

## УДК 656.222

Д. Н. КОЗАЧЕНКО<sup>1\*</sup>, А. Ю. ПАПАХОВ<sup>2\*</sup>, Ю. Н. ГЕРМАНЮК<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>2\*</sup>Каф. «Управление эксплуатационной работой», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта papahova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

<sup>3\*</sup>Каф. «Транспортные технологии», Львовский филиал Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. И. Блажкевич, 12а, Львов, Украина, 79000, тел. +30 (032) 267 99 74, эл. почта yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ВАГОНОПОТОКОВ В РОССИЙСКОЙ ИМПЕРИИ И СССР

**Цель.** Основной целью этой статьи является исследование развития методов организации вагонопотоков в поезда на железных дорогах Российской империи и СССР. **Методика.** Исследования выполнены на основании анализа литературных источников и методов теории организации эксплуатационной работы железных дорог. **Результаты.** Методы организации вагонопотоков прошли значительный путь развития под влиянием изменений условий работы железнодорожного транспорта, формирования технических средств управления им и математических методов оптимизации. Возникновение научных методов организации вагонопотоков в поезда относится ко временам Российской империи. Современный подход к организации вагонопотоков, базирующийся на плане формирования поездов, развивался в СССР в 1931–1945 гг. Целью внедрения плана формирования поездов было снижение расходов железных дорог на выполнение перевозок грузов. Условиями реализации такого подхода является то, что железные дороги вертикально интегрированы: они одновременно и эксплуатируют железнодорожную инфраструктуру, и являются перевозчиком, выполняющим перевозки грузов в своих вагонах, при этом конкуренция между видами транспорта за грузопотоки отсутствует. Формирование современных методов решения задачи организации вагонопотоков в основном было осуществлено в 1945–1952 гг. В основу этих методов положено разделение задачи организации вагонопотоков в поезда на отдельные подзадачи и последовательное их решение в детерминированной и статической постановке. Практически задача организации вагонопотоков на железных дорогах СССР была решена в 1970–1980-х гг. с помощью ЭВМ. Переход Украины к рыночной модели экономики привел к существенному изменению условий работы железнодорожного транспорта, что требует пересмотра принципов организации вагонопотоков в поезда. **Научная новизна.** В работе впервые на основании исторического анализа развития методов организации вагонопотоков на железных дорогах Российской империи и СССР установлены связи между условиями работы железнодорожного транспорта и методами организации вагонопотоков в поезда. **Практическая значимость.** Ценность результатов для практики состоит в том, что они указывают на необходимость изменения в Украине системы организации вагонопотоков в соответствии с нынешними условиями работы железнодорожного транспорта и выбранным направлением реформирования рынка железнодорожных перевозок.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт; организация вагонопотоков; план формирования поездов; накопление вагонов

### Введение

Железнодорожный транспорт является одной из базовых отраслей экономики Украины. Он обеспечивает ее внутренние и внешние транспортно-экономические связи, а также удовлетворяет потребности населения в перевозках. К преимуществам железнодорожного транспорта относятся низкая себестоимость пе-

ревозок и высокая пропускная и провозная способность инфраструктуры. Указанные особенности важны для экономики Украины, так как она в основном ориентирована на сырьевой экспорт, а величина транспортных расходов существенно влияет на конечную стоимость отечественных товаров на мировом рынке. Одним из основных факторов, определяющих се-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

бестоимость железнодорожных перевозок, является порядок организации вагонопотоков, который устанавливает планом формирования поездов. Основные методы организации вагонопотоков в поезда, которые используют на железных дорогах Украины, были заложены еще во времена Российской империи и СССР. После обретения Украиной независимости произошли существенные изменения в условиях работы ее железнодорожного транспорта, в связи с чем возникает все больший разрыв между принципами, заложенными в методику разработки плана формирования поездов, и реальными условиями эксплуатации железнодорожного транспорта. Это отражается в большом количестве оперативных вмешательств в процесс поездообразования, неэффективном использовании инфраструктуры и подвижного состава железнодорожного транспорта. Поэтому научная проблема развития теоретических основ организации вагонопотоков в поезда является актуальной для железнодорожного транспорта [38, 44, 53]. В частности, актуальной задачей является исследование истории развития методов организации вагонопотоков.

### Цель

Основной целью этой статьи является исследование развития методов организации вагонопотоков в поезда на железных дорогах Российской империи и СССР. Это первая часть исследования, в продолжение которого будет опубликован анализ современных работ по организации вагонопотоков на железных дорогах Украины и других государств – бывших республик СССР.

### Методика

Система организации вагонопотоков в грузовые поезда и их направления по определенным маршрутам должна обеспечивать стабильность функционирования железных дорог на рынке транспортных услуг, минимальные расходы на перевозку, соблюдение сроков доставки грузов, а также удовлетворение запросов грузоотправителей и грузополучателей [17]. Основу организации вагонопотоков составляет порядок направления их и организация в грузовые поезда (план формирования поездов), ко-

торый определяет категорию и назначения поездов и групп вагонов, формируемых на станциях. Порядок организации вагонопотоков в поезда существенно влияет на себестоимость железнодорожных перевозок, определяет уровень загрузки технических средств железнодорожного транспорта, а также обеспечивает распределение сортировочной и маневровой работы между станциями и пунктами отправления и назначения грузовых поездов.

Исследования в данной статье выполнены на основании анализа литературных источников и методов теории организации эксплуатационной работы железных дорог. Необходимо также отметить, что изучение проблемы организации вагонопотоков имеет более чем 100-летнюю историю, и в течение этого времени опубликовано значительное число работ по истории развития методов ее решения, прежде всего [44, 46], а также по деятельности отдельных ученых [60], труды которых содержат дополнительную информацию по сути вопроса.

### Результаты

*Возникновение специализации грузовых поездов.* Специализация грузовых поездов на железных дорогах Российской империи возникла на начальном этапе развития железнодорожного транспорта в связи с увеличением объемов перевозок, развитием железнодорожной сети, необходимостью повышения эффективности использования грузовых вагонов и качества услуг железнодорожного транспорта.

Первая железная дорога в Российской империи была построена в 1837 году по маршруту Санкт-Петербург – Царское село. В 1840-е годы была построена Николаевская железная дорога, соединившая два крупнейших города империи – Санкт-Петербург и Москву. На начальном этапе развитие железнодорожного транспорта происходило преимущественно за счет частного капитала, и в 1885 году в частной собственности находилось около 90 % железных дорог Российской империи. В первые десятилетия прием грузов к перевозке выполняли только в пределах одной железной дороги, и подвижной состав обращался исключительно в пределах своих железных дорог. Специализация поездов в то время отсутствовала, и в их составы

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

включали вагони любых назначений, следующих в одном направлении. Учитывая малую протяженность отдельных железных дорог и низкую интенсивность перевозок, такой подход к организации вагонопотоков на них был вполне приемлемым.

Изначально появление специализации поездов было связано с необходимостью обеспечения разной скорости перевозок. В 60-е годы XIX века все поезда делились на быстрые и медленные. К быстрым относились поезда для перевозки пассажиров и багажа. В них также перевозили экипажи (кареты) и животных (лошадей). Медленными являлись грузовые (товарные) поезда. К концу 1860-х годов возникла потребность в ускоренной доставке скоропортящихся грузов. В результате на железных дорогах появились товарные ускоренные и сквозные поезда. В 1880-х годах появились сборные поезда, которые имели многогруппный состав с подборкой групп вагонов по станциям участка. К концу XIX века формирование составов осуществлялось с учетом общего направления следования и специализации поездов. Увеличение размеров сети, объемов и дальности перевозок создало предпосылки и потребность в совместной эксплуатации вагонов и централизации управления железными дорогами.

В 80-х годах XIX века по инициативе Александра III на условиях выкупа началась национализация железных дорог, и к 1900 году 70 % сети уже были государственными. К началу 1890-х годов была утверждена государственная монополия на железнодорожные тарифы, а в правления железнодорожных обществ, имевших долг казне, стали вводить представителей Министерства финансов на правах правительственных директоров. Это привело к слиянию железных дорог в достаточно крупные объединения и образованию железнодорожных обществ государственно-монополистического характера. В результате в конце XIX века в Российской империи сложились условия для совершенствования организации перевозок грузов на основе централизации управления.

Система организации перевозок того времени базировалась на прямом и безперегрузочном использовании вагонов, внедрении общего гра-

фика движения поездов и специализации поездов в графике. Также во времена Российской империи сформировалась система организации движения на железнодорожном транспорте, когда пассажирские поезда движутся по расписанию, а грузовые следуют без его соблюдения. Такая система была унаследована железными дорогами СССР и сохранилась до настоящего времени. Движение преимущественной части грузовых поездов без расписания является отличительной чертой работы железных дорог государств – бывших республик СССР от железных дорог государств Европейского Союза, где движение как пассажирских, так и грузовых поездов выполняется по расписанию.

К 1914 году на большинстве железных дорог Российской империи сложилась следующая специализация грузовых поездов [46]:

- ускоренные воинские и товарные поезда;
- транзитные поезда (поезда дальнего хода);
- участковые поезда;
- сборные поезда, иногда разделяющиеся на сборные поезда дневного и ночного обращения.

Публикации времен Российской империи конца XIX – начала XX века преимущественно были направлены на обобщение практического опыта и представление новых идей по совершенствованию эксплуатационной работы железных дорог, в частности в области организации вагонопотоков. К таким работам относятся: статья И. Рихтера [54], в которой автор обосновывает необходимость специализации поездов; статья А. Краузе [26], где приведены принципы специализации поездов; статья А. Н. Фролова [65], в которой рассмотрена связь между специализацией поездов и простоям вагонов под накоплением; статьи К. Аргинского [2] и А. Н. Фролова [66, 68], в которых выдвинута идея отправительской маршрутизации, и др.

Первые в мире научные исследования и публикации по проблеме организации вагонопотоков в поезда выполнены инженером, а впоследствии профессором А. Н. Фроловым. В 1902 году представлен, а 1903 году опубликовал [67, 69] результаты теоретических исследований проблем организации вагонопотоков и распределения сортировочной работы между техническими станциями железных дорог. В этих работах была установлена зависимость между средним про-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

стоєм вагонів под накоплением в сортировочном парке  $T$ , числом формирюемых назначений поездов  $k$  и числом перерабатываемых вагонов  $N$ :

$$T = \frac{12k}{N},$$

а также выражение для оценки среднего времени простоя вагона отдельного назначения  $x$ :

$$\tau_{\text{нак}}^x = \frac{12}{N_{\text{отпр}}^x},$$

где  $N_{\text{отпр}}^x$  – число формирюемых в течение суток поездов  $x$ -го назначения.

Необходимо отметить, что в первом десятилетии XX века наука об эксплуатационной работе железных дорог только зарождалась, и одним из ее основоположников был А. Н. Фролов. Поэтому те или иные задачи организации вагонопотоков он поднимает в разных статьях. Специальному анализу научного наследия профессора А. Н. Фролова посвящена работа [60].

В 1910 году Д. М. Карамышев в работе [20] опубликовал результаты исследований процесса накопления вагонов на станциях на основе графического моделирования. В этой работе была установлена связь между расписаниями прибытия и отправления поездов на станцию, с одной стороны, и простоем вагонов на ней – с другой. Следует отметить, что сам метод графического моделирования для исследования процесса накопления вагонов на станциях применяют и до настоящего времени.

К периоду Российской империи относятся также и работы В. А. Соковича. В частности, в работе [56] он предложил определять среднее время простоя вагонов в накоплении по формуле:

$$T = \frac{12(k-1)m}{n},$$

где  $m$  – состав поезда;  $n$  – суточный вагонопоток.

Анализ публикаций по проблеме организации вагонопотоков на железных дорогах в период Российской империи приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Публикации по проблеме организации вагонопотоков на железных дорогах в период Российской империи**

Table 1

**Publications on the organization of car traffic volumes at railways during the Russian Empire period**

№ п/п	Год	Автор (ы)	Содержание	Ссылки
1	1883	Рихтер И. И.	Ранняя работа с обоснованием необходимости специализации поездов	[54]
2	1894	Краузе А.	Ранняя работа с описанием принципов специализации поездов в Российской империи	[14]
3	1901	Фролов А. Н.	В работе установлена связь между специализацией поездов и простоем под накоплением	[65]
4	1903–1906	Аргинский К., Фролов А. Н.	Ранние работы о целесообразности отправительской маршрутизации перевозок	[2, 66, 68]
5	1902–1903	Фролов А. Н.	Первые научные работы по организации вагонопотоков в поезда. Установлена зависимость между средним простоем вагонов под накоплением в сортировочном парке и числом формирюемых назначений поездов	[67, 69]
6	1910	Карамышев Д.М.	В работе установлено влияние графика движения поездов на простои вагонов в накоплении	[20]
7	1916	Сокович В. А.	В работе усовершенствована формула для оценки величины простоя вагонов в накоплении	[56]

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Таким образом, при эксплуатации железных дорог Российской империи появилось понятие специализации грузовых поездов, а также было сформировано понимание того, что эта специализация оказывает влияние на условия работы как сети в целом, так и отдельных железнодорожных станций. Организация вагонопотоков в поезда в Российской империи осуществлялась на основании практического опыта, без применения научных методов. В научном плане во времена Российской империи началось становление методов оценки вариантов организации вагонопотоков.

*Формирование методов оценки вариантов организации вагонопотоков.* Дальнейшие исследования, направленные на решение проблемы организации вагонопотоков, были выполнены уже во времена СССР. Основной задачей, стоявшей перед Советским Союзом в период от его создания до момента вступления во Вторую мировую войну, была индустриализация экономики страны. С 1925 по 1934 год наблюдался трехкратный рост грузооборота железнодорожного транспорта с 68,9 млрд ткм до 205,7 млрд ткм, и железнодорожный транспорт стал одной из отраслей, сдерживающих дальнейшее развитие экономики страны. В этих условиях основным направлением научных исследований по проблеме организации вагонопотоков стало изучение процесса поездообразования на станциях и нормирование простоя вагонов под накоплением на них.

Для оценки величины простоя вагонов в накоплении в 20-е годы XX века использовались формулы проф. А. Н. Фролова [67, 69] и В. А. Соковича [54]. Кроме этого, в то время появляются и исследования других авторов, прежде всего проф. И. И. Васильева. Согласно [32], проф. И. И. Васильев в 1925 году в «Трудах XXI съезда службы Эксплуатации» опубликовал формулу для оценки среднего простоя вагонов в сортировочном парке:

$$T_{\text{нак}} = 12 \frac{m-1}{N}.$$

Обзор ранних формул для оценки среднего простоя вагонов в накоплении, в частности формул профессоров А. Н. Фролова, В. А. Соковича, И. И. Васильева, инженеров С. И. Нейштадта,

В. Д. Ещенко, выполнен в работе В. С. Ларионова [32]. В этой же работе В. С. Ларионов осуществил критический анализ этих формул на предмет их соответствия реальному процессу накопления, а также предложил свою формулу.

В середине 30-х годов XX века железнодорожная транспортная система СССР исчерпала свою провозную способность. В 1934 году рост промышленного производства к уровню 1919 года составил 240 %, а железнодорожного транспорта – лишь 170 %. В этих условиях планы перевозки грузов не выполнялись, в частности план на 1934 год был определен в 352 млн тонн, а перевезено лишь 316 млн. В 1934 году директор Научно-исследовательского института эксплуатации Народного комиссариата путей сообщения (НКПС) С. И. Нейштадт в журнале «Эксплуатация железных дорог» издал статью [39], в которой указано, что причиной неустойчивой работы железнодорожного транспорта является достижение предела его провозных возможностей. В 1935 году вышел приказ НКПС № 99/Ц «Об антигосударственной линии в работе Научно-исследовательского института эксплуатации и отдела восточных дорог эксплуатационного управления НКПС». В нем говорилось, что деятельность института и отдела идет вразрез с решениями партии, а их руководящие работники «составили группу, задавшуюся целью обосновать невозможность ускорения оборота вагонов, и тем самым выполнения государственного плана перевозок». В этих условиях вопрос повышения производительности вагонов, в том числе за счет сокращения простоя в накоплении, был в значительной мере идеологизирован в рамках борьбы с последователями «теории предела». Формула для оценки величины простоя вагонов под накоплением подвергалась резкой критике в публикациях, в частности [36]. Несмотря на то что в [36] сравнение условий работы железных дорог при формировании поездов выполнено некорректно, все же нужно отметить, что к концу 30-х годов XX века был накоплен практический опыт, который указывал на то, что продолжительность среднего простоя вагонов в сортировочном парке должна быть меньше, чем определяемая по существующим на тот момент формулам. В 1938 году Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта предложил формулу:

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

$$T_{\text{нак}} = 10m.$$

Согласно [9], коэффициент 10 в данном выражении был принят на основании практического опыта.

В 1941 году проф. И. И. Васильев вновь пересмотрел формулу для оценки простоя вагонов отдельного назначения под накоплением и представил ее в виде [9]:

$$T_{\text{нак}} = 12 \left( \frac{m}{N} - \frac{1}{n_{\text{пр}}} \right),$$

где  $n_{\text{пр}}$  – число поездов в сутки, с которыми прибывают вагоны данного назначения.

Дальнейшее совершенствование формулы для оценки простоя вагонов в накоплении произошло по окончании Второй мировой войны. В 1946 году в работе [5] проф. К. А. Бернгард рекомендовал формулу для определения затрат вагоно-часов на накопление на одно назначение при поступлении вагонов группами равномерно в течение суток и при наличии перерывов в накоплении после прибытия отдельных замыкающих групп:

$$T_{\text{нак}} = 12m \left( 1 - \frac{1}{e\gamma} \right), \quad (1)$$

где  $m$  – число вагонов в составе поезда;  $e$  – число групп, из которых накапливается один состав;  $\gamma$  – коэффициент кратности состава и группы.

Выражение (1) может также быть представлено как

$$T_{\text{нак}} = cm, \quad (2)$$

здесь величина

$$c = 12 \left( 1 - \frac{1}{e\gamma} \right) \quad (3)$$

названа расчетным коэффициентом накопления.

Выражения (2) и (3) были рекомендованы для целей нормирования простоев вагонов под накоплением на отдельных станциях. Сложность практического применения формулы (3) связана с наличием в ней параметров  $e$  и  $\gamma$ , значения которых до разработки плана формирования поездов неизвестны.

Для преодоления этой проблемы А. П. Петров выполнил исследование процесса накопления вагонов [46]. В результате предложено изменить понятие коэффициент накопления на параметр накопления и определять его в зависимости от числа назначений поездов  $k$ , которое формируют на станции:

$$c = 12 \left( 1 - \frac{2}{k+5} \right).$$

Указанную формулу в виде

$$c = 12 \left( 1 - \frac{2}{k+A} \right)$$

используют для практических расчетов и до настоящего времени.

Выделение струи вагонопотока в отдельное назначение требует дополнительных затрат времени на станции формирования, в то же время сокращает простой вагонов этого назначения на попутных технических станциях. Оценку затрат станций, связанных с переработкой вагонопотока, в ранних работах, таких как [32], выполняли на основании непосредственного расчета затрат времени на маневровую работу. Такой подход приемлем для сравнения отдельных вариантов организации вагонопотоков, однако является весьма громоздким для решения задач разработки планов формирования поездов на направлениях и на сети железных дорог.

Согласно [46], в 1927 году в № 1 и 2 журнала «Железнодорожное дело. Эксплуатация» проф. И. И. Васильев предложил формулу для определения экономии  $t_{\text{эк}}$  в вагоно-часах на 1 вагон при проследовании транзитного поезда через техническую станцию без переработки в виде

$$t_{\text{эк}} = \alpha (t_{\text{пр}} + t_{\text{рас}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{от}}) - t_{\text{тр}},$$

или

$$t_{\text{эк}} = t_{\text{факт}} - \frac{12m}{N} - t_{\text{тр}},$$

где  $\alpha$  – коэффициент увеличения на непроизводительные простои,  $\alpha = 1,5$ ;  $t_{\text{пр}}$ ,  $t_{\text{рас}}$ ,  $t_{\text{ф}}$ ,  $t_{\text{от}}$  – продолжительность операций по прибытию, расформированию, формированию и отправлению соответственно;  $t_{\text{тр}}$  – простой на станции транзитного поезда;  $t_{\text{факт}}$  – фактический простой на

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

станції вагона с переработкой;  $\frac{12m}{N}$  – средний простой под накоплением.

Также в [46] указано, что в более ранних расчетах 1926 года проф. И. И. Васильев при определении величины экономии от проследования станции транзитным вагоном без переработки величину простоя под накоплением не исключал.

В работе К. А. Бернгарда и др. 1948 года [4] для оценки экономии вагоно-часов на один вагон использовано выражение:

$$t_{\text{эк}} = t_{\text{пер}} - t_{\text{тр}} - t_{\text{нак}}. \quad (4)$$

В течение следующего десятилетия произошло уточнение выражения (4). В [46], а также в томе 13 «Технического справочника железнодорожника» 1956 года [61] А. П. Петров указывает, что устранение переработки вагонов на станциях приводит не только к сокращению оборота вагонов, но и к уменьшению объемов маневровой работы по переработке вагонов на технических станциях. Эту разницу предложено учитывать с помощью выраженного в часах эквивалента стоимости переработки вагона по отношению к стоимости часа простоя  $r$ . Аналогичная формула приведена в учебнике Ф. П. Кочнева и др. 1958 года [24] и в работе инж. С. Г. Стопичева 1959 года [59]. В [14] величину  $r$  рекомендуют принимать равной 1,3–1,5.

В учебнике Ф. П. Кочнева и др. 1963 года [25] экономию от проследования станции без переработки оценивают уже с учетом затрат, связанных как с переработкой вагонов, так и перецепкой локомотивов:

$$t_{\text{эк}} = t_{\text{эк}}^{\text{бп}} + \mathcal{E} + t_{\text{эк}}^{\text{л}} + t_{\text{эк}}^{\text{бр}}, \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}$  – эквивалент переработки вагонов, ч;  $t_{\text{эк}}^{\text{л}}$ ,  $t_{\text{эк}}^{\text{бр}}$  – эквиваленты экономии простоя поездных локомотивов и локомотивных бригад соответственно, выраженные в стоимости простоя вагоно-часа без переработки.

Аналогичное (5) выражение применяют для оценки экономии от проследования станции без переработки и в настоящее время.

Анализ публикаций по проблеме формирования методов оценки вариантов организации вагонопотоков приведен в табл. 2.

Разработанная методика ориентирована на снижение общих расходов железных дорог, связанных с эксплуатацией станционной инфраструктуры в процессе расформирования–формирования поездов и эксплуатацией подвижного состава при выполнении перевозки. Условиями реализации такого подхода является то, что железные дороги вертикально интегрированы: они одновременно и эксплуатируют железнодорожную инфраструктуру на станциях, и являются перевозчиком, выполняющим перевозки грузов в своих вагонах. Также необходимо отметить, что к 50-м годам XX века в СССР окончательно произошел отказ от составления плана формирования поездов по критерию срока доставки грузов и даже от выполнения контроля его соблюдения при разработке плана формирования поездов. В условиях плановой экономики распределение грузопотоков между видами транспорта осуществляли централизованно исходя из достижения максимального общего эффекта для экономики страны. Более того, размеры СССР позволяли железнодорожному и его основному конкуренту – автомобильному транспорту – занимать разные ниши на рынке перевозок. Поэтому конкуренция на транспортном рынке отсутствовала, и для железнодорожного транспорта более важной задачей было снижение себестоимости перевозок, чем повышение скорости доставки грузов.

*Развитие методов решения задачи поиска оптимального плана формирования однопутных сквозных поездов.* Методы решения задачи организации вагонопотоков в поезда сформировались во времена Советского Союза. Одной из основных задач организации вагонопотоков является задача поиска оптимального плана формирования однопутных сквозных поездов. Эта задача имеет комбинаторный характер. Число практически применимых вариантов плана формирования однопутных поездов в соответствии с [46] определяют выражением:

$$K_{\text{пф}} = 2^{\frac{k_{\text{ст}}(k_{\text{ст}}-1)(k_{\text{ст}}-2)}{2}},$$

где  $k_{\text{ст}}$  – число станций на направлении, для которых рассчитывают план формирования.

Таблица 2

**Публикации, связанные с развитием методов оценки вариантов организации вагонопотоков**

Table 2

**Publications related to the development of methods for assessing the organization of car traffic volumes**

№ п/п	Год	Автор (ы)	Содержание	Примечания и ссылки
1	1902–1916	Фролов А. Н., Сокович В. А.	Первые формулы для оценки простоя вагонов	[67, 69, 56]
2	1925–1941	Васильев И. И., Сокович В. А. и др., Нейштадт С. И., Ещенко В. Д., Ларионов В. С.	Совершенствование формулы для оценки простоя вагонов под накоплением	[32, 9, 58], а также согласно [46]
3	1927	Васильев И. И.	Предложена формула для оценки экономии в вагоно-часах при проследовании транзитного поезда через техническую станцию без переработки	Согласно [46]
4	1946	Бернгард К. А.	Формула для оценки простоя вагонов под накоплением, учитывающая дискретный характер поступления вагонов и перерывы в процессе накопления	[3]
5	1948–1959	Бернгард К. А., Забелло М. Л., Шулько В. П., Кочнев Ф. П. и др., Стопичев С. Г.	Приведены усовершенствованные формулы для оценки экономии в вагоно-часах при проследовании транзитного поезда через техническую станцию без переработки	[4, 61, 24, 59]
6	1950	Петров А. П.	Современная формула для оценки простоя вагонов под накоплением	[46]
7	1963	Кочнев Ф. П. и др.	Современная формула для оценки экономии от проследования станции без переработки	[25]

Анализ данной формулы показывает, что число вариантов плана формирования поездов резко возрастает с увеличением числа станций  $k_{ст}$ . Это и обуславливает сложность задачи.

На начальном этапе задачу организации вагонопотоков рассматривали с позиции перераспределения сортировочной работы между отдельными станциями. В 1921 году А. Н. Фролов впервые выполнил сравнение вариантов распределения сортировочной работы между двумя станциями [70]. В качестве показателей для оценки вариантов были использованы затраты вагоно- и паровозо-суток. В работе [35] оценку вариантов организации вагонопотоков

предложено выполнять в денежном отношении на основе расходных ставок на вагоно- и паровозо-сутки. Пример выполнения оценки вариантов распределения сортировочной работы между станциями приведен в работе инж. В. С. Ларионова [32]. В соответствии с описанной в данной работе методикой выполнена оценка влияния организации вагонопотоков на простои вагонов под накоплением, объемы маневровой работы и сроки доставки. В целом в работах [32, 35, 70] задачу организации вагонопотоков решали путем оценки конкурирующих вариантов. При этом в условиях, когда выбор вариантов организации вагонопотоков для



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

сравнения выполняет человек, нет никакой гарантии того, что среди них будет оптимальный.

Первый метод для определения оптимального варианта специализации поездов, называемый методом последовательных аналитических сопоставлений (либо аналитических сопоставлений), предложил И. И. Васильев. В соответствии с [46], изначально задачу организации вагонопотоков И. И. Васильевым решал исключительно из условия соблюдения сроков доставки грузов без учета затрат вагоно-часов и маневровой работы. Результаты этих исследований были опубликованы во втором номере журнала «Техника и экономика путей сообщения» за 1924 год. Однако в дальнейшем в качестве критерия для оценки вариантов плана формирования поездов были выбраны приведенные вагоно-часы. Предлагаемая методика нахождения оптимального варианта специализации поездов, согласно [46], была опубликована в статьях «Специализация поездов» (журнал «Железнодорожное дело. Эксплуатация», 1926 г., № 10-11) и «К вопросу о специализации поездов» (журнал «Железнодорожное дело. Эксплуатация», 1927 г., № 7–8). Оценка эффективности вариантов плана формирования поездов в данном методе выполнена на основании сравнения вагоно-часов на станциях формирования с экономией от переработки на попутных технических станциях струй вагонопотоков. Для расчета использованы два основных условия: необходимое и достаточное. Недостатком этого метода являлось то, что он не гарантировал получения строго оптимального варианта плана формирования. Кроме того, результатом решения задачи был лишь один вариант организации вагонопотоков, хотя, как правило, задача имеет несколько решений с одинаковым или близким значением целевой функции, которые необходимо сравнивать по дополнительным параметрам. Несмотря на эти недостатки, разработанный профессором И. И. Васильевым метод аналитических сопоставлений послужил основой для создания и развития целого ряда различных методов расчета плана формирования, как и сформулированное им необходимое условие выделения струй вагонопотоков в отдельные назначения:

$$cm \leq n_i \sum t_{\text{эк}},$$

где  $n_i$  – мощность струи  $i$ -го назначения;  $\sum t_{\text{эк}}$  – общие приведенные вагоно-часы экономии от проследования вагонопотока через все попутные технические станции направления.

Важным элементом разработанного И. И. Васильевым метода является использование достаточных условий выделения струй вагонопотоков в отдельные назначения, применить которые, согласно [46], в 1925 году предложил профессор П. Я. Гордеенко.

Другие методы выбора специализации поездов, разработанные до Второй мировой войны, описаны в учебниках В. А. Соковича [57] 1929 года, Н. Т. Кислякова и И. Г. Тихомирова [21] 1934 года, а также Д. П. Заглядинова и др. [18] 1941 года.

В 1944 году к. т. н. А. П. Петров (в последствии профессор, член-корреспондент АН СССР) предложил принципиально новый метод расчета плана формирования поездов, который основывался на сравнении показателей всех возможных или определенным образом отобранных вариантов. Этот метод в дальнейшем получил название метода абсолютного расчета [46]. Начиная с 1944 года метод абсолютного расчета был принят в качестве основного, и в течение ряда лет его использовали для расчетов плана формирования. В 1949 году А. П. Петров был утвержден в ученой степени доктора технических наук. Докторской диссертацией стала работа на тему «План формирования поездов (опыт, теория, методика расчетов)». В 1950 году результаты этих исследований были изданы в виде монографии [46].

В основу метода абсолютного расчета А. П. Петрова положен полный перебор всех возможных вариантов плана формирования поездов. Такой подход обеспечивает получение точного оптимального решения, однако, учитывая огромное число возможных вариантов объединения струй вагонопотоков, ручную полную перебор выполняли не более чем для пяти станций на направлении. При большем числе станций расчеты было предложено выполнять в два этапа: на первом рассчитывали план формирования для основных опорных сортировочных станций, а на втором определяли наиболее выгодные его варианты распределения сортировочной работы между опорными

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

и неопорными станциями. Для формализации процесса расчета А. П. Петров разработал специальные таблицы. Решение задачи в два этапа позволяет сократить число анализируемых вариантов, однако получение оптимального решения в этом случае не гарантировано. Также необходимо отметить сделанный в [46] вывод об утрате актуальности проверки вариантов плана формирования поездов по условию обеспечения срока доставки грузов. После этого несколько десятилетий в работах по плану формирования поездов эту задачу не подымали.

По окончании Второй мировой войны было выполнено целый ряд исследований, направленных на совершенствование и разработку методов поиска оптимальных или близких к оптимальным решений на полигонах с большим числом расчетных станций. Все методы можно условно разделить на две группы. Первая группа методов реализована на основе эвристических алгоритмов решения задач оптимизации и является развитием подхода, предложенного проф. И. И. Васильевым. Они получили название аналитических методов. Эти методы основаны на практическом опыте и частных свойствах задачи организации вагонопотоков. Они не дают строго оптимального решения, но позволяют получать решения, близкие к оптимальным и достаточные для практических целей. Разработке и совершенствованию аналитических методов посвящены работы В. С. Ларионова [33], К. А. Бернгарда [4, 6], Л. П. Тулупова [63], С. Г. Стопичева [59], В. А. Покавкина [50], А. К. Угрюмова [64], В. М. Акулиничева [1].

Одним из наиболее широко применяемых эвристических методов является метод совмещенных аналитических сопоставлений, предложенный в 1948 г. К. А. Бернгардом [4]. Все расчеты в данном методе было выполнены при помощи специализированного графика возможных назначений, по которому осуществлялись последовательный отбор наиболее выгодных назначений поездов со всех возможных назначений сквозных поездов, которые проходят без переработки не менее одной технической станции. В дальнейшем метод неоднократно совершенствовали и дорабатывали [6]. Отбор наилучшего варианта плана формирования поездов производили по приведенным ваго-

но-часам сквозных назначений. В целом данный метод был пригоден к практической разработке планов формирования поездов, однако для него характерна значительная громоздкость. Кроме того, получаемые решения не являются строго оптимальными.

Вторую группу методов составили методы решения задачи организации вагонопотоков, основанные на математических методах оптимизации. Нужно отметить, что Вторая мировая война дала мощный толчок развитию математических методов исследования операций, и по ее окончании был сформирован математический аппарат, позволявший решать различные прикладные задачи оптимизации, в том числе и в области организации вагонопотоков. С разработкой таких методов связаны дальнейшие исследования А. П. Петрова [45], а также В. П. Черенина [73], А. И. Попова [52], В. Г. Саенко и Б. Дел Рио [55], С. В. Дуваляна [10–12].

Число возможных вариантов организации вагонопотоков является конечным. Именно на этом свойстве задачи и основан метод абсолютного расчета А. И. Петрова. Основная проблема при этом заключается в размерности задачи, и для ее преодоления во многих работах используют математические методы комбинаторики и дискретного программирования.

В 1948 году А. П. Петров и В. П. Черенин опубликовали работу [45], в которой предложили новый метод для расчетов оптимального плана формирования поездов, названный методом последовательных расчетов. Этот метод основан на свойстве супермодулярности целевой функции и позволяет отбрасывать заведомо бесперспективные множества допустимых решений. В дальнейшем метод последовательных расчетов развил профессор В. П. Черенин для решения разнообразных задач целочисленного программирования [23]. В данном случае на основе метода поиска оптимального плана формирования поездов был создан новый метод решения задач исследования операций.

В 1966 году А. И. Попов предложил методике и алгоритм расчета плана формирования одnogруппных поездов [52], основанную на положении теории множеств о том, что любое множество можно упорядочить по возрастанию или убыванию. Для представления множества вариантов плана формирования поездов ис-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

пользовали ориентированный параметрический граф, вершинами которого являлись элементы данного множества. Каждой вершине в соответствие поставлены затраты вагоно-часов на накопление, переработку и их сумма. При переходе от вершины к вершине по дуге графа корректировали затраты вагоно-часов: затраты на накопление увеличивали, а затраты на переработку уменьшали на величину экономии вагоно-часов на попутных станциях, зависящих от мощности рассматриваемого назначения. Построение графа выполняют по линиям, вдоль которых размещаются вершины с одинаковым числом сквозных назначений. Корнем графа является вершина, соответствующая участковой организации вагонопотоков, когда сквозные назначения отсутствуют. Поиск оптимального плана формирования поездов сводится к поиску на графе вершины с минимальными затратами приведенных вагоно-часов. Если при переходе от первоначального варианта к последующему происходит рост затрат приведенных вагоно-часов, то дальнейшую оценку вариантов этой ветви прекращают. Тем самым заведомо неконкурентные варианты отсеивали без их оценки. В [29] задача поиска оптимального плана формирования решена методом ветвей и границ, а в [19] – методом динамического программирования.

Использование математических методов теории графов, ветвей и границ, динамического программирования позволило сократить число рассматриваемых вариантов по сравнению с методом абсолютного расчета А. П. Петрова [46], однако объем вычислений оставался все равно большим даже для автоматизированного расчета.

В 1969 году С. В. Дувалян предложил решать задачу определения оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов как задачу целочисленного линейного программирования. Результаты этих работ представлены в [10]. Предложенный метод позволил в дальнейшем разработать алгоритм и применить его для расчета плана формирования одногруппных сквозных поездов [11, 12]. Использование методов линейного программирования позволяет находить оптимальные варианты плана формирования поездов за ограниченное число шагов с учетом разнообразных ограничений. Недостатком этого подхода явля-

ется то, что целевая функция задачи организации вагонопотоков нелинейно зависит от объемов переработки вагонов на станциях, поэтому получаемое после линеаризации оптимальное решение не всегда соответствует оптимальному решению исходной задачи.

Анализ публикаций по проблеме формирования методов решения задачи поиска оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов представлен в табл. 3.

Выполненный анализ показывает, что методы решения задачи поиска оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов были разработаны в СССР. Причем в СССР эту задачу преимущественно решалась в детерминированной и статической постановке как оптимизационную задачу с одним критерием оптимальности – минимумом приведенных вагоно-часов и различными ограничениями. Для решения задачи использовали эвристические методы оптимизации и методы дискретного программирования.

*Использование электронных вычислительных машин для решения задачи поиска оптимального плана формирования поездов.* Решение задачи поиска оптимального плана формирования поездов, как и других комбинаторных задач, сопряжено с необходимостью выполнения большого числа рутинных вычислительных операций, что связано со значительными затратами времени и риском ошибок. В этой связи при разработке методов поиска оптимального плана формирования поездов всегда большое внимание уделяли организации процесса вычислений. В качестве примеров можно привести графоаналитический метод В. С. Ларионова [33] или табличный метод Л. П. Тулупова [63]. Однако реальное решение проблемы необходимости выполнения большого числа рутинных вычислений было связано с развитием вычислительной техники. На начальном этапе были предприняты попытки разработки специализированных счетных машин, а также использования имеющихся счетных машин для решения задач плана формирования поездов [71, 72]. В 50-х годах XX века в СССР появились серийные электронные цифровые вычислительные машины первого поколения, и разработка планов формирования поездов стала одной из первых задач, которые решали с их помощью.

Таблица 3

**Публикации, связанные с развитием решения задачи поиска оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов**

Table 3

**Publications related to the development of the solution to the problem of finding the optimal plan for the formation of single-group through trains**

№ п/п	Год	Автор (ы)	Содержание	Примечания и ссылки
1	1921	Фролов А. Н.	Постановка задачи организации вагонопотоков. Решение задачи распределения сортировочной работы между двумя станциями	[70]
2	1924	Васильев И. И.	Впервые поставлена и решена задача построения плана формирования поездов по условию соблюдения сроков доставки	Согласно [46]
3	1926, 1927	Васильев И. И.	Сформулирована задача разработки плана формирования поездов по условию минимума затраты вагоно-часов, предложен первый метод поиска оптимального плана формирования поездов – метод аналитических сопоставлений	Согласно [46]
4	1929–1973	Сокович В. А., Кисляков Н. Т. и Тихомиров И. Г., Заглядимова Д. П. и др., Ларионов В. С., Саенко В. Г. и Б. Дел Рио, Бернгард К. А., Тулупов Л. П., Стопичев С. Г., Покавкин В. А., Угрюмов А. К., Акулиничев В. М.	Совершенствование аналитических и графоаналитических методов	[1, 6, 18, 21, 33, 50, 57, 59, 63, 64]
5	1944	Петров А. П.	Разработка абсолютного метода поиска оптимального плана формирования поездов – первого метода, позволяющего найти строго оптимальное решение	Согласно [46]
6	1948–1962	Черенин В. П.	Задача поиска оптимального плана формирования поездов формализована как задача целочисленного программирования. Предложен метод последовательных расчетов для решения задач целочисленного программирования	[45] (совместно с Петровым А. П.), [73]
7		Попов А. П.	Задача поиска оптимального плана формирования поездов формализована и решена как задача поиска на графе	[52]
8		Дувалян С. В.	Задача поиска оптимального плана формирования поездов формализована и решена как задача целочисленного линейного программирования	[10, 11, 12]

Продолжение табл. 3  
Continuation of Table 3

№ п/п	Год	Автор (ы)	Содержание	Примечания и ссылки
9	1971	Казюлин Т. Е.	Задача поиска оптимального плана формирования поездов решена методом динамического программирования	[19]
10	1980	Кутыркин А. В., Васильев В. И.	Задача поиска оптимального плана формирования поездов решена методом ветвей и границ	[29]

В 1950-е годы А. П. Петров занялся транспортной кибернетикой. Он создал и возглавил отделение вычислительной техники Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), которое обеспечивало разработку и внедрение информационных технологий на железнодорожном транспорте. При этом организацию вагонопотоков А. П. Петров указал как первоочередную актуальную транспортную проблему, которая может быть решена на базе средств вычислительной техники [47]. Первая публикация о реализованной на ЭВМ программе, позволявшей определять оптимальный вариант плана формирования поездов, выполнена в 1958 году и принадлежит инж. Г. А. Кутуковой [28]. Программа была разработана в лаборатории вычислительной техники ВНИИЖТ для электронной вычислительной машины общего назначения первого поколения «Урал-1». Расчеты произведены по методике абсолютного расчета А. П. Петрова для линейного полигона с числом станций до 4. Продолжительность вычислений составляла порядка 3 с. В дальнейшем совершенствование методов поиска оптимального плана формирования поездов, с одной стороны и бурное развитие вычислительной техники и программного обеспечения – с другой стороны, позволило решать задачи организации вагонопотоков на все больших полигонах железных дорог. Анализ программных разработок по расчету плана формирования поездов, выполненных во времена СССР, приведен в табл. 4. В ней использованы данные из [44] с добавлением информации из [28]. В целом применение электронных вычислительных машин позволило в 1970-х годах получить решение задачи поиска оптимального плана формирования однопутных

сквозных поездов для железнодорожной сети СССР в детерминированной постановке.

*Методы решения других задач организации вагонопотоков.* Кроме задачи разработки плана формирования однопутных сквозных поездов, в СССР также был выполнен значительный объем исследований, направленных на решение других задач организации вагонопотоков.

Важной частью решения этой задачи на сети железных дорог является выбор рационального направления вагонопотоков на параллельных линиях. Решение данной задачи по критерию минимума эксплуатационных расходов привел А. П. Петров в [46], хотя в этой же работе указано, что существовали и более ранние способы выбора наиболее выгодного направления следования вагонопотоков в оперативных условиях, например метод В. Н. Белелюбского, предложенный в 1927 году. Такой же подход применен и в работе К. К. Тихонова [62].

Маршрутизация перевозок грузов позволяет сократить расходы за счет концентрации погрузки в определенные моменты времени.

Вопросы целесообразности формирования отправительских маршрутов различных категорий рассмотрены в работах Н. Т. Кислякова и И. Г. Тихомирова [21], В. Т. Осипова [43], М. Л. Забелло [50], В. Н. Орлова и В. В. Провороженко [42], А. П. Петрова [46], Н. М. Иванниченко [13], П. А. Коврова [22], Н. Е. Борового [7] и других авторов. Также проблеме организации вагонопотоков посвящены исследования по формированию групповых поездов [5, 49], организации порожних вагонопотоков [74, 34], организации вагонопотоков при выполнении местной работы на участках и железнодорожных узлах [40, 8].

Таблица 4

## Развитие программного обеспечения по расчету плана формирования поездов во времена СССР

Table 4

## Software development for calculating the plan of train formation during the USSR

Период разработки	Вид задачи	Метод	Автор методики	Число расчетных станций
1958	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Абсолютных расчетов	А. П. Петров, Г. А. Кутукова	4
1959–1960	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Последовательных расчетов	В. П. Черенин	6
			В. П. Черенин, В. Р. Хачатуров	9
1959–1961	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Абсолютных расчетов	А. П. Петров	7
1959–1960	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Совмещенных аналитических сопоставлений	К. А. Бернгард	24
1962	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Приближенный аналитический метод	С. Г. Стопичев, Хуан Куан Да	24
1964–1967	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Направленного перебора вариантов	А. И. Попов	24
	Расчет плана формирования одногруппных и групповых поездов			16
1967	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Последовательного нахождения оптимального варианта	С. Г. Стопичев	24
1967	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Совмещенных аналитических сопоставлений	Г. А. Кутукова	24
1969–1973	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Целенаправленного отбора вариантов	В. А. Покавкин, Л. А. Кучай	48
1970–1993	Расчет плана формирования одногруппных сквозных поездов	Последовательного улучшения	С. В. Дувалян	285

Общим для предлагаемых в этих исследованиях методов является то, что их целью, как и при решении задачи поиска оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов, было снижение общих расходов на пере-

возку, выражаемое в натуральных или приведенных вагоно-часах или в денежном исчислении. Кроме того, в процессе поиска наилучшего порядка организации вагонопотоков в поезда эти задачи рассматривают как отдельные под-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

задачи, решаемые перед поиском оптимального плана формирования одногруппных сквозных поездов.

Перевозочный процесс на железнодорожном транспорте подвержен влиянию множества случайных факторов. Из-за этого мощности струй вагонопотоков в разные периоды времени могут существенно отличаться и, по сути, являются случайными величинами. В работе [46] были поставлены задачи руководства выполнением плана формирования поездов и оперативной корректировкой плана формирования поездов, однако принципы решения данных задач не приведены. С началом использования ЭВМ появилась техническая база, которая дала возможность в режиме реального времени следить за вагонопотоками на сети и выполнять их статистическую обработку, что позволяет осуществлять корректировку плана формирования поездов в зависимости от изменения мощности назначений. На решение задач оперативной корректировки плана формирования поездов направлены работы А. В. Кутыркина [30, 31], В. А. Покавкина [51], Л. Д. Окипного [41] и других авторов.

*Практическая реализация методов организации вагонопотоков в поезда на железнодорожном транспорте.* К концу XIX века организацию железнодорожных перевозок на каждой дороге осуществляли в соответствии с разрабатываемыми внутри дороги рекомендациями. В 1893 году на Юго-Западных железных дорогах были введены «Правила составления товарных поездов по пунктам назначения», в которых, в том числе, были изложены и принципы специализации поездов, а также принципы формирования групповых поездов.

Рост объемов перевозок в условиях индустриализации СССР, а также централизация управления железнодорожным транспортом создали потребность и условия для совершенствования системы организации вагонопотоков. В соответствии с [46], в 1921 году приказом ГУПС № 3548 было предложено приступить к составлению плана сортировочной работы, взаимно согласовывая планы сортировочной работы по отдельным станциям дорог района и между районами. В результате в 1922 году

должны были создать «общий план сортировочной работы сети дорог Республики на всех направлениях». Однако эта попытка не увенчалась успехом.

Формирование грузовых поездов на железных дорогах СССР 20-х – начала 30-х годов XX века осуществляли на основании «Схем специализации», которые, в свою очередь, составляли на основании «Наставлений о специализации товарных поездов», таких как [37], а позже, согласно с [21, 36], на основании «Наставления по специализации и маршрутизации поездов» (брошюра НКПС № Э271, 1930 г.). Согласно [21], специализацию поездов, следующих между разными дорогами, устанавливали дороги или соседние районы при заключении узловых соглашений, а после 1933 года – на маршрутных съездах. Специализацию поездов, следующих внутри дорог, назначили сами дороги. На основании принятой специализации поездов для станций разрабатывали схемы специализации, в которых указывали: суточное число вагонов, при котором формируют поезд, допустимое время задержки вагонов под накоплением, назначения вагонов для пополнения состава поезда, порядок формирования групп в нем.

С 1929 года в СССР начались экономические реформы, связанные с переходом на модель плановой экономики, что незамедлительно отразилось и на работе железнодорожного транспорта. Состоявшийся в 1931 году июньский Пленум ЦК ВКП(б), на котором обсуждали пути улучшения работы транспорта, указал на необходимость реформ на железнодорожном транспорте. Основной из них стала замена схем специализации поездов единым для сети железных дорог планом формирования, обеспечивающим рациональную организацию вагонопотоков. Указанные реформы были проведены в 1935–1937 годах, после чего план формирования поездов наряду с графиком движения стал одним из основных документов, определяющих организацию эксплуатационной работы железных дорог. Системное изменение подходов к организации вагонопотоков, произошедшее в СССР во второй половине 30-х годов, прослеживается и в учебной литературе по организации перевозок на железнодорожном транспорте. Так, в учебнике 1934 года

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Н. Т. Кислякова и И. Г. Тихомирова [21] принципы организации вагонопотоков описаны в главе 11 «Специализация грузовых поездов» с отдельным пунктом «Схемы специализации грузовых поездов», в то время как в учебнике 1941 года В. А. Соковича и др. [58] принципы организации вагонопотоков уже изложены в разделе VIII «Основы формирования поездов», подразделы 3–7 которого посвящены вопросам разработки оптимального плана формирования поездов.

В годы Второй мировой войны железнодорожные перевозки осуществляли исходя из потребностей фронта. В системе организации вагонопотоков преобладали маршрутные поезда с тыла на фронт. Кроме перевозок грузов для нужд фронта, существовала острая необходимость перемещения груженых вагонопотоков между оборонными предприятиями, находящимися внутри страны. В общем перевозки этих грузов имели большие объемы, однако по своей структуре были раздроблены и поэтому не охватывались отправительской маршрутизацией. В этой связи возникло разделение плана формирования на две части. Первую часть составили маршрутные перевозки с мест погрузки. Ко второй части была отнесена организация менее мощных назначений вагонопотоков в сквозные поезда. Такая структура плана формирования поездов сохраняется и до наших дней.

Накопленный опыт и результаты научных исследований по организации вагонопотоков на сети железных дорог СССР позволили в 1952 году издать «Инструктивные указания по составлению плана формирования поездов» [14], составленные профессорами А. П. Петровым, К. А. Бернгардом, М. Л. Забелло и М. А. Симаковским под общим руководством А. П. Петрова. Структура этих Инструктивных указаний преимущественно повторяла структуру основной части монографии А. П. Петрова [46] и включала 20 глав, соответствующих отдельным этапам разработки плана формирования поездов. В 1967 году на замену [14] были введены «Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР» [15]. Третий раз пересмотр Инструктивных указаний был выполнен

в 1984 году [16]. В его процессе были учтены новые, более совершенные методы сбора исходных данных для разработки плана формирования поездов, оценки эффективности отдельных его вариантов и поиска наилучшего варианта организации вагонопотоков.

Построенная в СССР система организации вагонопотоков в поезда являлась одним из основных факторов, значительно обеспечивающих более высокие показатели использования железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава по сравнению с другими государствами. Так, в СССР по сравнению с США в 1990 году грузонапряженность железных дорог была выше в 3 раза, производительность вагона выше в 2,75 раза, а оборот вагонов при близкой дальности перевозок был ниже в 3,4 раза [27]. С другой стороны, ориентация железных дорог СССР на уменьшение средней себестоимости перевозок привела к снижению показателей качества оказываемых услуг, таких как скорость и точность выполнения сроков доставки грузов.

*План формирования поездов на железных дорогах Украины.* После обретения Украиной независимости и формирования ее собственной железнодорожной транспортной системы в 2004 году на «Укрзалізниця» приняты Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах Украины [17]. В этом документе были учтены появление действующего на территории бывшего СССР межгосударственного плана формирования поездов, изменения организационной структуры «Укрзалізниця», изменения автоматизированной системы управления перевозками. В то же время как цели организации вагонопотоков в поезда, так и методы решения задачи остались те же, что и во времена СССР. Поэтому в настоящее время в Украине фактически действует порядок организации вагонопотоков в поезда, созданный для условий работы железнодорожного транспорта Советского Союза.

Сейчас в Украине так же, как и в СССР, перевозки осуществляют один перевозчик (АО «Укрзалізниця»), а дифференциация железнодорожного тарифа в зависимости от срока доставки и маршрута перевозки отсутствует. Однако по сравнению с условиями работы желез-



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ных дорог СССР произошли и существенные изменения, среди которых прежде всего необходимо выделить следующие:

– значительную часть перевозок выполняют в собственных вагонах, в уменьшении оборота которых перевозчик (АО «Укрзалізниця») не имеет прямой заинтересованности, особенно в условиях произошедшего уменьшения нормативных сроков доставки грузов (для повагонных отправок с 330 до 200 км/сут и маршрутных отправок с 550 до 320 км/сут.);

– мощности вагонопотоков в целом упали из-за снижения объемов перевозок грузов, в то же время число назначений струй вагонопотоков возросло из-за необходимости подборки вагонов по собственникам и техническому состоянию;

– на отдельных направлениях, прежде всего в морские порты, пропускная способность железных дорог полностью исчерпана, и существует необходимость перераспределения вагонопотоков на параллельные направления;

– парк поездных и маневровых локомотивов существенно изношен, и имеет место дефицит тяговых средств для выполнения перевозок, особенно тепловозов;

– между железнодорожным и автомобильным транспортом существует жесткая конкуренция за грузопотоки из-за перехода к рыночной экономике, а также из-за сокращения среднего расстояния перевозок железнодорожным транспортом ввиду сокращения площади страны более чем в 37 раз;

– на железнодорожном транспорте внедрены автоматизированные системы управления, позволяющие контролировать состояние перевозочного процесса в реальном режиме времени.

В этих условиях в Украине произошел значительный уклон в сторону решения задач оперативного управления поездообразованием в ущерб стабильности плана формирования поездов. Показательной является ситуация на Одесском железнодорожном узле, где фактическое число назначений формируемых поездов стабильно превышает число назначений, указанных в плане формирования. Этот факт даже отражен в технологических процессах работы станций Одесса–Порт, Одесса Сортировочная и

Одесса–Застава–1. Комплексный расчет плана формирования поездов в Украине практически не выполняют. Вместо этого ежегодно осуществляют только корректировку предшествующего плана формирования. Действующий план формирования поездов АО «Укрзалізниця» имеет значительные возможности для его оперативной корректировки, что связано с нестабильностью вагонопотоков. Однако такое решение в настоящее время принимает человек, что не позволяет учесть все факторы и исключить субъективизм в оценках вариантов. Меньшие размеры сети Украины по сравнению с железнодорожной сетью СССР, более совершенная система автоматизированного управления АСК ВП УЗ-Е по сравнению с советской АСОУП, внедрение автоматизированной системы планирования перевозок грузов «АС МЕСПЛАН» создают возможность комплексного решения задачи организации и продвижения вагонопотоков в реальном времени в зависимости от сложившейся оперативной ситуации.

Дальнейшее реформирование рынка железнодорожных перевозок в Украине направлено на достижение соответствия нормам европейского законодательства в области железнодорожного транспорта. Основные изменения при этом будут связаны с допуском к магистральной железнодорожной инфраструктуре независимых перевозчиков и разделением услуг железнодорожной инфраструктуры. Услуги по формированию поездов в соответствии с положениями Директив 2001/14ЕС и 2012/34 ЕС в проекте Закона Украины «О железнодорожном транспорте» выделены в отдельный вид услуг и отнесены к дополнительным услугам железнодорожной инфраструктуры. Их может предоставлять перевозчику как оператор инфраструктуры общего пользования, так и другие субъекты хозяйствования – собственники железнодорожной инфраструктуры (операторы объектов обслуживания в терминах Директивы 2012/34 ЕС). В этой связи при организации вагонопотоков в поезда у оператора инфраструктуры общего пользования и операторов объектов обслуживания будут возникать задачи распределения мощности железнодорожной инфраструктуры по формированию поездов

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

между различными перевозчиками и установления стоимости этих услуг с целью получения максимальной прибыли. Кроме того, у каждого отдельного перевозчика будет возникать собственная задача организации своих поездопотоков на инфраструктуре общего и необщего пользования с целью выполнения запланированных объемов перевозок и достижения максимальной прибыли.

### Научная новизна и практическая значимость

В работе впервые на основании исторического анализа развития методов организации вагонопотоков на железных дорогах Российской империи и СССР установлены связи между условиями работы железнодорожного транспорта и методами организации вагонопотоков в поезда.

Ценность результатов для практики состоит в том, что они указывают на необходимость изменения в Украине системы организации вагонопотоков в соответствии с условиями работы ее железнодорожного транспорта и выбранным направлением реформирования рынка железнодорожных перевозок.

### Выводы

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы. Методы организации вагонопотоков прошли значительный путь развития под влиянием изменений условий работы

железнодорожного транспорта, развития технических средств управления им и математических методов оптимизации. Возникновение научных методов организации вагонопотоков в поезда относится ко временам Российской империи. Современный подход к организации вагонопотоков, базирующийся на плане формирования поездов, был разработан в 1931–1945 гг. Целью внедрения плана формирования поездов было снижение расходов железных дорог на выполнение перевозок грузов. Условиями реализации такого подхода является то, что железные дороги вертикально интегрированы: они одновременно и эксплуатируют инфраструктуру, и являются перевозчиком, выполняющим перевозки грузов в своих вагонах, при этом конкуренция между видами транспорта за грузопотоки отсутствует.

Современные методы решения задачи организации вагонопотоков в основном формировались в 1945–1952 годах. В их основу положено разделение задачи организации вагонопотоков в поезда на отдельные подзадачи и последовательное их решение в детерминированной и статической постановке. Практически задача организации вагонопотоков на железных дорогах СССР была решена в 1970–1980-х гг. с помощью ЭВМ. Переход Украины к рыночной модели экономики привел к существенному изменению условий работы железнодорожного транспорта, что требует пересмотра принципов организации вагонопотоков в поезда.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акулиничев В. М. Новый метод расчета плана формирования поездов. *Труды МИИТа*. 1959. Вып. 113. С. 76–102.
2. Аргинский К. Хлебные залежи на русских железных дорогах. *Вестник Саратовского отделения РТО*. 1903. № 1; 3; 4. С. 12; 25; 38.
3. Бернгард К. А. Мероприятия по сокращению простоя вагонов под накоплением одногруппных технических маршрутов. *Труды ВНИИЖТа*. 1946. Вып. 1. С. 4–33.
4. Бернгард К. А., Забелло М. Л., Шулько В. П. Расчет плана формирования одногруппных технических маршрутов. *Труды ВНИИЖТа*. 1948. Вып. 17. 44 с.
5. Бернгард К. А. Групповые поезда (Вопросы организации вагонопотоков). *Труды ВНИИЖТа*. 1953. Вып. 76. 168 с.
6. Бернгард К. А. *Техническая маршрутизация железнодорожных перевозок*. Москва : Трансжелдориздат, 1956. 237 с.
7. Боровой Н. Е. *Маршрутизация перевозок грузов*. Москва : Транспорт, 1978. 216 с.
8. Буянова В. К., Балашова Т. В., Тимохин Э. Ю. Внутридорожный план формирования поездов : методика расчета, алгоритмы. *Труды ЦНИИ МПС*. 1978. Вып. 589. 135 с.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

9. Васильев И. И. *Графики и расчеты по организации железнодорожных перевозок*. Москва : Трансжелдориздат, 1941. 575 с.
10. Дувалян С. В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учета на железнодорожном транспорте. *Сборник научных трудов ВНИИЖТа*. 1969. № 401. 256 с.
11. Дувалян С. В. *Разработка алгоритмов и программ расчета сетевого плана формирования поездов : отчет по научно-исследовательской работе*. Москва : ВНИИЦ, 1978. 120 с.
12. Дувалян С. В., Гарслян А. Е. Расчет плана формирования одногруппных поездов при переменных нормативах и ограничениях размеров переработки вагонов на станциях. *Вестник ВНИИЖТа*. 1988. № 6. С. 1–5.
13. Заглядимов Д. П., Петров А. П., Сергеев Е. С. Организация движения на железнодорожном транспорте. Москва : Трансжелдориздат, 1941. 560 с.
14. Иваницкий Н. М. Эффективное использование отправительской маршрутизации. *Железнодорожный транспорт*. 1956. № 5. С. 74–75.
15. Инструктивные указания по составлению плана формирования поездов / МПС СССР. [Действующий от 1951-12-03]. Москва : Трансжелдориздат, 1952. 152 с.
16. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. [Действующий от 1966-09-24]. Москва : Транспорт, 1967. 190 с.
17. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР. [Действующий от 1982-04-19]. Москва : Транспорт, 1984. 256 с.
18. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України. [Чинний від: 2004-12-29]. Затв. наказом Укрзалізниці від № 1028–ЦЗ. Київ : ТОВ «Швидкий рух», 2005. 100 с.
19. Казюлин Т. Е. Выбор оптимального варианта организации вагонопотоков методом динамического программирования. *Труды МИИТ*. 1971. Вып. 362. С. 18–35.
20. Карамышев Д. М. О работе сортировочного парка. *Известия общего бюро совещательных съездов*. 1910. № 1; 2. С. 45; 129.
21. Кисляков Н. Т., Тихомиров И. Г. *Организация железнодорожных перевозок*. Москва : Трансжелдориздат, 1934. 288 с.
22. Ковров П. А. К расчету эффективности отправительской маршрутизации. *Вопросы эксплуатации железных дорог*. 1961. Вып. 182. С. 106–127.
23. Корбут А. А., Финкельштейн Ю. Ю. *Дискретное программирование*. Москва : Наука, 1969. 368 с.
24. Кочнев Ф. П. Максимович Б. М. Померанцев В. В. Тихонов К. К. Черномордик Г. И. *Организация движения на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп.* Москва : Трансжелдориздат, 1958. 491 с.
25. Кочнев Ф. П., Тихонов К. К., Черномордик Г. И. *Организация движения на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов*. Москва : Трансжелдориздат, 1963. 520 с.
26. Краузе А. О мерах к ускорению доставки грузов по железным дорогам. *Инженер*. 1894. № 4. С. 172–176.
27. Курбатова А. В., Курбатов Ф. С. Железнодорожный транспорт России и США в показателях использования путевой инфраструктуры, подвижного состава и производительности труда. *Россия и мир*. 2012. Вып. 4. С. 118–130.
28. Кутукова Г. А. Расчет показателей заданного варианта плана формирования на ЭЦВМ. *Вестник ВНИИЖТа*. 1958. № 1. С. 60–62.
29. Кутыркин А. В., Васильев В. И. Расчет оптимального плана формирования одногруппных поездов методом ветвей и границ. *Вестник ВНИИЖТа*. 1980. № 7. С. 49–54.
30. Кутыркин А. В. Динамическая модель планирования и оперативного управления вагонопотоками. *Вестник ВНИИЖТа*. 1981. № 8. С. 7–13.
31. Кутыркин А. В. Алгоритмы оперативной корректировки плана формирования поездов. *Вестник ВНИИЖТа*. 1983. № 8. С. 1–6.
32. Ларионов В. С. К вопросу о специализации товарных поездов. *Труды МИИТа*. 1927. Вып. V. С. 251; 288.
33. Ларионов В. С. Новый метод расчета плана формирования. *Железнодорожный транспорт*. 1947. № 10. С. 12–15.
34. Левин Д. Ю. Организация порожних вагонопотоков со станцией выгрузки. *Вестник ВНИИЖТа*. 1977. № 7. С. 46–48.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

35. Манос И. Я., Фролов А. Н. *Общий курс эксплуатации железных дорог*. Москва, Ленинград : Гос. изд-во, 1926. 208 с.
36. Михельсон К. П. Лженаука в эксплуатации железных дорог под прикрытием «математики». *Труды МИИТа*. 1937. Вып 50. С. 51–82.
37. *Наставление о специализации товарных поездов*. Москва : Московско-Казанская ж. д., 1925. 25 с.
38. Негрей В. Я., Шкурин К. М. Синергетический подход к расчету плана формирования одногруппных поездов. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 5 (77). С. 53–64.  
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/147718>
39. Нейштадт С. И. Транспорт, работающий на пределе. *Эксплуатация железных дорог*. 1934. № 6. С. 14–17.
40. Нурмухамедов Р. З. Исследование вопросов расчета плана формирования поездов в районе местной работы. *Труды ТашиИИТ*. 1982. Вып. 176 / 23. С. 69–81.
41. Окипный Л. Д., Покавкин В. А. Эффективность оперативной организации вагонопотоков. *Железнодорожный транспорт*. 1985. № 11. С. 13–16.
42. Орлов В. Н., Повороженко В. В. *Технико-экономические расчеты по организации железнодорожных перевозок*. Москва : Трансжелдориздат, 1943. 281 с.
43. Осипов, В. Т. *Отправительская маршрутизация на железнодорожном транспорте*. Москва : Трансжелдориздат, 1958. 486 с.
44. Осьминин А. Т. Развитие теории и методов расчета плана формирования поездов. *Железнодорожный транспорт*. 2010. № 10. С. 31–39.
45. Петров А. П., Черенин В. П. Усовершенствование метода составления плана формирования поездов. *Железнодорожный транспорт*. 1948. № 3. С. 60–71.
46. Петров А. П. *План формирования поездов : Опыт, теория, методика расчетов*. Москва : Трансжелдориздат, 1950. 483 с.
47. Петров А. П. Применение электронных вычислительных машин на железнодорожном транспорте. *Вестник ВНИИЖТа*. 1958. № 1. С. 8–18.
48. Повороженко В. П., Бернгард К. А., Гликман М. С. Эксплуатационные требования к размещению сортировочных станций. *Труды ВНИИЖТа*. 1948. Вып. 25. 289 с.
49. Покавкин В. А. К вопросу об эффективности групповой технической маршрутизации перевозок. *Сборник научных трудов РИИЖТ*. 1961. Вып. 30. С. 93–143.
50. Покавкин В. А. Расчет плана формирования одногруппных поездов модифицированным методом последовательного приближения. *Труды РИИЖТа*. 1973. Вып. 98. С. 25–68
51. Покавкин В. А., Мелешко В. Н. Оперативное назначение групповых поездов и использование дифференцированных масс поездов в системе оптимальной организации вагонопотоков. *Вопросы увеличения пропускной и провозной способности железных*. 1985. Вып. 182. С. 51–57.
52. Попов А. И. Алгоритм и программа расчета плана формирования одногруппных и групповых поездов на ЭВМ по методу направленного перебора вариантов. *Труды МИИТа*. 1966. Вып. 229. 68 с.
53. Прохорченко А. В. Исследование свойства масштабной инвариантности системы организации поездопотоков на основе теории перколяции. *Наука и прогресс транспорта*. 2014. № 5 (53). С. 56–64.  
DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/30471>
54. Рихтер И. И. *Очерк мер, уменьшающих расходы содержания и эксплуатации железных дорог*. Санкт-Петербург, 1883. 60 с.
55. Саенко В. Г., Дел Рио Б. Выбор оптимального варианта плана формирования одногруппных поездов. *Железнодорожный транспорт*. 1953. Вып 9. С. 78–85.
56. Сокович В. А. Влияние простоя вагонов на сортировочных станциях в зависимости от числа сортируемых направлений. *Вестник Екатеринбургской ж.-д.* 1916. № 462 / 30. С. 1–5.
57. Сокович В. А. *Железнодорожные перевозки : Основы организации*. Москва : Транспечать НКПС, 1929. 315 с.
58. Сокович В. А., Пошивайло И. Н., Гранквист В. В., Колесников Н. П. *Организация движения на железнодорожном транспорте* : учеб. для вузов ж.-д. трансп. : в 2 т. Москва : Трансжелдориздат, 1941. Т. 1; Т. 2. 496 с.; 374 с.
59. Стопичев С. Г. Нахождение оптимального варианта плана формирования одногруппных технических маршрутов. *Вестник ВНИИЖТ*. 1959. № 4. С. 19–23.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

60. Стрелко О. Г. Аналіз наукового доробку професора О. М. Фролова (1863-1939) в галузі експлуатації залізниць. *Наукові праці істор. фак-ту Запорізького нац. ун-ту*. 2015. Вип. 4. С. 361–364.
61. *Технический справочник железнодорожника. Т. 13 : Эксплуатация железных дорог* / ред. Р. И. Робель. Москва : Трансжелдориздат, 1956. 740 с.
62. Тихонов К. К. *Технико-экономические расчеты в эксплуатации железных дорог*. Москва : Всесоюз. издательско-полиграфическое объединение Министерства путей сообщения, 1962. С. 252.
63. Тулупов Л. П. Расчет плана формирования поездов с помощью вспомогательных таблиц. *Труды МИИТа*. 1953. Вып. 79. С. 150–165.
64. Угрюмов А. К. Совершенствование методов расчета плана формирования. *Железнодорожный транспорт*. 1953. № 6. С. 58–66.
65. Фролов А. Н. Общие мысли о простое вагонов на сортировочных станциях. *Инженер*. 1901. № 5. С. 235–238.
66. Фролов А. Н. Новая идея хлебной мобилизации. *Вестник Саратовского отделения РТО*. 1903. № 3. С. 41.
67. Фролов А. Н. Общие соображения о простое вагонов на сортировочных станциях. *XX Совецательный съезд инженеров службы пути русских железных дорог 1902 г. Протоколы заседаний и труды*. 1903. С. 157–165.
68. Фролов А. Н. *Общие соображения о простое вагонов в сортировочной станции*. Саратов, 1903. 16 с.
69. Фролов А. Н. *Сборник статей, касающихся станций и маневров*. Саратов, 1906. 143 с.
70. Фролов А. Н. К вопросу о взаимодействии сортировочных станций. *Техника и экономика путей сообщения*. 1921. № 8. С. 19–24.
71. Черенин В. П. *Счетная машина для составления плана формирования поездов : Изобретение № 405197-1У. I.X*. 1949. Авторское свидетельство от 24.01.1951.
72. Черенин В. П. Механизация расчетов по составлению плана формирования поездов. *Техника железных дорог*. 1954. № 1. С. 22–24.
73. Черенин В. П. Алгоритм и программа последовательных расчетов плана формирования. Составление плана формирования поездов на электронных машинах. *Труды ВНИИЖТа*. 1962. Вып. 247. С. 113–131.
74. Чернов Г. И. Оптимальное распределение порожних цистерн на полигоне дороги. *Железнодорожный транспорт*. 1978. № 1. С. 10–14.

Д. М. КОЗАЧЕНКО<sup>1\*</sup>, О. Ю. ПАПАХОВ<sup>2\*</sup>, Ю. М. ГЕРМАНИЮК<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта kozachenko@upr.dit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>2\*</sup>Каф. «Управління експлуатаційною роботою», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта rarahova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

<sup>3\*</sup>Каф. «Транспортні технології», Львівська філія Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. І. Блажкевич, 12а, Львів, Україна, 79000, тел. +30 (032) 267 99 74, ел. пошта yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

## РОЗВИТОК МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ У РОСІЙСЬКІЙ ІМПЕРІЇ ТА СРСР

**Мета.** Основною метою цієї статті є дослідження розвитку методів організації вагонопотоків у поїзди на залізницях Російської імперії та СРСР. **Методика.** Дослідження виконані на основі аналізу літературних джерел і методів теорії організації експлуатаційної роботи залізниць. **Результати.** Методи організації вагонопотоків пройшли значний шлях розвитку під впливом змін умов роботи залізничного транспорту, формування технічних засобів управління ним і математичних методів оптимізації. Виникнення наукових методів організації вагонопотоків у поїзди сягає часів Російської імперії. Сучасний підхід до організації вагонопотоків, що базується на плані формування поїздів, розвивався в СРСР в 1931–1945 рр. Метою впровадження плану формування поїздів було зниження витрат залізниць на виконання перевезень вантажів. Умовами реалізації такого підходу є те, що залізниці вертикально інтегровані: вони одночасно експлуатують залізничну інфраструктуру

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

і є перевізником, який виконує перевезення вантажів у власних вагонах, при цьому конкуренція між видами транспорту за вантажопотоки відсутня. Формування сучасних методів розв'язання задачі організації вагонопотоків здебільшого відбулося в 1945–1952 роках. В основу цих методів покладено розбиття задачі організації вагонопотоків у поїзди на окремі підзадачі й послідовне їх розв'язання в детермінованій і статичній постановці. Практично задача організації вагонопотоків на залізницях СРСР у сучасній її постановці була розв'язана в 1970–1980-х рр. за допомогою ЕОМ. Перехід України до ринкової моделі економіки призвів до істотної зміни умов роботи залізничного транспорту, що вимагає перегляду принципів організації вагонопотоків у поїзди. **Наукова новизна.** У роботі вперше на підставі історичного аналізу розвитку методів організації вагонопотоків на залізницях Російської імперії і СРСР встановлено зв'язки між умовами роботи залізничного транспорту й методами організації вагонопотоків у поїзди. **Практична значимість.** Цінність результатів для практики полягає в тому, що вони вказують на необхідність зміни в Україні системи організації вагонопотоків відповідно до умов роботи її залізничного транспорту й обраного напрямку реформування ринку залізничних перевезень.

*Ключові слова:* залізничний транспорт; організація вагонопотоків; план формування поїздів; накопичення вагонів

D. M. KOZACHENKO<sup>1\*</sup>, O. Y. PAPAHOV<sup>2\*</sup>, Y. N. HERMANIUK<sup>3\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Operational Work Management», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail kozachenko@upp.diit.edu.ua, ORCID 0000-0003-2611-1350

<sup>2\*</sup>Dep. «Operational Work Management», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail papahova0362@gmail.com, ORCID 0000-0003-2357-8158

<sup>3\*</sup>Dep. «Transport Technologies», Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lviv branch, I. Blazhkevycha St., 12a, Ukraine, 79000, tel. +30 (032) 267 99 74, e-mail yuhermanyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-4905-8313

## DEVELOPMENT OF CAR TRAFFIC VOLUMES ORGANIZATION METHODS IN THE RUSSIAN EMPIRE AND IN THE USSR

**Purpose.** The main purpose of this article is to study the development of methods for organizing car traffic volumes into trains at the railways of the Russian Empire and the USSR. **Methodology.** The studies were carried out based on an analysis of literary sources and methods of the theory of organization of operational work of railways. **Findings.** The methods for organizing car traffic volumes have gone a significant development path under the influence of changes in the working conditions of railway transport, the formation of control technology and mathematical methods of optimization. The emergence of scientific methods for organizing car traffic volumes in trains dates back to the times of the Russian Empire. A modern approach to the organization of car traffic volumes is based on the plan for the train formation, developed in the USSR in 1931–1945. The goal of the implementation of the train formation plan was to reduce railroad expenses for cargo transportations. The conditions for the implementation of this approach is that the railways are vertically integrated: they simultaneously operate the railway infrastructure, and are the carriers transporting goods in their cars, while there is no competition between the transport modes for freight traffic volumes. The formation of modern methods for solving the problem of organizing car traffic volumes was mainly performed in 1945–1952. The basis of these methods is the separation of the organization of car traffic volumes into separate subtasks and their sequential solution in a deterministic and static setting. In practice, the organization of car traffic volumes at the railways of the USSR was solved in the 1970–1980s using a computer. The transition of Ukraine to a market model of the economy has led to a significant change in the working conditions of railway transport, which requires a review of the principles of organizing car traffic volumes into trains. **Originality.** For the first time, based on a historical analysis of the development of methods for organizing car traffic volumes at the railways of the Russian Empire and the USSR, connections were established between the working conditions of railway transport and methods for organizing car traffic volumes into trains. **Practical value** lies in the fact that they indicate the need to change in Ukraine the organization of car traffic volumes in accordance with the current working conditions of railway transport and the chosen direction of reforming the railway transportation market.

*Ключевые слова:* railway transport; car traffic volumes organization; train formation plan; cars accumulation

## REFERENCES

1. Akulinichev, V. M. (1959). Novyy metod rascheta plana formirovaniya poezdov. *Trudy MIITa*, 113, 76-102. (in Russian)
2. Arginskiy, K. (1903). Khlebnye zalezhi na russkikh zheleznykh dorogakh. *Vestnik Saratovskogo otdeleniya RTO*, 1; 3; 4, 12; 25; 38. (in Russian)
3. Bergard, K. A. (1946). Meropriyatiya po sokrashcheniyu prostoya vagonov pod nakopleniem odnogruppnykh tekhnicheskikh marshrutov. *Trudy VNIIZhTa*, 1, 4-33. (in Russian)
4. Bergard, K. A., Zabello, M. L., & Shulko, V. P. (1948). Rasschet plana formirovaniya odnogruppnykh tekhnicheskikh marshrutov. *Trudy VNIIZhTa*, 17, 44. (in Russian)
5. Bergard, K. A. (1953). Gruppovye poezda (Voprosy organizatsii vagonopotokov). *Trudy VNIIZhTa*, 76, 168. (in Russian)
6. Bergard, K. A. (1956). *Tekhnicheskaya marshrutizatsiya zheleznodorozhnykh perezovok*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
7. Borovoy, N. Ye. (1978). *Marshrutizatsiya perezovok gruzov*. Moscow: Transport. (in Russian)
8. Buyanova, V. K., Balashova, T. V., & Timokhin, E. Yu. (1978). Vnutridorozhnyy plan formirovaniya poezdov: metodika rascheta, algoritmy. *Trudy TsNII MPS*, 589, 135. (in Russian)
9. Vasilev, I. I. (1941). *Grafiki i raschety po organizatsii zheleznodorozhnykh perezovok*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
10. Duvalyan, S. V. (1969). Metody i algoritmy resheniya zadach planirovaniya i ucheta na zheleznodorozhnom transporte. *Sbornik nauchnykh trudov VNIIZhTa*, 401, 256. (in Russian)
11. Duvalyan, S. V. (1978). *Razrabotka algoritmov i programm rascheta setevogo plana formirovaniya poezdov: otchet po nauchno-issledovatel'skoy rabote*. Moscow: VNGITs. (in Russian)
12. Duvalyan, C. B., & Garslyan, A. Ye. (1988). Raschet plana formirovaniya odnogruppnykh poezdov pri peremennykh normativakh i ogranicheniyakh razmerov pererabotki vagonov na stantsiyakh. *Vestnik VNIIZhTa*, 6, 1–5. (in Russian)
13. Zaglyadimov, D. P., Petrov, A. P., & Sergeev, Ye. S. (1941). *Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
14. Ivanitskiy, N. M. (1956). Effektivnoe ispolzovanie otpravitelskoy marshrutizatsii. *Zheleznodorozhnyy transport*, 5, 74-75. (in Russian)
15. *Instruktivnye ukazaniya po sostavleniyu plana formirovaniya poezdov/MPS SSSR*. (1952). Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
16. *Instruktivnye ukazaniya po organizatsii vagonopotokov na zheleznykh dorogakh SSSR*. (1967). Moscow: Transport. (in Russian)
17. *Instruktivnye ukazaniya po organizatsii vagonopotokov na zheleznykh dorogakh SSSR*. (1982). Moscow: Transport. (in Russian)
18. *Instruktyvni vkazivky z orhanizatsii vahonopotokiv na zaliznytsiakh Ukrainy: No. 1028-TsZ*. (2015). Kyiv: TOV «Shvydkyi rukh». (in Ukrainian)
19. Kazyulin, T. Ye. (1971). Vybory optimal'nogo varianta organizatsii vagonopotokov metodom dinamicheskogo programmirovaniya. *Trudy MIIT*, 362, 18-35. (in Russian)
20. Karamyshev, D. M. (1910). O rabote sortirovochnogo parka. *Izvestiya obshchego byuro soveshchatelnykh sezdov*, 1; 2, 45; 129. (in Russian)
21. Kislyakov, N. T., & Tikhomirov, I. G. (1934). *Organizatsiya zheleznodorozhnykh perezovok*. Moskva: Transzheldorizdat. (in Russian)
22. Kovrov, P. A. (1961). K raschetu effektivnosti otpravitelskoy marshrutizatsii. *Voprosy ekspluatatsii zheleznykh dorog*, 182, 106-127. (in Russian)
23. Korbut, A. A., & Finkelshteyn, Yu. Yu. (1969). *Diskretnoe programmirovaniye*. Moscow: Nauka. (in Russian)
24. Kochnev, F. P., Maksimovich, B. M., Pomerantsev, V. V., Tikhonov, K. K., & Chernomordik, G. I. (1958). *Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: uchebnyk dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
25. Kochnev, F. P., Tikhonov, K. K., & Chernomordik, G. I. (1963). *Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: uchebnyk dlya vuzov*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
26. Krauze, A. (1894). O merakh k uskoreniyu dostavki gruzov po zheleznykh dorogam. *Inzhener*, 4, 172-176. (in Russian)

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

27. Kurbatova, A. V., & Kurbatov, F. S. (2012). Zhelezнодороzhnyy transport Rossii i SShA v pokazatelyakh ispolzovaniya putevoy infrastruktury, podvizhnogo sostava i proizvoditelnosti truda. *Rossiya i mir*, 4, 118-130. (in Russian)
28. Kutukova, G. A. (1958). Raschet pokazateley zadannogo varianta plana formirovaniya na ETsVM. *Vestnik VNIIZhTa*, 1, 60-62. (in Russian)
29. Kutyркиn, A. V., & Vasilev, V. I. (1980). Raschet optimalnogo plana formirovaniya odnogruppykh poezdov metodom vetvey i granits. *Vestnik VNIIZhTa*, 7, 49-54. (in Russian)
30. Kutyркиn, A. V. (1981). Dinamicheskaya model planirovaniya i operativnogo upravleniya vagonopotokami. *Vestnik VNIIZhTa*, 8, 7-13. (in Russian)
31. Kutyркиn, A. V. (1983). Algoritmy operativnoy korektyrovki plana formirovaniya poezdov. *Vestnik VNIIZhTa*, 8, 1-6. (in Russian)
32. Larionov, V. S. (1927). K voprosu o spetsializatsii tovarnykh poezdov. *Trudy MIITa*, V, 251; 288. (in Russian)
33. Larionov, B. C. (1947). Novyy metod rascheta plana formirovaniya. *Zhelezнодороzhnyy transport*, 10, 12-15. (in Russian)
34. Levin, D. Yu. (1977). Organizatsiya porozhnykh vagonopotokov so stantsiei vygruzki. *Vestnik VNIIZhTa*, 7, 46-48. (in Russian)
35. Manos, I. Ya., & Frolov, A. N. (1926). *Obshchiy kurs ekspluatatsii zheleznykh dorog*. Moscow, Leningrad: Gosudarstvennoe izdanie. (in Russian)
36. Mikhelson, K. P. (1937). Lzhenauka v ekspluatatsii zheleznykh dorog pod prikrytiem «matematiki». *Trudy MIITa*, 50, 51-82. (in Russian)
37. *Nastavlenie o spetsializatsii tovarnykh poezdov*. (1925). Moscow: Moskovsko-Kazanskaya zheleznyaya doroga. (in Russian)
38. Negrey, V. Y., & Shkuryin, K. M. (2018). Synergetic approach to the calculation of one-group train formation plan. *Science and Transport Progress*, 5(77), 53-64. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/147718> (in Russian)
39. Neyshtadt, S. I. (1934). Transport, robotayushchiy na predele. *Ekspluatatsiya zheleznykh dorog*, 6, 14-17. (in Russian)
40. Nurmukhamedov, R. Z. (1982). Issledovanie voprosov rascheta plana formirovaniya poezdov v rayone mestnoy raboty. *Trudy TashIIT*, 176/23, 69-81. (in Russian)
41. Okipnyy, L. D., & Pokavkin, V. A. (1985). Effektivnost operativnoy organizatsii vagonopotokov. *Zhelezнодороzhnyy transport*, 11, 13-16 (in Russian)
42. Orlov, V. N., & Povorozhenko, V. V. (1943). *Tekhniko-ekonomicheskie raschety po organizatsii zhelezнодороzhnykh perevozok*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
43. Osipov, V. T. (1958). *Otpravitel'skaya marshrutizatsiya na zhelezнодороzhnom transporte*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
44. Osminin, A. T. (2010). Razvitie teorii i metodov rascheta plana formirovaniya poezdov. *Zhelezнодороzhnyy transport*, 10, 31-39. (in Russian)
45. Petrov, A. P., & Cherenin, V. P. (1948). Uovershenstvovanie metoda sostavlenniya plana formirovaniya poezdov. *Zhelezнодороzhnyy transport*, 3, 60-71. (in Russian)
46. Petrov, A. P. (1950). *Plan formirovaniya poezdov: Opyt, teoriya, metodika raschetov*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
47. Petrov, A. P. (1958). Primenenie elektronnykh vychislitelnykh mashin na zhelezнодороzhnom transporte. *Vestnik VNIIZhTa*, 1, 8-18. (in Russian)
48. Povorozhenko, V. P., Bergard, K. A., & Glikman, M. S. (1948). Ekspluatatsionnye trebovaniya k razmeshcheniyu sortirovochnykh stantsiy. *Trudy VNIIZhTa*, 25, 289. (in Russian)
49. Pokavkin, V. A. (1961). K voprosu ob effektivnosti gruppyvoy tekhnicheskoy marshrutizatsii perevozok. *Sbornik nauchnykh trudov RIIZhT*, 30, 93-143. (in Russian)
50. Pokavkin, V. A. (1973). Raschet plana formirovaniya odnogruppykh poezdov modifitsirovannym metodom posledovatel'nogo priblizheniya. *Trudy RIIZhTa*, 98, 25-68. (in Russian)
51. Pokavkin, V. A., & Meleshko, V. N. (1985). Operativnoe naznacheniye gruppykh poezdov i ispolzovanie differentsirovannykh mass poezdov v sisteme optimalnoy organizatsii vagonopotokov. *Voprosy uvelicheniya propusknoy i provoznoy sposobnosti zheleznykh dorog*, 182, 51-57. (in Russian)
52. Popov, A. I. (1966). Algoritm i programma rascheta plana formirovaniya odnogruppykh i gruppykh poezdov na EVM po metodu napravlennogo perebora variantov. *Trudy MIITa*, 229, 68. (in Russian)



## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

53. Prokhorchenko, A. V. (2014). Investigation of scale-invariant property of organization system of train traffic volume based on the percolation theory. *Science and Transport Progress*, 5(53), 56-64. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2014/30471> (in Russian)
54. Rikhter, I. I. (1883). *Ocherk mer, umenshayushchikh raskhody sodержaniya i ekspluatatsii zheleznykh dorog*. St. Petersburg. (in Russian)
55. Saenko, V. G., & Del, Rio B. (1953). Vybora optimalnogo varianta plana formirovaniya odnogruppykh poezdov. *Zheleznodorozhnyy transport*, 9, 78-85. (in Russian)
56. Sokovich, V. A. (1916). Vliyanie prostoye vagonov na sortirovochnykh stantsiyakh v zavisimosti ot chisla sortiruemyykh napravleniy. *Vestnik Yekaterininskoy zheleznoy dorogi*, 462/30, 1-5. (in Russian)
57. Sokovich, V. A. (1929). *Zheleznodorozhnye perezovozki: Osnovy organizatsii*. Moscow: Transpechat NKPS. (in Russian)
58. Sokovich, V. A., Poshivaylo, I. N., Grankvist, V. V., & Kolesnikov, N. P. (1941). *Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte: uchebnyy dlya vuzov zheleznodorozhnogo transporta*. (Vol. 1-2). Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
59. Stopichev, S. G. (1959). Nakhozhdenie optimalnogo varianta plana formirovaniya odnogruppykh tekhnicheskikh marshrutov. *Vestnik VNIIZhT*, 4, 19-23. (in Russian)
60. Strelko, O. G. (2015). The analysis of the professor O. M. Frolov's scientific heritage (1863-1939) in the field of railway operation. *Scholarly Works of the Faculty of History, Zaporizhzhya National University*, 4, 361-364. (in Russian)
61. Robel, R. I. (Ed.). (1956). *Tekhnicheskyy spravochnyk zheleznodorozhnika. Vol. 13: Ekspluatatsiya zheleznykh dorog*. Moscow: Transzheldorizdat. (in Russian)
62. Tikhonov, K. K. (1962). *Tekhniko-ekonomicheskie raschety v ekspluatatsii zheleznykh dorog*. Moscow: Vsesoyuzno izdatel'sko-poligraficheskoe obedinenie Ministerstva putey soobshcheniya. (in Russian)
63. Tulupov, L. P. (1953). Raschet plana formirovaniya poezdov s pomoshchyu vspomogatelnykh tablits. *Trudy MIITa*, 79, 150-165. (in Russian)
64. Ugryumov, A. K. (1953). Sovershenstvovanie metodov rascheta plana formirovaniya. *Zheleznodorozhnyy transport*, 6, 58-66. (in Russian)
65. Frolov, A. N. (1901). Obshchie mysli o prostoe vagonov na sortirovochnykh stantsiyakh. *Inzhener*, 5, 235-238 (in Russian)
66. Frolov, A. N. (1903). Novaya ideya khlebnoy mobilizatsii. *Vestnik Saratovskogo otdeleniya RTO*, 3, 41. (in Russian)
67. Frolov, A. N. (1903). Obshchie soobrazheniya o prostoe vagonov na sortirovochnykh stantsiyakh. *XX Soveshchatelnyy sezd inzhenerov sluzhby puti russkikh zheleznykh dorog 1902 g. Protokoly zasedaniy i trudy*, 157-165. (in Russian)
68. Frolov, A. N. (1903). *Obshchie soobrazheniya o prostoe vagonov v sortirovochnoy stantsii*. Saratov. (in Russian)
69. Frolov, A. N. (1906). *Sbornik statey, kasayushchikhsya stantsiy i manevrov*. Saratov. (in Russian)
70. Frolov, A. N. (1921). K voprosu o vzaimodeystvii sortirovochnykh stantsiy. *Tekhnika i ekonomika putey soobshcheniya*, 8, 19-24. (in Russian)
71. Cherenin, V. P. (1949). *Schetnaya mashina dlya sostavleniya plana formirovaniya poezdov : Izobreteniye № 405197-1U. 1.X. Avtorskoe svidetelstvo ot 24.01.1951*. (in Russian)
72. Cherenin, V. P. (1954). Mekhanizatsiya raschetov po sostavleniyu plana formirovaniya poezdov. *Tekhnika zheleznykh dorog*, 1, 22-24. (in Russian)
73. Cherenin, V. P. (1962). Algoritm i programma posledovatelynykh raschetov plana formirovaniya. Sostavlenie plana formirovaniya poezdov na elektronnykh mashinakh. *Trudy VNIIZhTa*, 247, 113-131. (in Russian)
74. Chernov, G. I. (1978). Optimalnoe raspredelenie porozhnykh tsistern na poligone dorogi. *Zheleznodorozhnyy transport*, 1, 10-14. (in Russian)

Поступила в редколлегию: 30.01.2020

Принята в печать: 02.06.2020