

УДК 656.222.4(477.74)

Н. И. БЕРЕЗОВЫЙ^{1*}, А. М. ШЕПЕТА^{2*}, В. В. МАЛАШКИН^{3*}

^{1*} Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-12, эл. почта niber07@mail.ru, ORCID 0000-0001-6774-6737

^{2*} Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-70

^{3*} Каф. «Станции и узлы», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 371-51-03, эл. почта malaxa79@mail.ru, .ORCID 0000-0002-5650-1571

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ОДНОПУТНЫХ УЧАСТКОВ

Однокольні дільниці залізниць, як правило, мають потрібну пропускну спроможність, що менша, а у деяких випадках значно менша за наявну. Однак існують однокольні дільниці, де потрібна пропускну спроможність є практично рівною наявній. У цьому випадку виникає потреба в посиленні технічної оснащеності таких дільниць. При розробці та аналізі таких варіантів розрахунок наявної пропускну спроможності виконується аналітично, але при розробці графіка руху поїздів таку пропускну спроможність не завжди вдається реалізувати. Це виникає через вплив на пропускну спроможність обмежуючого перегону порядку пропуску поїздів по суміжних та несуміжних перегонах, кількості приймальновідправних колій на роздільних пунктах, тощо.

В статті розглянуто варіанти прокладки поїздів на обмежуючому перегоні при різних варіантах технічного оснащення суміжних перегонів – однокольні та двокольні. При цьому розглянуто парні непакетні та парні пакетні графіки руху поїздів. Встановлено, що різні варіанти прокладки поїздів впливають на величину періоду графіка руху поїздів і, як наслідок, на наявну пропускну спроможність однокольної дільниці.

Проаналізовано причини впливу технології та порядку пропуску поїздів по інших перегонах однокольної дільниці на величину періоду графіка руху поїздів на обмежуючому перегоні. Враховуючи індивідуальність характеристик однокольних дільниць формалізувати вплив перегонів дільниці на її пропускну спроможність, досить проблематично.

Для визначення пропускну спроможності реальних, нових чи реконструйованих дільниць найбільш перспективним є побудова варіантних графіків руху поїздів для різних його видів, їх порівняння і вибір кращого. Це дає можливість виявити і врахувати вплив всіх перегонів дільниці на її пропускну спроможність. Таке рішення дозволяє також оцінити ефективність можливого збільшення пропускну спроможності дільниць при різних варіантах їх технічного посилення. Єдиним недоліком такого підходу до визначення пропускну здатності однокольних дільниць є значна трудомісткість складання варіантних графіків руху поїздів.

Ключові слова: графік руху поїздів, пропускну спроможність, період графіка, перегін, однокольна дільниця, станційний інтервал, міжпоїзний інтервал.

Однопутные участки железных дорог, как правило, имеют потребную пропускную способность, меньше, а в некоторых случаях значительно меньше наличной. Однако существуют однопутные участки, где потребная пропускная способность практически равна наличной. В этом случае возникает необходимость в усилении технической оснащенности таких участков. При разработке и анализе таких вариантов расчет наличной пропускной способности выполняется аналитически, но при разработке графика движения поездов такую пропускную способность не всегда удается реализовать. Это возникает из-за влияния на пропускную способность ограничивающего перегона порядка пропуска поездов по смежным и несмежным перегонам, количества приемоотправочных путей на отдельных пунктах, и тому подобное.

В статье рассмотрены варианты прокладки поездов на ограничивающем перегоне при различных вариантах технического оснащения прилегающих перегонов – однопутные и двухпутные. При этом рассмотрены парные непакетные и парные пакетные графики движения поездов. Установлено, что различные варианты прокладки поездов влияют на величину периода графика движения поездов и, как следствие, на наличную пропускную способность однопутного участка.

Проанализированы причины влияния технологии и порядка пропуска поездов по другим перегонам однопутного участка на величину периода графика движения поездов на ограничивающем перегоне. Учитывая индивидуальность характеристик однопутных участков формализовать влияние перегонов участка на его пропускную способность, достаточно проблематично.

Для определения пропускной способности реальных, новых или реконструированных участков наиболее перспективным является построение вариантных графиков движения поездов для различных его видов, их сравнение и выбор лучшего. Это дает возможность выявить и учесть влияние всех перегонов участка на его пропускную способность. Такое решение позволяет также оценить эффективность возможного увеличения пропускной способности участков при различных вариантах их технического усиления. Единственным недостатком такого подхода к определению пропускной способности однопутных участков является значительная трудоемкость построения вариантных графиков движения поездов.

Ключевые слова: график движения поездов, пропускная способность, период графика, перегон, однопутный участок, станционный интервал, межпоездной интервал.

Railway track sections usually have a bandwidth needs less, and in some cases much less than cash. However, there are single-track sections, where the need for bandwidth is almost equal to the cash. In this case, there is a need to strengthen the technical equipment such sites. In the development and analysis of such cash settlement options bandwidth is performed analytically, but in the development of the train schedules such capacity is not always possible to implement. This occurs because the impact on the bandwidth limiting ferrying about passing of trains on adjacent and non-adjacent distillation, the number of receiving-paths on separate paragraphs, and the like.

The article describes the options of the trains on the stretch-limiting in different types of technical equipment adjacent spans-single track and double track. At the same time considered no package paired and paired packet train schedules. It was found that the various options of the trains affect the amount of time the train schedule and, as a consequence, the cash bandwidth track sections.

The reasons the impact of technology and the order of passing of trains on other distillation track sections on the value of the period of the train schedule on limiting the stretch. Taking into account the individual characteristics of the single-track sections formalize influence spans the site to its capacity, is problematic.

To determine the capacity of real, new or remodeled areas is to build the most promising variant train schedules for its various types, comparison and selection of the best. This makes it possible to identify and account for the effect of all hauls site on its capacity. This solution also allows to evaluate the effectiveness of a possible increase in bandwidth sites with different variants of their technical amplification. The only drawback of this approach to the definition of capacity single-track sections is considerable complexity of building a variant train schedules.

Keywords: train schedule, capacity, time schedule, stage, single-track section, station interval, the interval between trains.

Введение

Техническая оснащенность железных дорог характеризуется наличной пропускной способностью основных устройств и сооружений.

Наличная пропускная способность железнодорожного участка определяется по перегонам, станциям, устройствам электроснабжения электрифицированных линий, деповским и экипировочным устройствам локомотивного хозяйства.

Результативная пропускная способность участка измеряется в парах грузовых поездов и устанавливается по устройству, которое имеет наименьшую пропускную способность. Порядок аналитических расчетов изложен в «Инструкции по расчету наличной пропускной способности железных дорог Украины ЦД-0036» [1].

Данные по наличной пропускной способности ограничивающих элементов являются исходной информацией для реализации политики технического усиления железнодорожной инфраструктуры, приведения в соответствие размеров движения и технической оснащенности участков и т.д.

Основным нормативно-технологическим документом, регламентирующим работу всех подразделений железнодорожного транспорта по организации движения поездов, является график движения поездов (ГДП). Порядок разработки графика регламентирует «Инструкция по составлению графика движения поездов на железных дорогах Украины ЦД-0040» [2].

График движения должен обеспечивать непрерывную, ритмичную и слаженную работу как одной железной дороги, дирекции железнодорожных перевозок, транспортного предприятия, так и сети железных дорог в целом.

График движения поездов должен быть реальным. Все его элементы рассчитываются на возможность их безусловной реализации с учетом предоставления «окон» для ремонтных и строительных работ [3].

Постановка задачи исследования

График движения поездов составляется одновременно для всей сети железных дорог на летний период и корректируется на зимний период. Расписание пассажирских поездов, как правило, разрабатывается на два-три года. Кроме того, должны составляться варианты графика на период значительных изменений

размеров пассажирского и грузового движения, плановых перерывов в движении поездов. ГДП разрабатывается для потребной пропускной способности участков железных дорог, которая, как правило, меньше наличной. В этом случае не возникает проблем построения ГДП. Однако существуют участки, наличная пропускная способность которых исчерпана или потребная приближается к наличной пропускной способности. Кроме этого, для однопутных участков при построении ГДП не всегда удается реализовать размеры движения, соответствующие наличной пропускной способности, значение которой получено аналитическим способом.

В этой связи в статье поставлена задача учета и формализации специфики параметров однопутных участков для обеспечения прокладки максимального количества поездов при построении ГДП.

Выбор того или иного варианта графика движения поездов на основании технико-экономических расчетов может являться основой для разработки вариантов усиления технической оснащённости участков с целью увеличения их пропускной способности.

Анализ условий прокладки поездов на однопутных участках при непакетном ГДП

Однопутные участки отличаются большим многообразием. Основные их разновидности:

- с однопутными перегонами и отдельными пунктами, имеющими путевое развитие;
- с однопутными перегонами, с двухпутными вставками для безостановочного скрещения поездов и отдельными пунктами, имеющими путевое развитие;
- с однопутными перегонами и отдельными пунктами, имеющими путевое развитие и не имеющими путевое развитие (путевые посты примыкания);
- с однопутными перегонами и с двухпутными вставками для безостановочного скрещения поездов и отдельными пунктами, имеющими и не имеющими путевое развитие.

Пропускная способность участка определяется по формуле

$$N_{\text{пс}} = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \cdot \alpha_{\text{н}}}{T_{\text{пер}}^{\text{огр}}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{тех}}$ – продолжительность технологических перерывов, которые учитываются при построении графика движения поездов, $t_{\text{тех}} = 60 \dots 120$ мин;

$T_{\text{пер}}^{\text{огр}}$ – период пары поездов на ограничивающем перегоне, мин;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент надёжности технических средств участка, $\alpha_{\text{н}} = 0,95 \dots 0,97$.

Определённая по формуле (1) пропускная способность участка не всегда достижима. Сказывается влияние других однопутных перегонов участка на его пропускную способность.

Для примера рассмотрим однопутный участок А-Е, схема которого приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема однопутного участка А-Е

Для этого участка рассмотрим один из самых простых парных непакетных графиков движения поездов – параллельный неидентичный график. При этом на участке обращаются однотипные поезда установленной весовой нормы в четном и нечетном направлении. Для этого случая примем однопутный перегон в-г ограничивающим. Раздельные пункты в и г имеют путевое развитие (приемоотправочные пути кроме главного), а смежные перегоны б-в и г-д однопутные. Тогда минимальный интервал одновременного прибытия поездов $\tau_{\text{ин}}$ по раздельным пунктам в и г включает суммарную продолжительность операций:

- контроль ДСП или ДНЦ при диспетчерской централизации за прибытием поезда с остановкой;
- приготовление маршрута пропуска встречного поезда;
- открытие входного и выходного сигналов для пропускаемого без остановки поезда;
- проследование встречным поездом расчетного расстояния.

Расчетное расстояние зависит от конкретных условий раздельного пункта. Продолжительность операции проследования расчетного расстояния зависит от скорости движения поезда, которая определяется тяговыми расчетами.

Продолжительность первых трех операций для раздельных пунктов одного участка, как правило, одинаковое или отличается незначительно.

Минимальный интервал скрещения поездов $\tau_{\text{с}}$ включает суммарную продолжительность следующих операций [4]:

- контроль ДСП или ДНЦ при диспетчерской централизации за проследованием поезда через раздельный пункт;

- приготовление маршрута для отправления встречного поезда;
- открытие выходного сигнала для отправляемого поезда;
- восприятие выходного сигнала машинистом локомотива и приведение поезда в движение.

Продолжительность указанных операций зависит от конкретных условий отдельных пунктов.

Остальные составляющие периода графика движения поездов для ограничивающего перегона (время следования поезда в четном и нечетном направлении, время на разгон и замедление поезда на отдельных пунктах β и γ) определяются тяговыми расчетами.

Имея все составляющие для расчета $T_{пер}^{огр}$ по каждой из схем пропуска поездов, можно определить ту схему, которая обеспечивает минимальное значение $T_{пер}^{огр}$. Используя эту схему для пропуска поездов по ограничивающему перегону можно ожидать максимальной пропускной способности участка при данном виде ГДП. Возможные схемы прокладки поездов на ограничивающем перегоне $\beta-\gamma$ приведены на рис. 2.

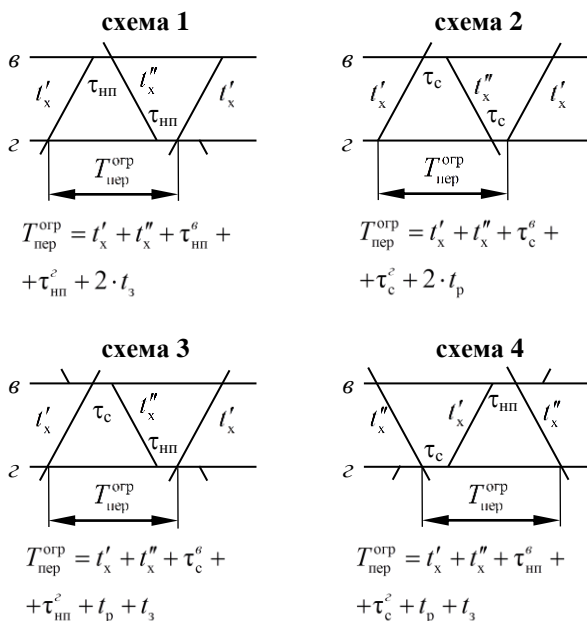


Рис. 2. Схема прокладки поездов на ограничивающем перегоне при его расположении между двумя однопутными перегонами

Рассмотрим случай, когда перегон $\beta-\gamma$ двухпутный и может быть использован для безостановочного скрещения поездов. Тогда приведенные на рис. 2 схемы приобретают вид, при-

веденный на рис. 3. Схемы прокладки поездов обозначены теми же номерами.

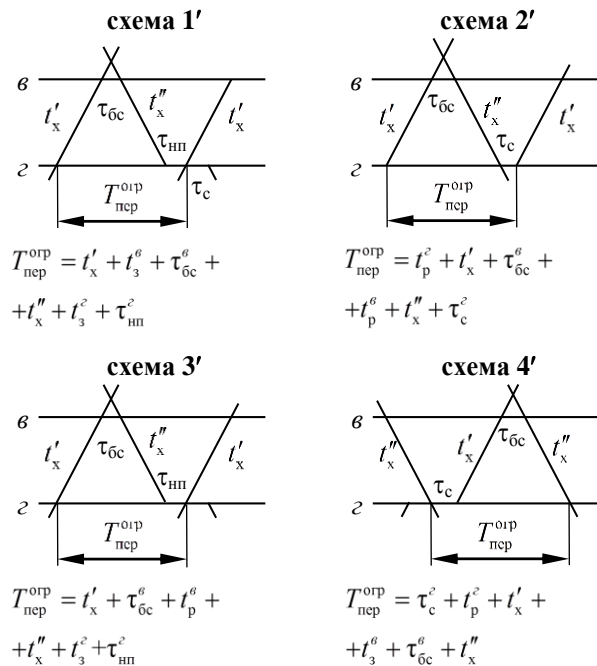


Рис. 3. Схема прокладки поездов на ограничивающем перегоне при его расположении между двухпутным и однопутным перегоном

Формулы для расчета периода графика на ограничивающем перегоне $\beta-\gamma$ будут иметь следующий вид:

- схема 1' – $T_{пер}^{огр} = t'_x + \tau_{\beta\gamma}^{\beta} + t''_x + t_3^{\gamma} + \tau_{нп}^{\gamma}$;
- схема 2' – $T_{пер}^{огр} = t_p^{\beta} + t'_x + \tau_{\beta\gamma}^{\beta} + t''_x + \tau_c^{\gamma}$;
- схема 3' – $T_{пер}^{огр} = t'_x + \tau_{\beta\gamma}^{\beta} + t''_x + t_3^{\gamma} + \tau_{нп}^{\gamma}$;
- схема 4' – $T_{пер}^{огр} = \tau_c^{\beta} + t_p^{\beta} + t'_x + \tau_{\beta\gamma}^{\beta} + t''_x$.

Сравнение этих формул с формулами определения $T_{пер}^{огр}$ для схем, приведенных на рис. 2 показывает, что во втором случае количество составляющих уменьшается с шести до пяти и появляется новый элемент $\tau_{\beta\gamma}$, т.е. минимальный интервал безостановочного скрещения поездов. Продолжительность этого интервала представляет собой суммарную продолжительность следующих операций:

- контроль освобождения стрелочной горловины поездом одного направления;
- приготовление маршрута и открытие входного сигнала при условии следования встречного поезда с установленной скоростью;
- прохождение встречным поездом расчетного расстояния.

Продолжительность каждой из этих операций зависит от конкретных условий отдельного пункта β .

Очевидно, что продолжительность периода графика на ограничивающем перегоне для условий безостановочного поездов на раздельном пункте *в* будет меньше в сравнении с аналогичными схемами без такого скрещения. Следовательно, и минимальное значение $T_{пер}^{огр}$ будет меньше чем то, которое использовалось в формуле (1) для определения пропускной способности участка.

Ожидаемое увеличение пропускной способности участка является следствием влияния перегона *б-в* на эту пропускную способность.

Анализ условий прокладки поездов на однопутных участках при пакетном ГДП

При дефиците пропускной способности участка и необходимости ее увеличения используется пакетный или частично пакетный ГДП.

$$N_{пс}^{пак} = \frac{(1440 - t_{тех}) \cdot 0,97 \cdot K_{п}}{T_{пер}^{огр} [K_{п} + (1 - K_{п}) \cdot \alpha_{п}] + (I'_{п} + I''_{п})(K_{п} - 1) \cdot \alpha_{п}}$$

где $K_{п}$ – количество поездов в пакете;

$\alpha_{п}$ – коэффициент пакетности (отношение числа поездов, прокладываемых пакетами, к общему количеству поездов);

$I'_{п}, I''_{п}$ – интервал между поездами в пакете в четном и нечетном направлении, мин.

Интервал между поездами в пакете – это минимальное время, которым разграничиваются поезда при следовании по перегонам на участках, оборудованных автоматической блокировкой. Его значение определяется тяговыми расчетами в условиях движения по участку без остановок на раздельных пунктах, в соответствии с размещением светофоров. Продолжительность интервала зависит также от количества блок-участков, разграничивающих поезда в пакете. Минимальное количество разграничивающих блок-участков может быть два (езда под зеленый огонь светофора) или три (езда на зеленый огонь светофора).

Рассмотрим возможные схемы прокладки поездов на ограничивающем перегоне *в-г* для пакетного ГДП при количестве поездов в пакете 2. Эти схемы приведены на рис. 4. Нумерация схем аналогична рисункам 2 и 3.

На рис. 4 приведены формулы для определения периода графика по каждой схеме при пакетном ГДП.

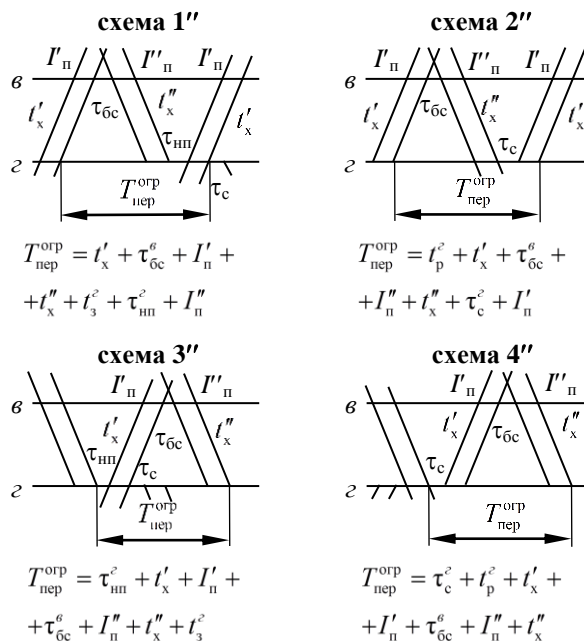


Рис. 4. Схемы прокладки поездов на ограничивающем перегоне при пакетном ГДП и двух поездах в пакете

В этих формулах для каждой из схем повторяются пять составляющих – время хода поезда в четном и нечетном направлении, интервалы между поездами в пакете в четном и нечетном направлении, а также интервал безостановочного скрещения поездов по раздельному пункту *в*. Кроме того перечня оставшихся двух составляющих для схем 1'' и 3'' совпадают. Также совпадают две оставшиеся составляющие для схем 2'' и 4''. Т.е. фактически минимальный период графика выбирается из двух значений. Для выбранного периода графика пропускная способность участка определяется по формуле

$$N_{пс(пак)} = \frac{(1440 - t_{тех}) \alpha_{п} K_{п}}{T_{пер}^{огр}} \quad (2)$$

Анализ влияния смежных перегонов на прокладку поездов на ограничивающем перегоне

Реализовать пропускную способность, определяемую по формуле (2), возможно при отсутствии влияния на неё других перегонов участка. Для примера рассмотрим возможное влияние на пропускную способность участка смежного с ограничивающим перегонем *в-г* однопутного перегона *г-д*.

Для каждой из схем прокладки поездов, приведенных на рис. 4, рассмотрим прокладку поездов и на смежном однопутном перегоне *г-д*. Первые две схемы прокладки поездов при

пакетном ГДП и $K_n = 2$ с участием двух однопутных перегонов приведены на рис. 5.

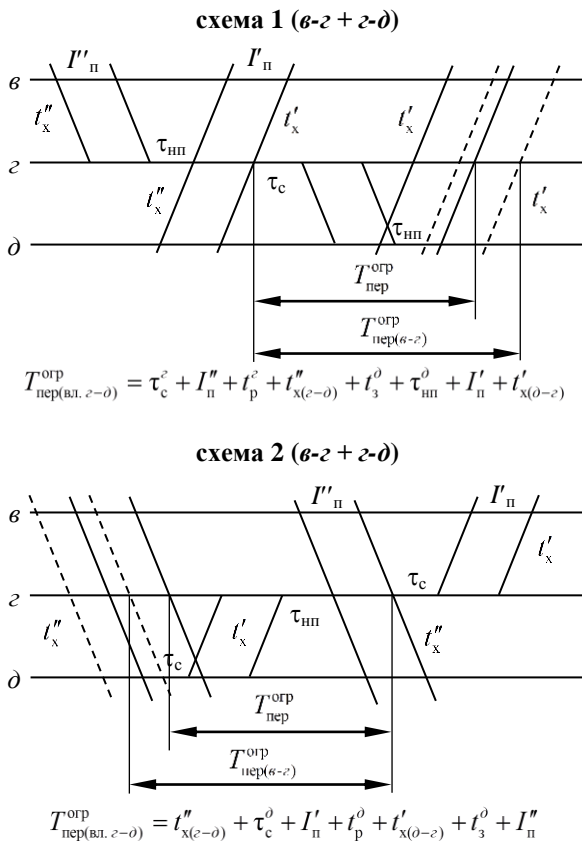


Рис. 5 – Схемы прокладки поездов на ограничивающем и смежном перегонах при пакетном ГДП и двух поездах в пакете

Что касается оставшихся двух схем, то схема 3 ($\theta-z+\delta$) для условий пропуска поездов по двум смежным перегонам повторяет схему 1 ($\theta-z+\delta$), а схема 4 ($\theta-z+\delta$) для двух смежных перегонов аналогична схеме 2 ($\theta-z+\delta$).

Можно изменить порядок пропуска поездов по отдельному пункту δ , что даст возможность рассмотреть еще несколько вариантов, но от этого смысл приведенного на рис. 5 не поменяется. На этом рисунке пунктиром показано смещение пакета поездов из-за влияния перегона $z-\delta$. Это смещение необходимо в следующих случаях:

- поезда четных и нечетных пакетов скрещиваются на перегоне $z-\delta$, что недопустимо;
- время одновременного прибытия второго поезда в пакете одного направления и первого поезда в пакете второго направления по отдельному пункту δ меньше $\tau_{\text{нп}}^0$ (см. рис. 5, схема 1);
- время проследования второго поезда в пакете одного направления отдельного пункта δ и отправления с этого отдельного пункта пер-

вого поезда пакета второго направления меньше τ_c^0 (см. рис. 5, схема 2).

На рис. 5 приведены формулы определения периода ГДП на ограничивающем перегоне с учетом влияния смежного перегона для пакетного ГДП. Если минимальное значение одного из этих периодов больше минимального значения, определенное по формулам, указанным на рис. 4, то рассматриваемый перегон $z-\delta$ оказывает влияние на пропускную способность участка. В данном случае пропускная способность определяется с учетом минимального периода, определенного по формулам на рис. 5.

Очевидно, что наличие влияния и его степень для рассматриваемых в исследованиях случаев зависит от характеристик, как ограничивающего перегона, так и смежных с ним перегонов.

Во многих случаях на пропускную способность однопутных участков оказывают влияние и другие перегоны участка. Отдельный случай, когда на участке имеются так называемые «фальшивые» перегоны, т.е. перегоны, ограниченные с одной или с двух сторон отдельными пунктами без путевого развития (путевые посты примыкания). Особенности этих отдельных пунктов в том, что на них не предусматриваются остановки поездов. В этом случае, при определении влияния таких перегонов на пропускную способность участка должны указываться объемы разделяемых фактических или прогнозируемых поездопотоков.

Подходы к построению графиков движения на однопутных участках, описанные в статье применены при выполнении научно-исследовательских работ [5, 6]. Данные НИР посвящены определению максимальной пропускной способности и разработке вариантов усиления технического оснащения участка станция Черноморская – станция Береговая (станция Химическая). Данный участок обслуживает крупные морские порты, расположенные в Малом Аджалыкском лимане вблизи г. Южный.

Выводы

Учитывая многообразие однопутных участков и разнообразие характеристик их перегонов по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Определение пропускной способности однопутного участка аналитическим способом не всегда дает правильные результаты решения.
2. Наличие влияния отдельных перегонов однопутного участка на пропускную способ-

ность, определенную по периоду графика на ограничивающем перегоне, снижает указанную пропускную способность.

3. Учитывая индивидуальность однопутных участков, их перегонов, как по технической оснащенности, так и по характеристикам формализовать влияние перегонов участков на его пропускную способность, весьма проблематично.

4. Для определения пропускной способности реальных, реконструируемых или проектируемых участков наиболее перспективным является построение вариантных ГДП для различных его видов, их сравнение и выбор лучшего. Это дает возможность выявить и учесть влияние всех перегонов участка на его пропускную способность. Такое решение позволяет также оценить эффективность возможного увеличения пропускной способности участков при различных вариантах их технического усиления. Единственным недостатком такого подхода к решению задачи определения пропускной способности однопутных участков является значительная трудоемкость составления вариантных ГДП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 [Текст] : затв. : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку

України від 23.11.2004 р № 1026. – Київ: Мін-во трансп. та зв'язку України, 2002. – 376 с.

2. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України ЦД-0040 [Текст] : затв.: Наказ Укрзалізниці від 05.04.2002 р № 170-Ц. – Київ: Укрзалізниця, 2001. – 159 с.

3. Інструкція про порядок надання та використання «вікон» у графіку руху поїздів для ремонтних і будівельних робіт на залізницях України ЦД-ЦП-ЦШ-ЦЕ-0083. [Текст] : затв.: Наказ Укрзалізниці від 16.06.2011 № 290-Ц. – Київ: Укрзалізниця, 2011. – 95 с.

4. Інструкція з визначення станційних і міжпоїзних інтервалів ЦД-0034. [Текст] : затв.: наказ Укрзалізниці від 01.12.2000 р № 542/Ц. – Київ: Транспорт України, 2001. – 149 с.

5. Звіт з науково-дослідної роботи «Розрахунок максимальної пропускної спроможності дільниці Чорноморська – Берегова (Хімічна)». [Текст] – ТОВ «НВП «УКРТРАНСАКАД». – 2012.

6. Звіт з науково-дослідної роботи «Розрахунок максимальної пропускної спроможності дільниці Чорноморська – Берегова (Хімічна) при різних варіантах посилення її технічного оснащення». [Текст] – ТОВ «НВП «УКРТРАНСАКАД». – 2015.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Ломотько Д. В. (Україна)

Надійшла до редколегії 09.12.2014.

Прийнята до друку 19.12.2014.