

$$v_{cp} = (v_1 l_1 + v_2 l_2 + \dots) / (l_1 + l_2 + \dots) = \Sigma v_i l_i / \Sigma l_i. \quad (11)$$

Известно, что средневзвешенная скорость должна рассчитываться как отношение всего пройденного пути Σl_i к затраченному времени Σt_i :

$$v_{cp} = \Sigma l_i / \Sigma t_i.$$

Так как на отдельном i -м участке пути время хода $t_i = l_i / v_i$, то средневзвешенная скорость рассчитывается из выражения

$$v_{cp} = (l_1 + l_2 + \dots) / (l_1/v_1 + l_2/v_2 + \dots) = \Sigma l_i / \Sigma(l_i / v_i).$$

Пример. Пусть на двух одинаковых отрезках $l_1 = l_2 = 24$ м скорости движения отцепы соответственно равны 4 и 6 м/с.

По формуле (11) средневзвешенная скорость составит

$$v_{cp} = 24(4 + 6) / 48 = 5 \text{ м/с.}$$

Но расстояние в 48 м было пройдено за $t = 24 / 4 + 24 / 6 = 10$ с, и средняя скорость на всём пути следования должна быть

$$v_{cp} = (24 + 24) / (24 / 4 + 24 / 6) = 4,8 \text{ м/с.}$$

Погрешность очевидна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Проектирование сортировочных горок : пособие. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 170 с.
- 2 Сортировочные станции : учеб. пособие / М. Н. Луговцов [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 248 с.
- 3 НИР №Д/ю 951(4401). Научно-методические и практические задачи расчётов и проектирования инфраструктуры железнодорожного транспорта : отчет о НИР № Д/ю 951(4401), разд. 1 / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. В. Я. Негрей; исп. М. Н. Луговцов. – Гомель : БелГУТ, 2007. – С. 151–156.

Получено 17.08.2016.

ISBN 978-985-554-707-6. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2017

УДК 656.224(-214)

А. В. КОЛИН, А. А. СИДРАКОВ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ, Д. В. ГОНЧАРОВ
Российский университет транспорта (МИИТ)

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИГОРОДНЫХ УЧАСТКОВ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ ГОРЛОВИН ТУПИКОВЫХ ПАССАЖИРСКИХ СТАНЦИЙ

Ограничивающим элементом пропускной способности участков часто является нерациональное путевое развитие головных тупиковых пассажирских станций. В

качестве варианта увеличения пропускной способности предлагается оптимизация процесса смены локомотивных бригад при одновременном переустройстве путевого развития и совершенствовании технического оснащения и конструкции пассажирских платформ.

В настоящий момент смена локомотивных бригад на тупиковых пассажирских станциях происходит с существенными задержками, связанными не только с временными затратами на опробование тормозов перед каждым рейсом, но и на необходимость преодоления локомотивной бригадой внушительных расстояний от головы до хвоста поезда.

Новая технология, предлагаемая в рамках данной статьи, предусматривает: во-первых, отказ от опробования тормозов моторвагонного подвижного состава при каждом прибытии на станцию; во-вторых, использование дополнительных (резервных) локомотивных бригад при смене направления движения; в-третьих, разделение прибывающих и отправляющихся со станции пассажиров по разным платформам; в-четвертых, оборудование платформ трапелаторами; в-пятых, переукладка стрелочных переводов входной горловины парка прибытия переводами марки 1/11 и, если возможно, — 1/18; в-шестых, изменение конфигурации платформ до трапециевидного типа.

Предлагаемые мероприятия позволят существенно сократить затраты времени нахождения поездов на тупиковых пассажирских станциях, а следовательно, высвободить резервы для прокладывания дополнительных путей для пригородных поездов в график движения.

Данная технология предусматривает одновременное взаимодействие двух соседних тупиковых путей, наличие между ними трапециевидных платформ (большей ширины у начала и сужающейся части к концу платформы) с траволатором, размещенным вторым уровнем на конкорсе (управление движения от начала к хвосту платформы), разделение пассажиров прибытия и отправления (с основной трапециевидной платформы пассажиры производят посадку, на боковые соседние платформы они высаживаются).

Разделение платформ по категориям пассажиров необходимо для оптимизации процесса посадки-высадки: при четком разделении сторон, можно сократить время на эти операции путем их совмещения, то есть открыв двери — одной стороны на посадку, другой — на высадку. Как правило, поезда особенно сильно заселяются со стороны турникетов, что приводит к сильному «давку» с одной из сторон состава, другая же часть состава занимает меньше. В целях компенсации и нахождения баланса заселенности пассажиров, предлагаются траволаторы, устанавливаемые на конкорсе центральной платформы трапециевидного типа, которые позволят за счет большего удобства и скорости перемещать пассажиров в наименее заселенные зоны состава и тем самым увеличить комфортабельность перевозки

В настоящий момент предусматривается обязательное опробование тормозов после смены направления движения. Полный цикл данной операции занимает минимум 15 мин вместе со сменой головной кабины. Учитывая отсутствие переформирования состава, нет необходимости в столь частой проверке тормозов. В связи с этим предлагается сократить число проверок до 1-й в сутки на каждый поезд (при условии сохранения целостности состава), что существенно сократит время на обработку составов.

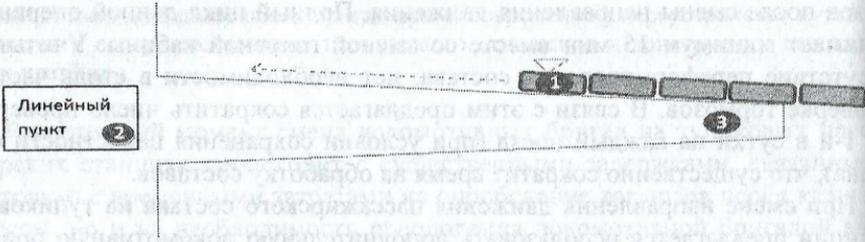
При смене направления движения пассажирского состава на тупиковой станции предлагается использовать дополнительную локомотивную бригаду. Для этого на трапецевидной платформе (в конце) должна находиться вспомогательная локомотивная бригада. В момент прибытия первого состава на один из путей и освобождения локомотивной бригадой этого состава головной кабины, вспомогательная локомотивная бригада, минуя необходимость проследования вдоль всего поезда, за считанные минуты заходит в хвост состава и начинает готовиться к отправлению в обратную сторону. Локомотивная бригада, покинувшая подвижной состав, отмечается по прибытии в линейном пункте смены локомотивных бригад. В это время резервная локомотивная бригада, которая находится в линейном пункте, отправляется в хвост трапецевидной платформы и ожидает прибытия следующего состава. В целях упрощения прохождения локомотивной бригадой расстояния от линейного пункта до хвоста платформы, в часы пик для этого процесса могут использоваться соседние платформы, работающие только по прибытию пассажиров, и наоборот. При прибытии следующего состава на второй путь локомотивная бригада этого состава освобождает кабину в голове поезда, а локомотивная бригада из линейного пункта занимает хвостовую кабину и начинает готовиться к отправлению.

Наглядное изображение предлагаемой системы смены локомотивных бригад представлено на рисунке 1. Кружками условно обозначаются локомотивные бригады, пунктирными стрелками показано направление их движения.

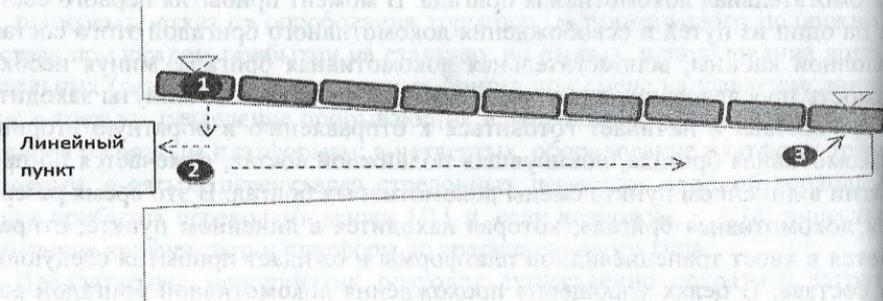
При условии отсутствия проверки тормозов и затрат времени на эти операции подобный принцип смены локомотивных бригад позволит существенным образом сократить время на подготовку состава к отправлению в обратную сторону.

Модификация предлагаемого способа потребует большего количества вспомогательных локомотивных бригад, однако она имеет ряд преимуществ по сравнению со способом, описанным выше. Вспомогательные локомотивные бригады располагаются на предпоследней станции участка, перед тупиковой станцией, там же располагается линейный пункт смены локомотивных бригад. В момент прибытия состава на предпоследнюю станцию участка вспомогательная локомотивная бригада заходит в хвост состава, после чего продолжает следовать до конечной станции участка.

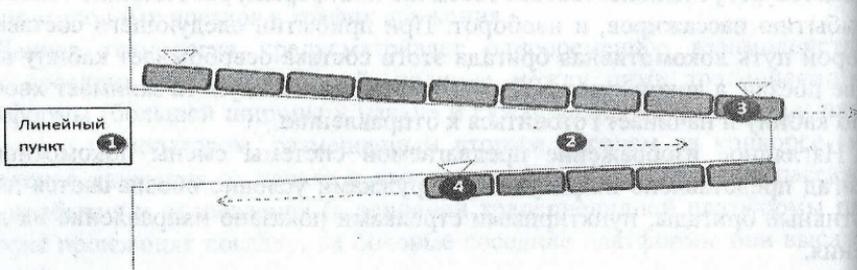
Первый этап



Второй этап



Третий этап



Четвертый этап

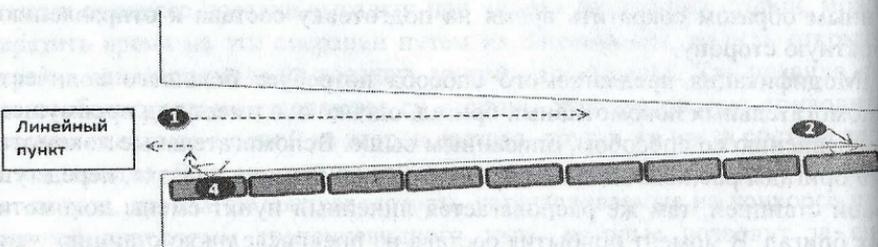


Рисунок 1 – Этапы предлагаемой системы смены локомотивных бригад

С момента остановки вспомогательная бригада начинает подготовку к отправлению, бригада, находящаяся в голове состава, остаётся в кабине и выходит только на следующей станции в месте расположения линейного пункта смены локомотивных бригад. Такая система требует большого количества вспомогательных локомотивных бригад, однако сокращает время на подготовку состава к отправлению.

В настоящий момент типовая горловина тупиковой пассажирской станции (рисунок 2) оборудована многочисленными перекрестными стрелочными переводами и перекрестными съездами, что по техническим характеристикам не позволяет повысить скорость выше 25 км/ч.

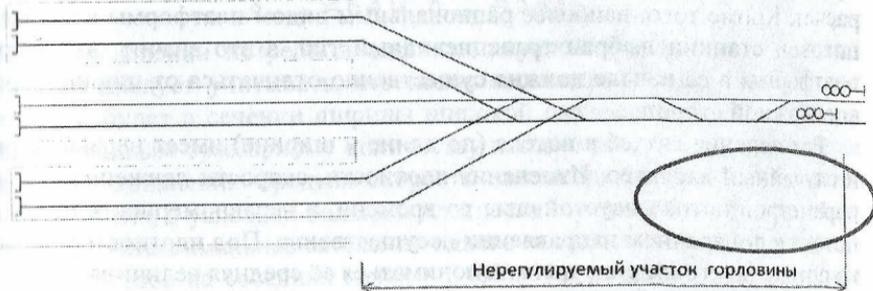


Рисунок 2 – Конструкция горловины путей тупиковой пассажирской станции

Модернизации горловины перронных путей при использовании только двух перронных путей для приема и отправления пригородных поездов (рисунок 3) включает в себя: оборудование горловины стрелочными переводами более пологих марок (1/11 или 1/18), уход от использования перекрестных стрелочных переводов и перекрестных съездов, сокращение длины нерегулируемого участка горловины, где возникают враждебные маршруты, за счет увеличения числа маршрутных светофоров.

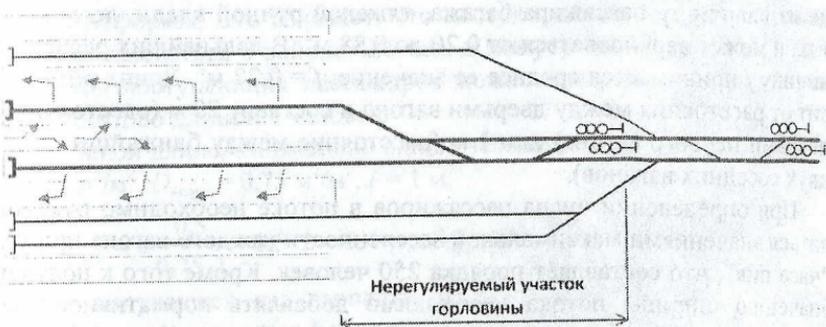


Рисунок 3 – Модернизированная конструкция горловины перронных путей тупиковой пассажирской станции

Для проверки эффективности работы предлагаемой модернизации горловины тупиковой пассажирской станции разработан вариант переустройства станции Москва-Пассажирская-Ярославская и определены предельные межпоездные интервалы в пиковые периоды суток.

Пассажирская платформа на крупных тупиковых станциях должна обеспечивать необходимую пропускную способность за время, ограниченное межпоездным интервалом. Важнейшими характеристиками, непосредственно влияющими на пропускную способность платформы, становятся вид, длина и ширина платформы. Но если длину платформы стоит рассчитывать исходя из максимальной длины составов, использующих данную платформу, то, чтобы найти ширину платформы, необходимо произвести детальный расчет. Кроме того, наиболее рациональным видом платформы в случае тупиковой станции выбран трапециевидный тип, а это значит, что ширина платформы в ее начале должна существенно отличаться от ширины противоположной стороны.

Размещение людей в потоке (по длине и ширине) имеет неравномерный и случайный характер. Изменения плотности, скорости движения и других параметров потока неустойчивы во времени, а неравномерность плотности потока в поперечном направлении незначительна. Под плотностью людского потока по его ширине должна пониматься её средняя величина.

Плотность пассажиропотоков на устройствах пассажирских комплексов может быть выражена отношением суммы горизонтальных площадей пассажиров к площади пола:

$$D = Nf / (\delta l),$$

где N – число пассажиров в потоке; f – площадь горизонтальной проекции одного пассажира, м^2 ; δ и l – ширина и длина потока.

При этом максимальная плотность $D_{\text{макс}} = 0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$, удовлетворяющая же комфортным условиям следования пассажиров при $D_{\text{комф}} = 0,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Площадь горизонтальной проекции одного пассажира выбирается исходя из наличия у пассажира багажа, тяжелой ручной клади, легких сумок и т.п., и может варьироваться от 0,20 до 0,38 м^2 . В дальнейших расчетах за величину f принимается среднее ее значение: $f = 0,27 \text{ м}^2$. Длина потока l зависит от расстояния между дверьми вагона и составит 20 м (расстояние между дверьми первого вагона) или 1 м (расстояние между ближайшими дверями двух соседних вагонов).

При определении числа пассажиров в потоке необходимо руководствоваться значениями максимальной заселенности каждого вагона при условии “часа пик”, что составляет порядка 250 человек. Кроме того к полученному значению ширины потока необходимо добавлять нормативное значение ширины полос безопасности с двух сторон платформы ($l_{\text{без}} = 0,5 \text{ м}$), тем самым получая значение требуемой ширины платформы.

Рассчитывая ширину узкой части трапецевидной платформы (конец платформы), необходимо учитывать, что максимальный поток пассажиров возможен при одновременном нахождении по обе стороны от платформы двух пассажирских пригородных составов. В каждом вагоне по две двери на выход, а следовательно, максимальный поток (250 человек) будет делиться приблизительно поровну (по 100–150 человек из каждой двери).

В таком случае потребная ширина узкой части трапецевидной платформы определяется следующими данными: $f = 0,27 \text{ м}^2$, $D_{\text{комф}} = 0,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $D_{\text{макс}} = 0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $l = 20 \text{ м}$, $N = 300$ человек (по 150 человек с каждого состава). Таким образом, ширина узкой части платформы составит:

$$\delta_{\text{комф}} = 6,4 \text{ м}, \quad \delta_{\text{мин}} = 5,4 \text{ м}.$$

При определении потребной ширины широкой части трапецевидной платформы следует учитывать, что поток пассажиров, прибывающий на платформу, будет в сечении ширины широкой платформы максимальным, однако не равным суммарному количеству пассажиров, так как пассажиры находятся в движении. Средняя скорость пассажира равняется приблизительно 80 м/мин, в условиях большой плотности стремительно уменьшается до 20 м/мин. Максимальное заселение одного поезда составляет 1700 человек (двух поездов на соседних путях – 3400). Максимальная длина потока пассажиров при этом определится как произведение длины вагона на количество вагонов ($25 \times 11 = 275 \text{ м}$).

Таким образом, при максимальной загруженности платформы, если представить поток пассажиров в виде равностороннего прямоугольника, то ширина самой широкой её части должна составлять:

$$\begin{aligned} \delta_{\text{комф}} &= 3400 \cdot 0,27 / (0,75 \cdot 275) + 0,5 \cdot 2 = 5,5 \text{ м}; \\ \delta_{\text{мин}} &= 3400 \cdot 0,27 / (0,92 \cdot 275) + 0,5 \cdot 2 = 4,7 \text{ м}. \end{aligned}$$

С другой стороны, методика организации обработки подвижного состава предполагает, что каждые 7 мин в среднем будет отправляться по одному составу с платформы. Это означает, что поступление пассажиров на платформу будет колебаться в районе 485 чел. в минуту (или 8 чел. в секунду). То есть поток поступающих пассажиров можно представить как горизонтальную проекцию длиной 8 человек.

При условной длине, занимаемой одним человеком, $f_c = 0,5 \text{ м}$, $N = 8$ чел., $D_{\text{макс}} = 0,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $D_{\text{комф}} = 0,75 \text{ м}^2/\text{м}^2$, $l = 1 \text{ м}$,

$$\delta_{\text{комф}} = 8 \frac{0,5}{0,75 \cdot 1} + 0,5 \cdot 2 = 6,4 \text{ м}, \quad \delta_{\text{мин}} = 8 \frac{0,5}{0,92 \cdot 1} + 0,5 \cdot 2 = 5,4 \text{ м}.$$

В итоге получаются два варианта, рассчитанные разными методами. Второй метод представляется более точным, и кроме того, при выборе одного из значений, рассчитанных разными методами, следует опираться на большее значение как с точки зрения резервов на перспективу, так и в целях

организации наибольшего комфорта. Таким образом, ширина узкой части платформы должна составлять при комфортных условиях 6,4 м.

В целях проверки предлагаемых мероприятий по усилению пропускной способности тупиковых пассажирских станций было проведено имитационное моделирование процесса работы платформы в «час пик» в программе AnyLogic (программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией *The AnyLogic Company*). Первые опыты показали, что сдерживающим фактором в работе платформы прежде всего является турникетная зона. При максимальной пропускной способности турникета – один человек в две-три секунды, в «час пик» на входе в турникетную зону образуется значительное скопление пассажиров, в связи с чем было решено расширить широкую сторону платформы, для того чтобы вместить необходимое количество турникетов. На рисунке 4 представлена схема расположения турникетов и других основных элементов предлагаемого варианта пассажирской платформы. По результатам имитационного моделирования было установлено, что при пассажиропотоке 300 пассажиров в минуту потребуется 20–25 турникетов. Таким образом, автоматически возрастает ширина платформы, достигающая значения 20 м. Ширина сужающейся части при этом должна быть не менее 4 м.

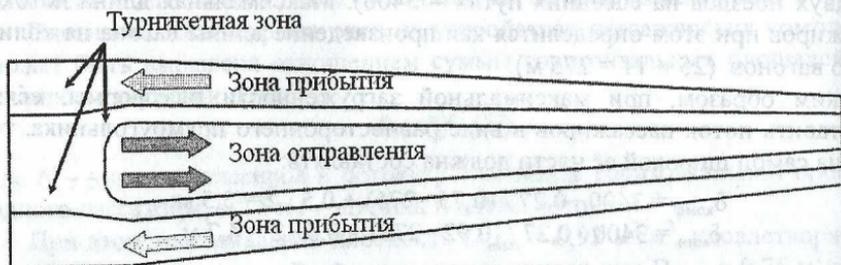


Рисунок 4 – Схема пассажирской платформы

Система показала стабильную работу, однако показатель 300 человек в минуту в настоящий момент не максимален в «час пик». Кроме того, наблюдалось затруднение прохода пассажиров вглубь платформы из-за существенного скопления пассажиров в районе посадки у ближайших к турникетам вагонов.

Результаты имитационного моделирования показывают, что для разных заданных вариантов пропускная способность платформы составляет от 1 до 360 чел. в минуту. Количество турникетов равно 24 шт. Такая конструкция пассажирской платформы способна справляться с максимальным пассажиропотоком в случае возникновения сложностей при движении по платформе.