

Мейсак Евгений Александрович, Белорусская железная дорога
(Беларусь, Минск), инженер

e-mail: zmeysak@mail.ru, 222210, г. Смолевичи, ул. Вокзальная, 8

Кузнецов Владимир Гаврилович, Белорусский государственный университет
транспорта (Беларусь, Гомель), кандидат технических наук, доцент

e-mail: kvq55@yandex.by, 246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПРОПУСКА КОНСОЛИДИРОВАННЫХ МАРШРУТНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПОЕЗДОВ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Представлена модель формирования контейнерных поездов на станции концентрации контейнерных потоков на основе множества плановых корреспонденций грузоотправителей Республики Беларусь. Определены базовые процессы на железнодорожной инфраструктуре от станции зарождения контейнеропотока до станции его назначения, представлена блок-схема выбора способа организации контейнерных поездов (блок поездов) исходя из параметров грузопотока и технических возможностей транспортных коридоров, транспортно-логистических центров на маршруте следования.

Ключевые слова: транспортные коридоры; железнодорожный транспорт; перевозочный процесс; железнодорожные станции; трансформация контейнеропотока; контейнерный поезд; технологическая модель; технологические операции.

Эффективность перевозки грузов в контейнерах на принципах их консолидации в контейнерные маршрутные грузовые поезда (КМКП) [1, 2] определяется исходя из обеспечения заявок отправителей на перевозку грузов в контейнерах $\{\Gamma_{sj}^{з.к}\}$ и формирования технологической модели, которая обеспечивает соблюдение установленных сроков доставки $T_{д,доп}^{пп}$, согласованного расписания проследования контейнерного потока в поездах на процессах подвода к станции концентрации и следования в организованных контейнерных поездах $T_{гдп}^{кп}(n_{pq}^{кп})$, определенного перевозчиками на маршруте следования и приемлемых эксплуатационных затрат $E_3^{кп}$ всех участников перевозочного процесса:

$$E_3^{кп} = \sum_{j=1}^{k_{упп}} E_{3j}^{кп}, T_d^{кп} \leq T_{д,доп}^{пп};$$
$$T_{гдп}^{кп}(n_{pq}^{кп}) = [T_{рмр}^{пп}, \{T_{уч}^{пп}\}, \{T_{тс}^{кп}\}, \{T_{уч}^{кп}\}, \{T_{тс}^{тлц}\}, T_{рмр}^{кп}]. \quad (1)$$

Для формирования технологической модели организации КМКП необходимо установить грузовую базу, достаточную для формирования КМКП, сетевую дорожную модель доставки вагонов с контейнерами на станцию концентрации, сетевую модель пропуска на маршруте следования с обслуживанием на сетевых транспортно-логистических центрах (ТЛЦ) по операциям обмена групп (составов) КМКП [3, 4].

Под **потенциальной грузовой базой** КМКП понимается объем продукции предприятий различного профиля, которые отправляют свою продукцию в контейнерах железнодорожным транспортом на экспорт по устойчивым транспортным коридорам. Республика Беларусь (РБ) обладает достаточной номенклатурой грузов, которые являются потенциальными для перевозки: калийные удобрения, продовольственные товары, продукция лесной и пищевой промышленности, машины и оборудование, а также продукция химической и фармацевтической промышленности. Часть грузопотока уже имеет практику отправки в контейнерных маршрутах [1, 2, 3]. Однако много предприятий, объем продукции которых позволяет отправлять грузы повагонными отправками, т. к. партии грузов по объему незначительны для организации собственных поездных формирований. К таким грузам относятся соль поваренная, сахар, строительные грузы, цемент, продукты перемола, промышленные товары народного потребления и ряд других. Такие грузопотоки можно организовывать в КМКП, существенно сократив эксплуатационные затраты на доставку.

Для определения величины грузовой базы для контейнерных перевозок необходимо консолидировать заявки грузоотправителей, экспортирующих свою продукцию, по транспортным коридорам:

$$\Gamma_s^{\text{кп}}(T) = \sum \Gamma_{sj}^{\text{к}}(T), \quad (2)$$

где $\Gamma_{sj}^{\text{к}}$ – грузопоток в контейнерах j -ого грузоотправителя, перемещаемый по s -ому транспортному коридору.

Потенциальные экспортно-ориентированные хозяйствующие субъекты размещены географически по достаточно большому множеству административно-территориальных единиц всех регионов. Поэтому для консолидации их грузопотоков необходимо устанавливать центры их концентрации (накопления, объединения, в каждом регионе: ТЛЦ с

наличием железнодорожной инфраструктуры, железнодорожные станции с контейнерными площадками (КП) и т. п.

Оценку возможности формирования КМКП необходимо проводить на основе заявленных корреспонденций грузопотока (ГУ-12), которая формируется в среде АС «Месплан». При этом следует учитывать такие параметры: объемы транспортного потока, распределение образования транспортного потока в сети; вектор перемещения корреспонденций в транспортной сети; регулярность образования контейнеропотока по времени (сутки, декада, месяц) и другие.

Формирование модели транспортной сети для доставки грузопотоков в контейнерах на экспорт (рис. 1). Построение модели маршрутной сети для организации КМКП включает решение следующих задач:

- определения перечня станций открытых для выполнения грузовых операций с контейнерами и фитинговыми вагонами (ПС);
- определение перечня опорных станций в РМР (ОС);
- формирование зоны обслуживания предприятий станциями погрузки;
- формирование зоны транспортного обслуживания опорной технической станцией (ОС) прикрепленных (ПС);
- выбор числа и расположения станций концентрации вагонопотока с контейнерами (ТСК);
- определение числа сетевых ТЛЦ, на которых целесообразно проводить обмен групп (составов) в КМКП и технических станций обслуживания (ТСО), взаимодействующей с сетевым ТЛЦ.

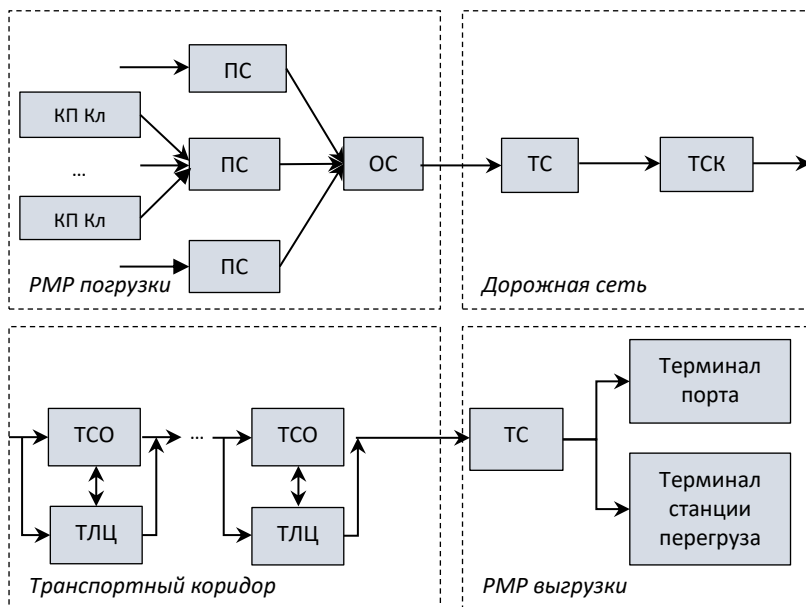


Рис. 1. Сетевое представление формирования и пропуска консолидированных контейнерных поездов в транспортных коридорах

БЧ располагает транспортной инфраструктурой, которая может быть использована в технологии формирования консолидированных маршрутов: 24 технических станции (часть из них объединенные станции); 228 станций осуществляют грузовые операции, 6 предприятий по терминальной обработке грузов, 52 грузовых терминала, 16 контейнерных терминалов по переработке большегрузных контейнеров, из которых станции Брест-Северный, Колядичи, Витебск, Орша, Барановичи, Лида, Пинск имеют возможность перерабатывать 20-ти и 40-футовые контейнеры. Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ и перегруза БЧ имеет 4 механизированных дистанции погрузочно-разгрузочных работ, предприятия УП «Минскжелдортранс» и УП «Гомельжелдортранс», которые оснащены необходимыми механизмами [2].

Анализ распределения потенциальных предприятий и объемов их продукции, отправляемой в контейнерах на экспорт, показывает, что на

БЧ можно рассматривать несколько железнодорожных направлений [2, 5], на которых образуются устойчивые контейнеропотоки в международном сообщении:

- участие в реализации китайской инициативы «Один пояс, один путь» с предложениями по доставке белорусской продукции:

- ✓ контейнерные сервисы в АТР через порты дальнего Востока;
- ✓ контейнерные сервисы в Китай через сухопутные железнодорожные переходы РФ;
- ✓ контейнерные сервисы в Китай через сухопутные железнодорожные переходы Казахстана;

- участие в реализации международного транспортного проекта Север-ЮГ (Запад-Восток) с предложениями по доставке белорусской продукции:

- ✓ контейнерные сервисы в северном направлении через порты Санкт-Петербургского узла, Мурманска;
- ✓ контейнерные сервисы в южном направлении через порты Черного моря РФ;
- ✓ контейнерные сервисы в южном направлении через порты Каспийского моря РФ;
- ✓ контейнерные сервисы в южном направлении через сухопутные железнодорожные переходы Туркмении и Азербайджана (в южный регион Азии).

Для разработки технологической модели формирования и пропуска в сети КМКП необходимо установить базовые параметры контейнерного поезда (блок-поезда).

Формирование контейнерных поездов на станции концентрации может осуществляться следующими способами [1, 6, 7]:

- отправительские контейнерные маршруты – предприятиями, обладающим объемом перевозимых грузов в контейнерах, достаточным для формирования контейнерных поездов (минимум 57 условных вагонов);

- контейнерные маршруты интегратора организации перевозок (экспедитора, логистического оператора, интермодального оператора), которые консолидируют партии вагонов с контейнерами по установленным периодам времени и организуют перемещение в транспортных коридорах с работой на сетевых ТЛЦ по обмену групп (составов);

- контейнерные маршруты перевозчика (по согласованию с грузоотправителями, экспедиторами и иными участниками организации контейнерных перевозок); образование маршрута из маломощных струй

за счет консолидации множества отправителей и погрузки в установленные периоды времени.

В связи с ограничениями в пропускной способности железных дорог на Восточном полигоне транспортного коридора Запад-Восток (Красноярской, Восточно-Сибирской, Забайкальской, Дальневосточной и иных железных дорог) в ГДП ОАО «РЖД» планирует поэтапный переход к минимальной длине контейнерного состава от 57 до 71 условного вагона. При дефиците пропускной способности Восточного полигона отправление более коротких, как правило, более легковесных контейнерных поездов приводит к неполному использованию мощности локомотива, полезной длины станционных путей и к невыполнению целевых параметров пропуска грузопотока [8, 9].

Исключение сделано для отдельных международных поездов, определенных в протоколах совещаний железнодорожных администраций. Такой подход показывает актуальность формирования консолидированных контейнерных поездов (КМКП) и заключения договоров на формирование таких поездов с контейнерными операторами, которые должны объединять грузовую базу грузоотправителей. Для маршрутов, следующих в международном сообщении (Запада – Восток, Север-Юг) может быть реализована технология пополнения контейнерных поездов в пути следования группой вагонов на сетевых ТЛЦ с контейнерными терминалами.

Параметры КМКП (формулы (3) – (8)) моделируются исходя из возможных технико-эксплуатационных и технологических условий пропуска таких поездов на всем маршруте следования (рис. 2) [1, 8, 9]. Формируется полигон продвижения КМКП от станции формирования до станции назначения, устанавливается станция концентрации и станции размещения сетевых ТЛЦ на маршруте.

Ходовая скорость контейнерных поездов варьируется в диапазоне $(v_x^{min}, \dots, v_x^{max})$, при этом нижняя граница скорости определяется ходовой скоростью грузового поезда установленной в ГДП длины, а верхняя допустимыми скоростями по техническому состоянию подвижного состава и инфраструктуры на всем маршруте следования КМКП $(L_{pq}^{kp}$, где p – станция формирования поезда; q – станция назначения поезда).

Количество сетевых ТЛЦ на маршруте следования варьируются в диапазоне $(K_{тлц}^{min}, \dots, K_{тлц}^{max})$ с учетом наличия крупных контейнерных хабов на транспортных коридорах по маршруту следования поезда,

способных формировать группы (составы) для прицепки к КМКП (или производить обмен групп или составов).

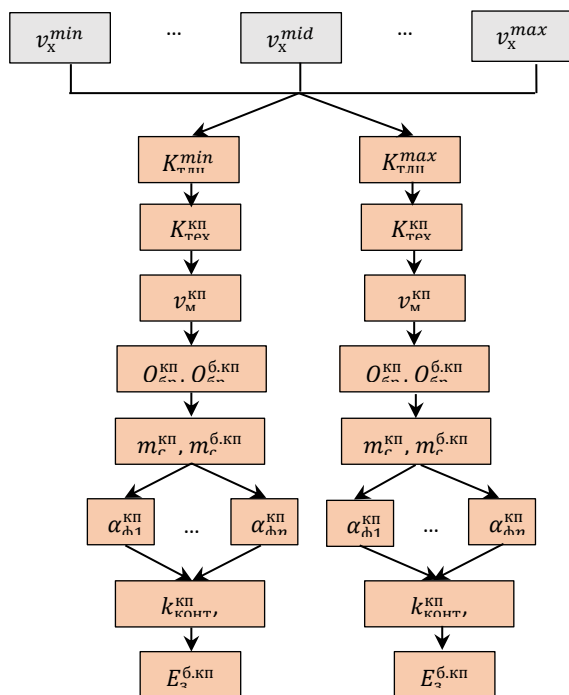


Рис. 2. Блок-схема выбора способа организации контейнерных блок-поездов на маршруте

Количество технических станций ($K_{тех}^{кп}$) устанавливается исходя из системы эксплуатации поездных локомотивов и бригад (параметры $\{L_{y.o.}^{п.л.}\}$ – участки обращения поездных локомотивов на маршруте следования; $\{L_{y.p.}^{бр}\}$ – участки работы локомотивных бригад на маршруте следования), системой технического и коммерческого осмотров составов поездов в пути следования (параметры $\{L_{пто}^{кп}, L_{пко}^{кп}\}$ – вагонные плечи на маршруте следования), а также наличия пунктов таможенного досмотра, пограничного контроля и иных.

Маршрутная скорость ($v_m^{кп}$) на маршруте следования контейнерных поездов моделируется исходя из количества технических

станций ($K_{\text{тех}}^{\text{кп}}$) и сетевых ТЛЦ ($K_{\text{тлц}}^{\text{кп}}$), а также загрузки технических станций ($\gamma_{\text{тех}}^{\text{кп}}$), сетевых ТЛЦ ($\gamma_{\text{тлц}}^{\text{кп}}$) и железнодорожных участков ($\gamma_{\text{гдп}}^{\text{кп}}$):
 $v_{\text{м}}^{\text{кп}} = f(K_{\text{тех}}^{\text{кп}}, K_{\text{тлц}}^{\text{кп}}, \gamma_{\text{тех}}^{\text{кп}}, \gamma_{\text{тлц}}^{\text{кп}}, \gamma_{\text{гдп}}^{\text{кп}})$.

Маршрутная скорость определяется исходя из установленных норм времени на выполнение технологических операций на объектах инфраструктуры:

$$v_{\text{м}} = \frac{L_{pq}^{\text{кп}}}{\sum T_{\text{тех}}^{\text{кп}} + \sum T_{\text{тлц}}^{\text{кп}} + \sum T_{\text{уч}}^{\text{кп}}}, \quad (3)$$

где $\sum T_{\text{тех}}^{\text{кп}}, \sum T_{\text{тлц}}^{\text{кп}}, \sum T_{\text{уч}}^{\text{кп}}$ – соответственно затраты времени на выполнение операций на технических станциях, сетевых ТЛЦ, железнодорожных участках на маршруте следования ($L_{pq}^{\text{кп}}$).

Значения массы состава контейнерного поезда $Q_{\text{бр}}^{\text{кп}}$ и блок-поезда $Q_{\text{бр}}^{\text{б.кп}}$ проверяется по тяговым расчетам на участках маршрута следования в соответствии с технической спецификацией железнодорожных участков, установленной железнодорожной администрацией [6].

Предельное число вагонов в составе КМКП определяться исходя из обеспечения двух условий:

1) использование полезной длины приемоотправочных путей:

$$m_{\text{кп}} = \frac{L_{\text{поп}} - (L_{\text{лок}} + 10)}{\bar{l}_{\text{фп}}}, \quad (4)$$

где $L_{\text{поп}}$ – длина приемо-отправочных путей на опорных станциях РМР технических станциях в пути следования, м; $L_{\text{лок}} + 10$ дополнительное расстояние на размещение поездного локомотива на пути у светофора, м; $\bar{l}_{\text{фп}}$ – средневзвешенная условная длина фитинговой платформы:

$$\bar{l}_{\text{фп}} = \alpha_{40} l_{40} + \alpha_{60} l_{60} + \alpha_{80} l_{80}, \quad (5)$$

где $\alpha_{40}, \alpha_{60}, \alpha_{80}$ – доля соответственно 40, 60 и 80-футовых фитинговых платформ в рабочем парке контейнерного оператора, предоставленных для перевозки грузов в контейнерном поезде; l_{40}, l_{60}, l_{80} – условная длина соответственно 40, 60 и 80-футовых фитинговых платформ;

2) по силе тяги поездного локомотива состав поезда в вагонах:

$$m = \frac{Q_{\text{бр}}^{\text{кп}}}{\bar{q}_{\text{фп}}}. \quad (6)$$

Расчетная средняя масса брутто одной фитинговой платформы $\bar{q}_{\text{фп}}$ рассчитывается с учетом структуры контейнеров для перевозки заявленных грузов:

$$\bar{q}_{\text{фп}} = \alpha_{40}q_{40} + \alpha_{60}q_{60} + \alpha_{80}q_{80}, \quad (7)$$

где q_{40}, q_{60}, q_{80} – средняя масса брутто контейнеров, размещаемых соответственно на 40, 60 и 80-футовых фитинговых платформах, т.

Расчет вместимости КМКП поезда в ДФЭ:

$$K_{\text{кп}} = m_{40}k_{40} + m_{60}k_{60} + m_{80}k_{80}, \quad (8)$$

где m_{40}, m_{60}, m_{80} – количество вагонов соответственно 40, 60 и 80-футовых фитинговых платформ в составе поезда, вагонов; k_{40}, k_{60}, k_{80} – вместимость соответственно одной 40, 60 и 80-футовой фитинговой платформы в контейнерах ДФЭ.

Расходы при организации перевозки КМКП учитывают совокупность затрат [1, 10], которые возникают по всей транспортно-логистической цепи контейнерных перевозок: $E_{\text{хр}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с хранением партии контейнеров с грузами у отправителей, на терминалах ТЛЦ и т. п.; $E_{\text{нк}}^{\text{кп}}$ – расходы, вызываемые простоем партии контейнеров на контейнерном пункте станции; $E_{\text{нв}}, E_{\text{тех}}^{\text{кп}}, E_{\text{тлц}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с простоем вагона на станциях при продвижении контейнеров до станции концентрации, на технических станциях в пути следования КМКП, а также на технических станциях размещения сетевых ТЛЦ; $E_{\text{дв}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с нахождением КМКП в движении (с учетом затрат на содержание локомотивов и бригад); $E_{\text{гр}}^{\text{кп}}$ – расходы на перевозку грузов в контейнерах; $E_{\text{обг}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с простоем грузовых поездов при обгоне их КМКП; $E_{\text{пв}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с погрузкой, выгрузкой и перегрузкой контейнеров; $E_{\text{дост}}^{\text{кп}}$ – расходы, связанные с временем доставки грузов в контейнерах; $E_{\text{м}}^{\text{кп}}$ – расходы на маневровую работу по формированию КМКП (блок-поездов), изменению составов в пути следования на сетевых ТЛЦ.

При моделировании вариантов ходовой скорости КМКП за исходную величину принимают ходовую скорость $V_{\text{х}}^{\text{кп}}$ грузового поезда и постепенно ее повышают на $\Delta V_{\text{х}}$ (от 5 до 10 км/ч): $V_{\text{х}}^{\text{кп}} = V_{\text{х}}^{\text{кп}} + \Delta V_{\text{х}}$. При этом устанавливается ограничение: $V_{\text{х}}^{\text{гп}} \leq V_{\text{х}}^{\text{кп}} \leq 0,9V_{\text{л}}$, где $V_{\text{л}}$ – допустимая скорость локомотива, км/ч.

Расчет по вариантам производится до выполнения условия $\sum E_{j+1}^{\text{кп}} \geq \sum E_j^{\text{кп}}$. При соблюдении указанного условия расходы $\sum E_j^{\text{кп}}$ являются минимальными. Расчетная скорость контейнерного поезда может быть исходной для оценки возможностей пропуска на маршруте следования.

Моделирование вариантов состава КМКП проводится в зависимости от принятой для него скорости. Расходы определяются последовательно от вместимости поезда $m_1^{\text{кп}}(K_1^{\text{кп}})$, соответствующей установленной минимальной норме в соответствии с соглашениями в международных перевозках ($\sum E_1^{\text{кп}}$). Затем пошагово проводится моделирование путем увеличения величины состава. Такие расчеты проводятся до тех пор, пока не будет выполнено условие: $\sum E_{i+1}^{\text{кп}} \geq \sum E_i^{\text{кп}}$. Вместимость поезда, при которой $\sum E_i^{\text{кп}}$ минимальна, является оптимальной. При каждом шаге расчета длина поезда сравнивается с длиной станционных путей и тяговыми возможностями поездного локомотива.

Представленная технологическая модель, алгоритм и методика выбора параметров контейнерных поездов (блок-поездов) на железнодорожной инфраструктуре РБ позволяют консолидировать грузовую базу множества отправителей и обеспечить пропуск консолидированного контейнеропотока в специализированных поездах на значительных полигонах (Запад-Восток, Север-Юг). Эффективность таких перевозок повышается за счет включения в технологическую модель сетевых ТЛЦ, расположенных на маршруте следования КМКП. Технология назначения КМКП может быть включена в ЕТПП транспортных коридоров, стать основой для повышения взаимодействия множества участников перевозочного процесса и позволяет обеспечить необходимый социально-экономический синергетический эффект на товаро-транспортном рынке РБ.

1. Контейнерная транспортная система / Л. А. Коган, Ю.Т. Козлов, М.Д. Ситник и др.: Под ред. Л. А. Когана. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Транспорт, 1991. – 254 с.
2. Сладкевич А.Н. Инновационные решения по организации логистических схем доставки экспортных грузов/ Тихомировские чтения: наука и современная практика технологии перевозочного процесса: Третья Междунар. научн.-практ. конф. (20,21 октября 2022 г., Гомель, Республика Беларусь). – Гомель: БелГУТ, 2022. – С. 29–36.
3. Еловой И.А. Развитие железнодорожных контейнерных перевозок в Республике Беларусь / И. А. Еловой, Е. В. Малиновский, С. А. Петрачков // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2018. – № 1(36). – С. 58–60.

4. Русак А.Ю. Технологии перевозок сельскохозяйственной продукции с использованием специальных поездных сервисов / А.Ю. Русак, В.Г. Кузнецов // Перспективы развития транспортного комплекса [Электронный ресурс] : Сборник статей/ Белорус. научн. исслед. ин-т «Транстехника». – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2023. – С. 96–101.
5. Миленский В.С. Сопряжение МТК «Север – Юг» с региональными и евразийскими коридорами / В.С. Миленский, В.В. Козлов //Перспективы развития транспортного комплекса [Электронный ресурс] : Сборник статей/ Белорус. научн. исслед. ин-т «Транстехника». – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2023. – С. 25–30.
6. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: учебник для вузов ж. д. транспорта / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарович; под общ. ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
7. Балаев Р.Г. Методология формирования транспортных логистических цепей / А.С. Балалаев, Р.Г. Леонтьев // - Хабаровск. Изд-во ДВГУПС, 2009 – 201 с.
8. Кочнева Д.И. Модель планирования маршрутных контейнерных поездов с грузовыми операциями в пути следования //Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 4. – С. 46–55.
9. Кириллова А.Г. Мультимодальные контейнерные и контрейлерные перевозки / А. Г. Кириллова. – М.: ВИНТИ РАН, 2011. – 260 с.
10. Паршина Р. Н. Методы оценки эффективности реальных инвестиций в развитие контейнерной транспортной системы / Р. Н. Паршина // Транспортное дело России. – 2012. – № 4. – С. 91–94.

Meisak Evgeny, Belarusian Railway (Republic of Belarus, Minsk), engineer
e-mail: zmeysak@mail.ru, 222210, Smolevichi, Vokzalnaya str., 8
Kuznetsov Vladimir, Belarusian State University of Transport (Republic of Belarus, Gomel), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: kvg55@yandex.by, 246653, Gomel, Kirova str., 34

TECHNOLOGICAL MODEL OF FORMATION AND PASSAGE OF CONTAINER BLOCK TRAINS IN THE TRANSPORT NETWORK

A model of the formation of container trains at the concentration station of container flows based on a set of planned correlations of shippers of the Republic of Belarus is presented. The basic processes on the railway infrastructure from the station of origin of the container traffic to the station of its destination are defined, a block diagram of the choice of the method of organizing container trains (block trains) is presented based on the parameters of cargo flow and the technical capabilities of transport corridors, transport and logistics centers along the route.

Keywords: transport corridors; railway transport; transportation process; railway stations; transformation of the traffic flow; container train; technological model; technological operations.