

УДК 656.212

Н. А. ЛОГВИНОВА^{1*}

^{1*} Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел+38-067-524-43-22, эл. почта nata4ka@mail.ru, ORCID 0000-0002-0730-247X

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА НАПРАВЛЕНИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗК ЗНАМЕНКА – ОДЕССА

Метою дослідження є вдосконалення прогнозу підведення експортних вантажів до портів Одеського регіону на основі дослідження та оцінки технологічних параметрів, які впливають на час знаходження вантажопотоку на транспортному напрямку. **Методами дослідження** прийняті методи теорії масового обслуговування, методи аналітичного розрахунку, статистики, факторного аналізу. **Результатом дослідження** є визначення величини відхилення прогнозного часу доставки вантажів від технологічного часу доставки вантажів по залізничному напрямку Знаменка – Одеса. Фактичний час перебування експортних вантажопотоків на залізничному напрямку в даний час значно перевищує технологічний. Виявлено, що найбільші частки понаднормативних простоїв припадають на ділянки і попутні технічні станції, відповідно 45 % і 30 % від загальної кількості наднормативних простоїв. Удосконалення прогнозу підведення експортних вантажів до портів може бути досягнуто шляхом визначення величини наднормативного простою в підсистемах «ділянки» та «попутні технічні станції». **Наукова новизна** полягає в досліджено процес просування вантажопотоків по ділянках залізничного напрямку при різному технічному оснащенні лінії, засобах СЦБ та зв'язку, встановленої ходової швидкості, розмірах пасажирського руху і значенні коефіцієнта заповнення пропускної спроможності.

Ключові слова: пропускна здатність; залізничний напрям; розміри руху поїздів; прогнозування.

Цель исследования является совершенствование прогноза подвода экспортных грузов к портам Одесского региона на основе исследования и оценки технологических параметров, влияющих на время нахождения грузопотока на транспортном направлении. **Методами исследования** приняты методы теории массового обслуживания, методы аналитического расчета, статистики, факторного анализа. **Результатом исследования** является определение величины отклонения прогнозного времени доставки грузов от технологического времени доставки грузов по железнодорожному направлению Знаменка – Одесса. Фактическое время нахождения экспортных грузопотоков на железнодорожном направлении в настоящее время значительно превышает технологическое. Выведено, что наибольшие доли сверхнормативных простоев приходятся на участки и попутные технические станции, соответственно 45 % и 30 % от общего числа сверхнормативных простоев. Совершенствование прогноза подвода экспортных грузов к портам может быть достигнуто путем определения величины сверхнормативного простоя в подсистемах «участки» и «попутные технические станции». **Научная новизна** заключается в исследован процесс продвижения грузопотоков по участкам железнодорожного направления при различном техническом оснащении линии, средствах СЦБ и связи, установленной ходовой скорости, размерах пассажирского движения и значении коэффициента заполнения пропускной способности.

Ключевые слова: пропускная способность; железнодорожное направление; размеры движения поездов; прогнозирование.

The **purpose** of research is to improve the forecast supply of export cargoes to the ports of Odessa region on the basis of the study and evaluation of process parameters that affect the time spent on the transport direction of traffic. **Methods** of research methods adopted queuing theory, analytical calculation methods, statistics, factor analysis. The **result** of the study is to determine the deviation of the forecast from the time of delivery of process-time delivery of goods by rail toward Znamenka – Odessa. The actual time of export cargo traffic on the railway direction is now significantly higher than technological. It was found that the highest proportion of excessive downtime occur in areas of engineering and passing stations, respectively 45 % and 30 % of the total number of excessive downtime. Improving forecast supply of export cargoes to the ports can be achieved by determining the amount of excess downtime subsystems "plots" and "passing the technical plant". **Scientific novelty** is studied the process of moving freight traffic on the sites of railway lines with different line of technical equipment, means of signaling and communications, fixed running speed, size and passenger traffic duty ratio bandwidth.

Keywords: bandwidth; railway line; Sizes trains; forecasting.

Введение

В период согласованных преференций в торговых отношениях Украины со странами Евросоюза значительную роль берет на себя организация логистики перевозочного процесса между производителями и потребителями продукции. Непосредственная железнодорожная перевозка грузов между Украиной и странами ЕС имеет ограничения по перерабатывающей способности приграничных грузовых станций, на которых происходит перегрузка в вагоны европейской колеи или замена колесных пар у вагонов парка СНГ. Последующее продвижение вагонов с замененными колесными парами (раздвижными) по территории происходит в специализированных поездах, состав которых включает в себя от 6 до 15 вагонов с организацией прикрытия вагонами восточноевропейской колеи с двух сторон.

Для повышения товарооборота между Украиной и ЕС в настоящее время используются порты Одесского региона, которые после аннексии портов АР Крым, имеют возможность увеличить свой экспортный потенциал за счет перераспределения объемов переработки. Одновременно с этим, возникает необходимость освоения дополнительных железнодорожных перевозок в направлении портов, что в свою очередь приводит к необходимости увеличения пропускной способности железнодорожных направлений, аналитический порядок которой изложен в [1].

Постановка задачи исследования

Действующая система планирования эксплуатационной работы в настоящее время имеет существенный недостаток -неравномерность продвижения вагонопотоков по транспортной сети, которая затрудняет прогноз даты прибытия грузов в пункты назначения. В свою очередь невыполнение согласованного подвода грузов к припортовым станциям приводит к значительным затруднениям в эксплуатационной работе железных дорог и портов.

В настоящее время в рыночных условиях при планировании эксплуатационной работы перевозчики ориентируются на повышение доходности и рентабельности перевозок, сокращение издержек на перевозку грузов, качественное транспортное обслуживание клиентов. Необходимо произвести увязку звеньев логистической цепочки от станции выгрузки до станции погрузки, учитывая обратную связь оперативного состояния конечных звеньев ло-

гистической цепи с ее первоначальными звеньями за счет уточнения сроков доставки грузов в порты. Это позволит снизить последствия от несогласованного подвода вагонов и судов, обеспечить функциональную и экономическую устойчивость всего транспортного направления.

Анализ последних исследований

Разработка теории и практики взаимодействия различных видов транспорта приведены в исследованиях [2, 3, 9]. С учетом отечественного и зарубежного опыта установлено, что совершенствование организации эксплуатационной работы необходимо осуществлять на основе новых методов управления перевозками, базирующихся на развитии технической базы информационных технологий [4, 10, 11].

Структура технологических решений, направленных на достижение устойчивого положения железных дорог на рынке транспортных услуг за счет ускорения доставки грузов и повышения надёжности выполнения договорных обязательств, снижения эксплуатационных затрат на перевозки изложена. Предложены критерии оценки, обеспечивающие рациональный уровень снижения эксплуатационных расходов, получения максимальной прибыли от перевозок. Определены группы технико-экономических показателей, обеспечивающих оценку заданных критериев [5].

Определение не решенных ранее проблем

На железных дорогах развитых зарубежных стран активно развиваются центры автоматизированного управления перевозками, технологии которых составляют логистические методы управления на базе долгосрочного прогноза движения поездов. При этом в борьбе за клиентов железные дороги стремятся полностью удовлетворить их требования по срокам доставки грузов, созданию информационного сервиса за счет развития методов обеспечения высокой надёжности графика движения поездов, который является основой технологии перевозочного процесса и определяет схему перехода груза по цепочке поездов при его доставке от пункта отправления до пункта назначения.

Совокупность научных положений и методов, направленных на решение проблемы организации железнодорожных перевозок в условиях глобальной реализации информационных технологий, требует адаптации методики прогнозирования движения поездов на железнодорожном направлении.

Основной материал

Основной целью исследования является организация эффективного взаимодействия грузоотправителей с портами с целью минимизации простоя вагонов, судов, перегрузочной техники. Прогнозирование движения поездов в адрес морских портов позволит планировать размеры погрузки на предстоящий период с учетом имеющихся инфраструктурных ограничений и ситуации на дороге. Для снижения последствий от невыполнения согласованного подвода экспортных грузов к портам необходим уточняющий прогноз сроков доставки грузов с учетом сложившейся ситуации на железнодорожном направлении. Уточнение времени доставки груза в порт позволит оптимизировать взаимодействие портов с фрахтовыми компаниями, операторами морских терминалов и стивидорами.

На основе проведенного анализа фактического времени прибытия маршрутов с экспортными грузами в порты Одесского региона, полученные с базы данных АСК ВП УЗ-Е с 2013 по 2014 год были получены следующие данные: в среднем 38 % – маршрутов прибыло точно в срок, 36 % – прибыло в порт с отклонением от заявленного срока доставки груза до 24 часов; 26 % – прибыло в порт с отклонением более 24 часов.

Невыполнение согласованного подвода грузов к припортовым станциям приводит к значительным затруднениям в эксплуатационной работе железных дорог и портов. Так, со стороны железнодорожного транспорта недостатки в работе стыков приводят к дополнительной загрузке инфраструктуры на подходах к портам и припортовым станциям из-за «бросания» поездов и, как следствие, к снижению пропускной способности всего направления в целом. Поезда, отставленные от движения, («брошенные») отрицательно влияют на работу железных дорог, снижая ее пропускную способность и затрудняя продвижение вагонопотоков. На рис. 1 представлена динамика среднесуточного наличия поездов, отставленных от движения, на Одесской железной дороге с 2013 по 2014 год. Динамика «брошенных» поездов характеризуется периодом перевозки грузов.

Так, при перевозке зерновых грузов сезон перевозок длится с августа по март, а количество «брошенных» поездов возрастает с их количеством, массовая перевозка ЖРК происходит круглогодично и снижается в зимние месяцы, а количество «брошенных» поездов связано со снижением выгрузки в морских портах,

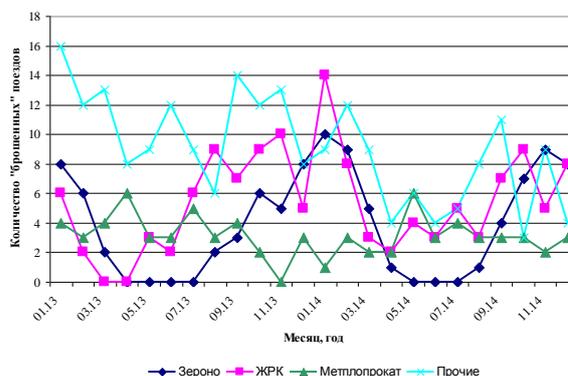


Рис. 1. Среднесуточное количество «брошенных» поездов на железнодорожном направлении Знаменка – Одесса

связанную с необходимостью повышения сыпучести смерзающегося груза. Количество «брошенных» поездов с металлопрокатом вызвано не возможностью складирования груза в портах из-за не своевременного подвода судов и хранения его в портах, завезенного заблаговременно до отгрузки.

Со стороны морского транспорта неритмичный подвод грузов к портам приводит к перегрузке складских площадей из-за использования складов, погрузочно-выгрузочных площадок не для перевалки, а для хранения груза в ожидании судна, с одной стороны. С другой стороны, задержки подвода груза к порту приводят к дополнительным простоям судна у причальной линии из-за недостаточного количества груза для согласованной судовой партии.

На функционирование железнодорожного транспорта оказывают влияние различные факторы. Для минимизации их влияния необходимо решать вопросы оперативного планирования и регулирования. Наиболее острым в действующих условиях остается вопрос прогнозирования моментов прибытия экспортных грузов в порт. Анализ движения поездов на направлении Знаменка – Одесса изложен в [6]. Для целей оперативного планирования и регулирования подхода экспортных грузов к пунктам перевалки необходимо учитывать текущее состояние каждого элемента транспортной системы. Следует ввести понятие «прогнозное время доставки грузов» – динамическая характеристика времени, которая определяется с учетом фактической загруженности транспортных объектов, входящих в транспортное направление.

Для решения поставленной задачи необходимо представить железнодорожное направление Знаменка – Одесса в виде совокупности транспортных объектов. В качестве транспорт-

ных объектов могут выступать: станция погрузки, попутные технические станции (Помошная, Колосовка), участки (Знаменка – Помошная, Помошная – Колосовка, Колосовка – Одесса-Сортировочная, Одесса-Сортировочная – порты Черноморского бассейна), станции выгрузки.

Обозначим станцию погрузки – P_i , станция выгрузки – P_{i+1} , ($i > 1$), технические станции – T_j , $J = 1, 2$, совокупность перегонов и промежуточных отдельных пунктов – d_k , $k = 1, 2, \dots, r$ тогда транспортное направление имеет вид

$$P_i \rightarrow d_k \rightarrow T_{\text{Знам}} \rightarrow d_{k+1} \rightarrow T_{\text{Пом}} \rightarrow d_{k+2} \rightarrow T_{\text{Кол}} \rightarrow d_{k+3} \rightarrow T_{\text{Од-С}} \rightarrow d_{k+4} \rightarrow P_{i+1}.$$

При моделировании продвижения экспортного грузопотока по железнодорожному направлению Знаменка – Одесса в качестве характеристики каждого транспортного объекта используется время нахождения грузопотока на нем.

Взаимодействие объектов железнодорожного направления во многом зависит от выбранной системы организации перевозок грузов: отправительский или технический маршрут. При формировании отправительских маршрутов практически полностью отсутствует их переработка на попутных технических станциях.

На путях необщего пользования станции погрузки происходит загрузка вагонов. В зависимости от типа станции и величины грузопотока происходит либо вывоз груженых вагонов вывозными локомотивами на ближайшую сортировочную станцию, либо тут же формируется поезд. Подсистема «Участки» включает в себя пути сообщения, по которым происходит транспортировка потока от грузоотправителя к грузополучателю. Подсистема «Попутные технические станции» включают в себя сортировочные и участковые станции, на которых выполняются технологические операции. При обработке отправительских маршрутов на участковых и сортировочных станциях и технических маршрутов на участковой станции – смена локомотивов, локомотивных бригад, перецепка локомотивов при изменении направления следования поезда, отцепка вагонов с техническими и коммерческими неисправностями. При обработке технических маршрутов на сортировочных станциях – технический и коммерческий осмотр составов в парке приема перед расформированием, расформирование состава, накопление вагонов в сортировочном парке, формирование составов, технический и ком-

мерческий осмотр составов в парке отправления. На припортовой станции происходит сортировка вагонов по грузополучателям и подача их на пути порта (причалы), где происходит перегрузка груза из вагонов в суда.

Если технологическое время нахождения экспортных грузопотоков на транспортном направлении принять за $T_{\text{тех}}$; прогнозируемое время – $T_{\text{прог}}$, то целевая функция будет иметь вид

$$T_{\text{прог}} = T_{\text{тех}} \pm \Delta T \rightarrow \min \quad (1)$$

$$\Delta T = f(\Delta t_{P_i}, \Delta t_{D_k}, \Delta t_{T_j}, \Delta t_{P_{i+1}}, N) \quad (2)$$

где Δt_{P_i} – разность между технологическим и прогнозируемым временем нахождения вагонопотока на станции погрузки (от момента начала погрузки до отправления);

Δt_{D_k} – разность между технологическим и прогнозируемым временем нахождения вагонопотока на участках;

Δt_{T_j} – разность между технологическим и прогнозируемым временем нахождения потока на попутных технических станциях;

$\Delta t_{P_{i+1}}$ – разность между технологическим и прогнозируемым временем нахождения потока на станции выгрузки (от момента прибытия до момента выгрузки);

N – мощность грузопотока.

Условия стабильного функционирования железнодорожного направления:

– для каждого транспортного объекта, отличного от входа и выхода, количество входящего вагонопотока равно количеству выходящего;

– вагонопоток, проходящий по направлению, не может превышать пропускной способности транспортных объектов;

– пропускная способность направления равна наименьшей пропускной способности любого транспортного объекта, входящего в него.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательное решение следующих задач:

– исследовать практический опыт планирования времени нахождения вагонопотоков на направлении Знаменка – Одесса и определить основные технико-технологические параметры, влияющие на время нахождения вагонопотока на железнодорожном направлении [6];

– оценить степень влияния выделенных параметров на время нахождения экспортного грузопотока на железнодорожном направлении;

– разработать модель расчета времени

нахождения экспортного грузопотока на железнодорожном направлении.

Вся организация эксплуатационной работы должна быть подчинена главному – выполнению с минимальными затратами доставки грузов в установленные сроки. Однако реальная технология перевозочного процесса и условия ее оперативной организации нередко существенно отличаются от условий исчисления ответственных сроков доставки. Нередки ситуации, когда фактическое и технологическое время доставки грузов значительно различаются [7].

Совершенствование прогноза подвода экспортных грузов к портам может быть достигнуто за счет определения прогнозного времени доставки грузов с учетом текущего состояния транспортного направления. В общем виде прогнозное время нахождения экспортного вагонопотока на железнодорожном направлении можно представить в виде

$$T_{\text{прог}} = t_{P_i}^{\text{прог}} + \sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{прог}} + \sum_{j=1}^n t_{T_j}^{\text{прог}} + t_{P_{i+1}}^{\text{прог}} \quad (3)$$

где $t_{P_i}^{\text{прог}}$ – прогнозное время нахождения потока на станции погрузки;

$\sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{прог}}$ – прогнозное время нахождения потока на участках;

$\sum_{j=1}^n t_{T_j}^{\text{прог}}$ – прогнозное время нахождения потока на попутных технических станциях;

$t_{P_{i+1}}^{\text{прог}}$ – прогнозное время нахождения потока на станции выгрузки.

В свою очередь, время нахождения в каждой подсистеме железнодорожного направления складывается из продолжительности выполнения цикла необходимых операций ($t^{\text{тех}}$) и простоя в ожидании выполнения этих операций ($t^{\text{ож}}$):

$$\sum_{j=1}^n t_{T_j}^{\text{прог}} = \sum_{j=1}^n t_{T_j}^{\text{тех}} + \sum_{j=1}^n t_{T_j}^{\text{ож}} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{прог}} = \sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{тех}} + \sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{ож}} \quad (5)$$

Величина $t^{\text{тех}}$ для станции погрузки, сортировочных станций и припортовых определяется в соответствии с технологическим процессом работы рассматриваемой станции; а для участков – в соответствии с нормативным графиком

движения поездов. Простой в ожидании выполнения технологических операций $t^{\text{ож}}$ рассчитывается с помощью теории массового обслуживания по одним и тем же алгоритмам для каждого элемента железнодорожного направления.

Проведенный анализ показал, что в реальных условиях величина $t^{\text{ож}}$ значительно превышает свое нормативное значение из-за особенностей технологии работы транспортного направления [7], что наибольшие доли сверхнормативных простоев приходятся на участки и попутные технические станции соответственно 45 % и 30 % от общей величины сверхнормативных простоев.

На основе полученных данных для выделения объектов, имеющих значительные трудности с продвижением экспортного грузопотока была построена диаграмма Парето, приведенная на рис. 2.

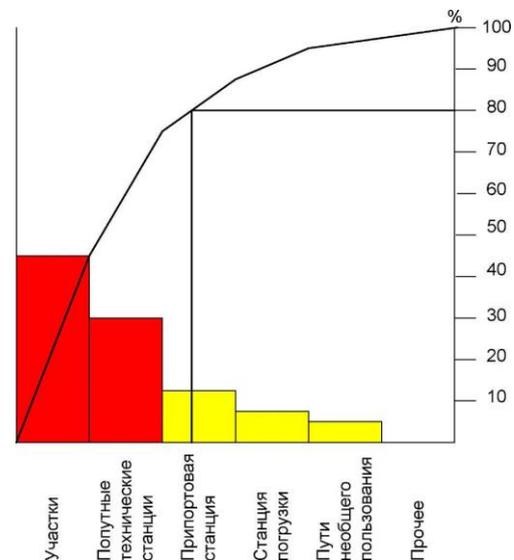


Рис. 2. Анализ пассивных простоев экспортных грузопотоков

Метод Парето позволяет выделить проблемы, подлежащие первоочередному решению. В данном случае для совершенствования прогноза подвода экспортных грузов к портам в первую очередь необходимо определить величину сверхнормативных простоев в следующих подсистемах: «участки», «попутные технические станции».

Подсистема «Участки» включает в себя перегоны и промежуточные отдельные пункты. Время нахождения потока на участках зависит от большого числа факторов, таких как продольный профиль пути, мощность локомотивов, длина блок-участков, расположение на участке станций и число путей на них, длины прямо-отправочных путей на станциях,

средств связи по движению поездов, максимально допустимая скорость, ограничения скорости движения, наличие «брошенных» поездов, отказов технических средств, типа графика движения поездов и прочих. Ни одно аналитическое выражение не в состоянии учесть все эти факторы. Поэтому для определения прогнозного времени нахождения потока в подсистеме «Участки» предлагается ограничить число факторов.

По результатам проведенных исследований выделены основные технико-технологические параметры, влияющие на время нахождения вагонопотока на направлении. К параметрам первого порядка относятся параметры, определяющие технологию пропуска потока по участкам: длина участка (S); ходовая скорость, (V_x); техническое оснащение линии (M); количество главных путей на направлении (однопутная линия двухпутная линия); средства СЦБ и связи (C) (полуавтоблокировка, автоблокировка, диспетчерская централизация).

Длина участка и скорость определяют время хода поездов по участку. Время хода поездов по перегонам принимается в соответствии с нормативным графиком движения. При неизменных значениях параметров первого порядка время нахождения потока в подсистеме «Участки» может значительно отличаться от расчетных. В работе [8] определено, что с ростом плотности потока поездов интенсивность увеличивается до максимального значения. Дальнейшее увеличение плотности потока поездов приводит к снижению скорости движения и интенсивности увеличивается до максимального значения.

Дальнейшее увеличение плотности вагонопотока приводит к снижению участковой скорости и интенсивности. Таким образом, при определении времени нахождения вагонопотока в подсистеме «Участки» необходимо учитывать влияние параметра второго порядка – коэффициента заполнения пропускной способности ($K_{зап}^{np}$), который характеризуется соотношением фактических размеров движения грузовых поездов к максимальному числу грузовых поездов, установленной массы и длины, которое может быть пропущено по этому направлению за сутки в зависимости от его технической оснащённости и принятого способа организации движения поездов.

В качестве параметров третьего порядка выделены:

– тип графика (R) для однопутных линий с двухпутными вставками (парный непакетный,

парный частично-пакетный);

– доля пассажирских поездов ($N_{пас}$) от общего числа на двухпутных линиях.

При определении пропускной способности железнодорожных направлений и соответственно коэффициента их заполнения, необходимо учитывать следующие факторы: путевое развитие парка приема станций, ограничивающих эти участки; наличие «брошенных» поездов; отказы инфраструктуры.

В условиях недостаточного путевого развития парка приема возможен неприем поездов с прилегающих участков. Это связано с тем, что в определенные моменты времени число составов, находящихся в парке приема, равно числу путей в парке. Наличие на участках «брошенных» поездов, приводит к снижению пропускной способности участка при применении пакетного или частично-пакетного типа графика за счет уменьшения числа станций, на которых возможно скрещение и обгон поездов. Коэффициент, учитывающий влияние отказов инфраструктуры (пути, устройств СЦБ и связи, контактной сети и др.) на пропускную способность линии, заложен в формуле расчета пропускной способности направлений [1].

Прогнозное время нахождения вагонопотока на железнодорожном двухпутном направлении:

$$\sum_{k=1}^n t_{D_k}^{пор} = f(S; V_x; M; C; K_{зап}^{np}; R; N_{пас}) \rightarrow \min \quad (6)$$

На основании обработки нормативных, вариантных графиков движения поездов и графиков исполненного движения Одесской железной дороги, определено, что при значении коэффициента заполнения пропускной способности двухпутной линии меньше 0,6 прогнозируемое время нахождения потока в подсистеме «участки» равно технологическому:

$$\sum_{k=1}^n t_{D_k}^{пор} = \sum_{k=1}^n t_{D_k}^{тех} \quad \text{при } K_{зап}^{np} \leq 0,6 \quad (7)$$

При коэффициенте заполнения пропускной способности двухпутной линии больше 0,6 время нахождения в подсистеме «участки» увеличивается. Увеличение времени нахождения на участках связано с тем, что при увеличении числа поездов, увеличивается число стоянок под обгоном и уменьшением частоты следования на зеленый.

При значении коэффициента заполнения пропускной способности на двухпутной линии больше 0,6 прогнозируемое время нахождения потока в подсистеме «участки» составляет:

$$\sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{прог}} = (1 + \alpha) \sum_{k=1}^n t_{D_k}^{\text{тех}} \text{ при } K_{\text{зап}}^{\text{пр}} \geq 0,6 \quad (8)$$

Значения увеличивающего коэффициента α получены на основании обработки исполненных графиков движения поездов, который изменяется при увеличении коэффициента заполнения пропускной способности с 0,9 до 0,9 изменяется от 0,1 до 0,4.

Выводы

Уставное и технологическое время доставки грузов, не позволяют точно определить реальный срок доставки груза. Для совершенствования прогноза подвода экспортных грузов к портам необходимо определить величину отклонения реального срока доставки грузов от технологического времени – прогнозное время доставки груза.

Фактическое время нахождения экспортных грузопотоков на железнодорожном направлении в настоящее время значительно превышает технологическое. Выявлено, что наибольшие доли сверхнормативных простоев приходятся на участки и попутные технические станции, соответственно 45 % и 30 % от общего числа сверхнормативных простоев. Совершенствование прогноза подвода экспортных грузов к портам может быть достигнуто путем определения величины сверхнормативного простоя в подсистемах «участки» и «попутные технические станции».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України ЦД-0036 [Текст]: затв. : Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України 23.11.2002 р. № 1026. – Київ: Мін-во трансп. та зв'язку України, 2002. – 376 с.
2. Галабурда, В. Г. Единая транспортная система [Текст] / В. Г. Галабурда, В. А. Персианов, А. А. Тимошин Н. А. Троицкая С. В. Милославская; под ред. В. Г. Галабурды. – Москва : Транспорт, 1996. – 295 с.
3. Правдин, Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах [Текст] / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Минск : Высшая школа, 1983. –

247 с.

4. Кужель, А. Л. Роль графика движения поездов в рыночных условиях [Текст]/ А. Л. Кужель, И. Н. Шапкин, Е. М. Кожанов // Железнодорожный транспорт, – 2007. – № 7. – С. 33-36.

5. Шапкин, И. Н. Организация железнодорожных перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов [Текст] / И. Н. Шапкин // Транспорт. Наука, техника, управление: научный информационный сборник, – Москва : ВИНТИ, 2008. – С. 2-8.

6. Вернигора, Р. В. Аналіз залізничної інфраструктури з паралельними ходами напрямку Знам'янка – Одеса [Текст] / Р. В. Вернигора, О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Наука та прогрес транспорту : Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – Вип. 42. – С. 74-80.

7. Логвінова, Н. О. Моделювання роботи залізничної інфраструктури з паралельними ходами [Текст] / Н. О. Логвінова, Р. В. Вернигора, О. Ю. Папахов, // Науковий Вісник НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2013. – Вип. 3. – С. 93-102.

8. Папахов О. Ю. Обґрунтування руху поїздів на напрямках за погодженими розкладами [Текст] / О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Електрифікація транспорту. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2014. – Вип. 8. – С. 110-116.

9. Козаченко, Д. М. Дослідження параметрів вагонопотоків, що розформовуються на сортувальних гірках [Текст] / Д. М. Козаченко, М. І. Березовий, Т. В. Болвановська // Транспортні системи та технології перевезень : зб. наук. праць Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2012. – № 4. – С. 44-48.

10. Benjamin, D. Real-time estimation of distributed parameters systems: Application to traffic monitoring [Электронный ресурс]/ D. Benjamin. Режим доступа: <http://pems.eecs.berkeley.edu/> University of California, Berkeley. 2010

11. Lebacque, J. Intersection modeling, application to macroscopic network traffic flow models and traffic management. [Текст] / J. Lebacque // In Traffic and Granular Flow 2003. – P. 261–278. Springer Berlin Heidelberg, 2005.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Тараном И. О. (Украина)

Поступила в редколлегию 11.05.2015

Принята к печати 25.05.2015.