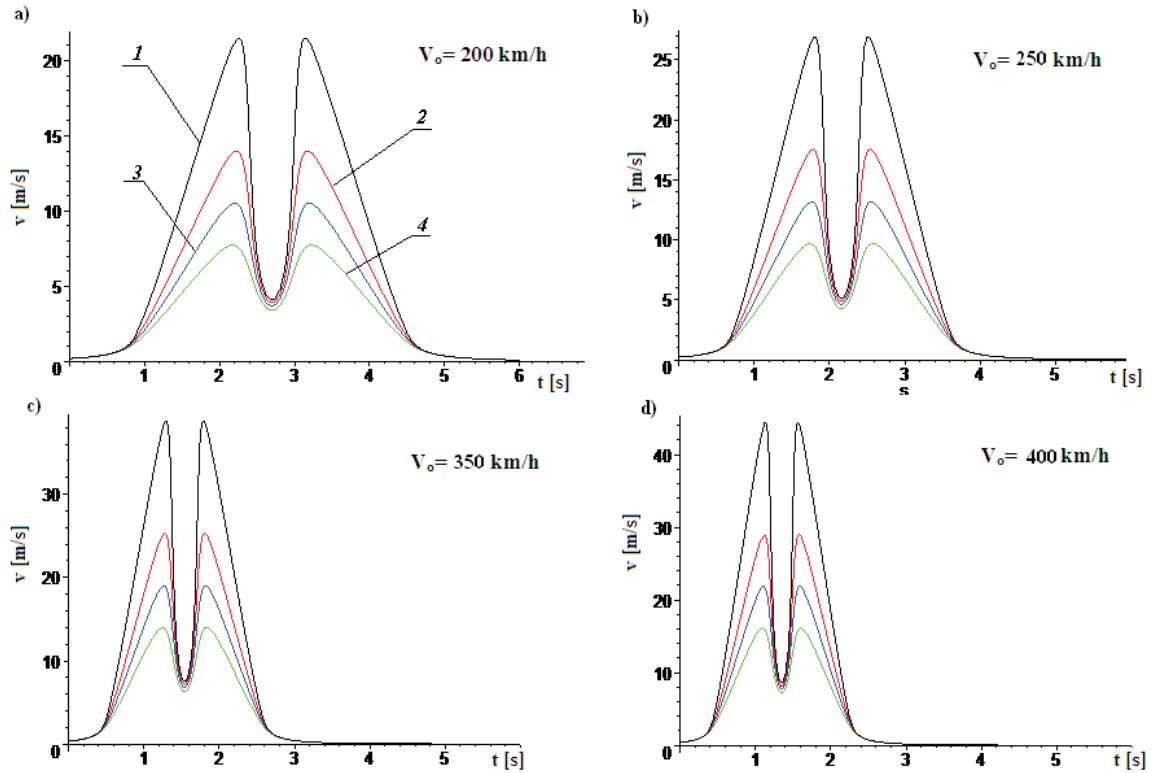


Рис. 8. Графики изменения скорости воздушного потока вдоль движущегося тела с видом головной и хвостовой части в виде конуса на расстояниях: 1 - 3,55 м; 2 - 6,0 м; 3 - 8,0 м; 4 - 10 м.

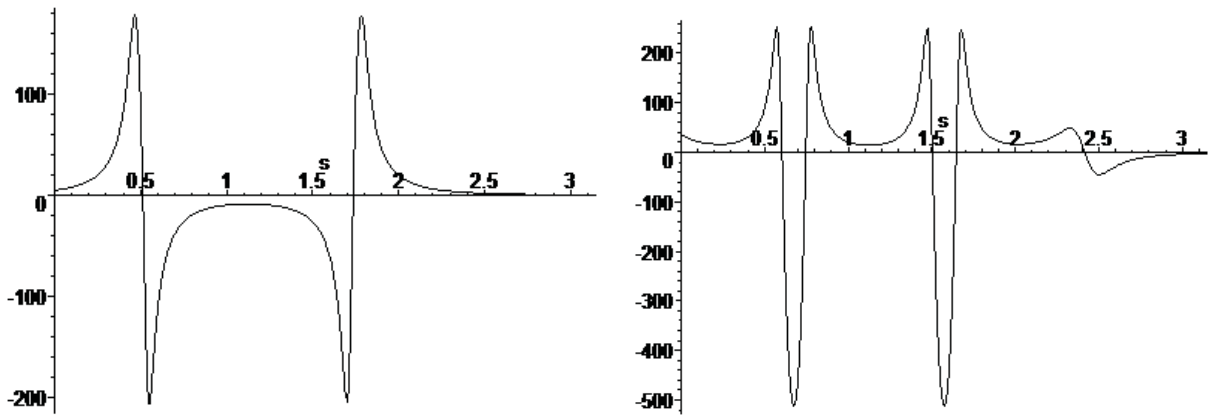


Рис. 9. Изменение давления на краю платформы с учетом отсутствия (а) и наличия (б) пространства между вагонами и локомотивом в момент прохождения поезда

Аналогичные кривые можно построить для точек, расположенных на различном расстоянии от движущегося высокоскоростного поезда с различными скоростями (200, 250, 350, 400 км/ч) и построить зависимости изменения скорости воздушного потока (или аэродинамического давления) от скорости поезда и расстояния от него (рис. 10), которые позволяют решить следующие задачи:

- при известном значении скорости высокоскоростного поезда V и расстоянии до отдельного объекта инфраструктуры $M(x, y, z)$ установить необходимые требования к физико-механическим свойствам и техническим параметрам данного объекта;

- при известном расстоянии до отдельного объекта инфраструктуры $M(x, y, z)$, физико-механических свойств и технических параметров объекта инфраструктуры существующей железной дороги установить максимально-допустимую скорость движения высокоскоростного поезда вблизи объекта или по данному объекту;

- установить минимально - безопасное расстояние нахождения людей при прохождении высокоскоростного поезда.

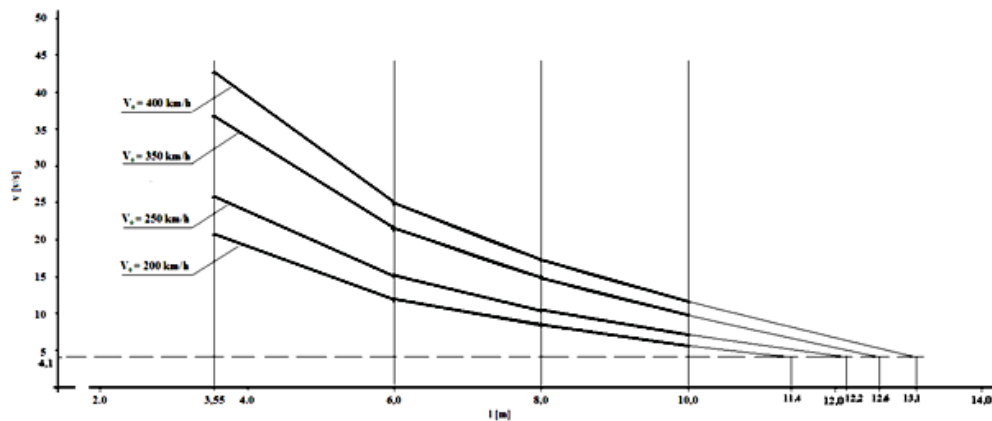


Рис. 10. Изменение скорости вторичного воздушного потока на различном расстоянии от движущегося поезда

6. ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выявлены возможные меры по сохранению (или увеличению) возможной провозной и пропускной способности после введения скоростного движения пассажирских поездов на эксплуатируемых однопутных железных дорог, которые сводятся к следующему:

- выявление ограничений скоростей движению пассажирских поездов по постоянным устройствам и сооружениям железной дороги; установление границ подсистем различного уровня технической системы «инфраструктура существующей железной дороги»; группировка мест ограничений скорости на основе учета длины участка разгона и тормозного пути поезда.

2. На основе группировки мест ограничения скорости:

- установление этапов (или рациональной последовательности) производства работ по реконструкции (модернизации) инфраструктуры существующей железной дороги с учетом возможностей путейских, строительных и других производственных подразделений дороги.

3. Определение максимально-допустимых скоростей высокоскоростного поезда с учетом строительно-технологических параметров постоянных устройств и сооружений существующей инфраструктуры железных дорог.

4. Установление минимально-допустимой скорости поезда, предотвращающая развитие экзогенных процессов и минимизирующая негативное влияние движения высокоскоростного поезда на окружающую среду, а также ширины придорожной полосы земляного полотна (включая откосы, кюветы), отсыпанного из барханного песка, подлежащая закреплению.

5. Установка знаков минимально-безопасного расстояния нахождения людей вблизи проходящего поезда, обеспечивающих безопасное движение высокоскоростного поезда.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы высокоскоростных пассажирских перевозок (2015) Железные дороги мира. No.12.P. 9-20 [In Russian: Prospects for high-speed passenger transportation (2015) *Railways of the world*].
2. Сушков Ю.С. (2013) Проблемы и закономерности развития скоростных железных дорог в мире. Градостроительство. No.1. P.75-81 [In Russian: Sushkov, Yu.S. (2013) Problems and patterns of development of high-speed railways in the world. *Urban Development*].
3. WorldSpeedSurvey (2013) Chinasprintsoutinfront. *Railway Gazette International*. URL: <http://www.railwaygazette.com/news/high-speed/single-view/view/world-speed-survey-2013-china-sprints-out-in-front.html>.
4. Волчок Ю.Г. (2011) Формирование единого транспортного пространства Евразийского экономического сообщества. Транспорт Российской Федерации. No. 1(32). P. 4-7 [In Russian: Volchok YuG (2011) Formation of the common transport space of the Eurasian Economic Community. *Transport of the Russian Federation*].
5. Djabbarov, S. (2016) Prospects for raising passenger train speed on the reconstructed section of the Uzbekistan railways. *Transport Problems*. Vol. 11. No. 4. P.103-110.
6. Djabbarov, S., Mirakhmedov, M. (2015) Features of the organization movements of high-speed passenger train on Tashkent - Andijan line (of the Uzbekistan railway). In: VII Int. Sci.Conf. "Transport Problems". Katowice: Silesian University of Technology. P.355-360.
7. Breimeier, R. Создание в Германии скоростной железнодорожной сети. // *Eisenbahntechnische Rundschau*, 1999, №1-3 с. 15-16, 23-26, 28-29, пер. с нем.
8. Andersen, Sven. Проблематика смешанных пассажирских и грузовых перевозок при большой разнице скоростей движения. // *Eisenbahntechnische Rundschau*, 1995. №5 с.351-360, перевод с нем.
9. Raghunathan, R.S., Kim, H-D, Setoguchi, T. (2002) Aerodynamics of high-speed railway train. *Progress in Aerospace Sciences*. Vol. 38. No. 6-7.P. 469-514.
10. Diedrichs, B. (2006) Studies of Two Aerodynamic Effects on High-Speed Trains: Crosswind Stability and Discomforting Car Body Vibrations inside Tunnels. Doctoral Thesis. Stockholm: KTH. 74 p. URL: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:11067/FULLTEXT01.pdf>.

11. Holmes, S., Schroeder, M., Toma, E. (2000) High-Speed Passenger and Intercity Train Aerodynamic Computer Modeling. In: *International Mechanical Engineering Congress & Exposition*. November 5-10, 2000, Orlando, Florida.
12. Khayrullina, A., Blocken, B., Janssen, W., Straathof, J. (2015) CFD simulation of train aerodynamics: train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*. Vol. 139. P. 100-110.
13. Quinn, A.D., Hayward, M., Baker, C.J., Schmid, F., Priest, J., Powrie, W. (2009) A full-scale experimental and modelling study of ballast flight under high speed trains. *Journal of Rail and Rapid Transit*. Vol. 224. No. 2. P. 61-74.
14. Jing, G.Q., Zhou, Y.D., Lin, J., Zhang, J. (2012) Ballast flying mechanism and sensitivity factors analysis. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*. Vol. 5. No. 4. P. 928-939.
15. Baker, C.J., Dalley, S.J., Johnson, T., Quinn, A., Wright, N.G. (2001) The slipstream and wake of a high speed train. Proc. IMechE, Part F: *Journal of Rail and Rapid Transit*. Vol. 215. No. 2. P. 83-99.
16. Sterling, M., Baker, C.J., Jordon, S.C., Johnson, T. (2008) A Study of the Slipstreams of High-Speed Passenger Trains and Freight Trains. Proc. IMechE, Part F: *Journal of Rail and Rapid Transit*. Vol. 222. P. 177 – 193.
17. Baker, C. (2010) The Flow Around High Speed Trains. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Vol. 98. P. 277 – 299.
18. Commission Recommendation of 21 March 2001 on the basic parameters of the trans-European high-speed rail system referred to in Article 5(3)(b) of Directive 96/48/EC. URL: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001H0290&from=EN>.
19. Джаббаров С.Т., Мирахмедов М., Мардонов Б.М. (2016) К вопросу безопасности пассажира на высокой железнодорожной платформе при прохождении высокоскоростного поезда. *Инновационный транспорт*. No. 3(21). P. 39-44 [In Russian: Jabbarov, S.T., Mirakhmedov, M., Mardonov, B.M. (2016) On the question of the safety of the passenger on a high railway platform when high-speed train is passing. "Innotrans" Journal].
20. Djabbarov, S., Mirakhmedov, M., Mardonov, B. (2016) Aerodynamic field model of high-speed train. In: VIII Conference International "Transport Problems". Katowice: Silesian University of Technology. P.107-115.
21. Лазаренко Ю.М., Капускин А.Н. (2012) Аэродинамическое воздействие высокоскоростного электропоезда "Сапсан" на пассажиров на платформах и на встречные поезда при скрещении. Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. No. 4. P. 11-14 [In Russian: Lazarenko, Yu.M., Karuskin, A.N. (2012) Aerodynamic impact of high-speed electric train "Sapsan" on passengers on platforms and on oncoming trains at crossing. *Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport*].
22. Orellano, A. (2012) Aerodynamics of High Speed Trains. *Vehicle Aerodynamics Lecture*. 79 p. URL: https://www.mech.kth.se/courses/5C1211/Orellano_2012.pdf.
23. Мирахмедов М.М. (1991) Технология и организация работ по закреплению подвижных песков. Ташкент: Фан. 143 с. [In Russian: Mirakhmedov, M.M. (1991) *Technology and organization of works on fixing mobile sands*. Tashkent: Fan].
24. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог (2011) Москва: ОАО «РЖД». 305 p. [In Russian: Instruction on the calculation of the available railway capacity (2011) Moscow: JSC Russian Railways].
25. Джаббаров С.Т. (2017) Скоростное и высокоскоростное движение поездов на железных дорогах Узбекистана (монография) Ташкент: Paradigma. 200 p. [In Russian: Djabbarov, S. S. (2017) *High-speed and high-speed train traffic on the railways of Uzbekistan* (monograph) Tashkent: Paradigma].
26. Djabbarov, S. (et al.) (2018) Potential and Problems of the Development of Speed Traffic on the Railways of Uzbekistan. *Transport Systems and Delivery of Cargo on East-West Routes*. (Editors: Sladkowski, Aleksander)/ Vol. 155, P. 369-421.