

УДК 004.89: 656.212.5

В. В. СКАЛОЗУБ^{1*}, Б. Б. БЕЛЫЙ^{2*}

^{1*} Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-35, эл. почта skalozub.vl.v@gmail.com, Scopus Author ID: 15731663600, ORCID– 0000-0002-1941-4751

^{2*} Каф. «Компьютерные информационные технологии», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373-15-35, эл. почта hibarika@gmail.ru, ORCID – 0000-0001-8324-4673

СТРУКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОГРУППНЫХ СОСТАВОВ

Цель. В статье разработана структура новой интеллектуальной информационной технологии формирования железнодорожных многогруппных составов на сортировочных станциях. Технология отличается применением методов интеллектуальных систем при решении комбинаторных задач оптимального расформирования-формирования составов. **Методика.** Исследования проведены на основе системного анализа и моделирования процессов расформирования при разных структурах, количестве и частичном совпадении групп вагонов в составах. **Результаты.** Создана базовая структура интеллектуальной информационной технологии формирования многогруппных составов. Разработаны кодировки шаблонов многогруппных составов, предназначенные для создания баз знаний информационной технологии, определены модели процессов переработки вагонопотоков. **Научная новизна.** Получили развитие модели и методы решения задач оптимального формирования многогруппных составов. Впервые предложена структура и модель интеллектуальной информационно технологии формирования многогруппных составов. **Практическая значимость.** Интеллектуальная информационная технология обеспечит повышение эффективности планирования процессов расформирования многогруппных составов, унифицирует расчеты подобных данных, усовершенствует системы автоматизации, позволит планировать работу сортировочных станций определенного железнодорожного направления.

Ключевые слова: сортировочные станции, многогруппные составы, расформирование-формирование, комбинаторные алгоритмы, интеллектуальные технологии, структура системы.

Введение

Станции являются одним из главных элементов транспортной инфраструктуры железных дорог и важным звеном в удовлетворении потребностей государства и населения в перевозках. Для обеспечения конкурентной способности железнодорожного транспорта необходимо уменьшить стоимость его услуг, в том числе путем реконструкции существующих станций и их технологий. Целью усовершенствования станций является приведение их конструкции и технологии в соответствие с объемами работы. Это реализуется за счет концентрации сортировочной работы и формирования многогруппных составов в условиях недостаточного количества станционных путей. Формирование составов, особенно многогруппных (МГС), является одним из наиболее трудоемких элементов процесса переработки вагонов на станциях и заметно влияет на сроки до-

ставки грузов. Поэтому для уменьшения продолжительности нахождения вагонов на станциях и снижения себестоимости перевозки грузов, необходимо совершенствование процесса формирования МГС. Проблеме определения рациональных технологий и технических средств формирования МГС посвящено значительное количество научных работ [1 - 4]. В них разработаны разные подходы к решению проблемы, применены различные критерии оптимальности, определяется потребность в создании специализированных информационных технологий по формированию МГС. Разработаны эффективные методы расчета и оптимизации расформирования-формирования (РФ) многогруппных составов, которые учитывают комбинаторный характер задачи.

Анализ методов формирования МГС, позволил определить и исследовать схемы их формирования. Среди существующих методов РФ

отмечаются следующие: комбинаторный, распределительный, основной, и двойной ступенчатые методы, а также метод равномерного наращивания [1, 2]. В работах [1-4] построена функциональная модель процесса формирования многогруппных составов (ФМГС) различными вычислительными методами с помощью различных технических средств, выполнена идентификация модели и проверена ее адекватность. Алгоритмы методов программно-реализованы.

Анализ показал ряд недостатков методов РФ: каждое задание рассматривается как новое; не учитываются ранее рассчитанные варианты; отсутствуют связи между отдельными группами задач; отсутствуют оценки степени влияния эвристик алгоритмов перебора.

В нашем исследовании представлены структура и модели инновационной интеллектуальной технологии по формированию МГС на сортировочных станциях, которая использует для формирования весь предыдущий опыт таких процессов. В ней главной является задача формирования специализированных моделей, методов и средств указанных процессов, имеющих отличие от существующих в переходе от одной текущей отдельной задачи формирования состава (ЗФС), как в существующих методиках и технологиях, к установлению связи этой ЗФС с ранее выполненными расчетами. Результаты таких расчетов далее сохраняются в базах данных и базах знаний автоматизированной системы формирования многогруппных составов (АСФМГС).

В рамках предлагаемой АСФМГС отдельное задание ЗФС реализуется на основе последовательности следующих процедур: - поиск в базе знаний наиболее «похожего» (в некоторой определенной метрике) на текущее задание варианта ЗФС, шаблона для ЗФС; - использование этого варианта в качестве основы для доформирования ЗФС на основе быстрых алгоритмов расчета планов; - передача результата расчетов для реализации полученной ЗФС; - пополнение баз знаний оптимальным шаблоном, рассчитанным на основе полного перебора для текущего задания формирования ЗФС.

Далее отметим, что в АСФМГС одной из главных задач моделирования является создание баз данных и баз знаний [5, 6, 8] шаблонов процессов формирования многогруппных составов (БЗнШ). В базах хранятся оптимальные для процессов РФ структуры составов, а также все необходимые для их воспроизведения характеристики. Для этого предварительно вы-

полняется кодирование структуры очередного состава, преобразование кодов станций назначения вагонов в соответствующие внутренние формы. Закодированные формы составов сравниваются с шаблонами БЗнШ, которые представляют оптимальные структуры расформирования-формирования составов, определенные на предыдущих этапах функционирования ИИТ ФМГС. Для образованной схемы переработки состава выполняются тяговые расчеты, пошаговое моделирование процесса расформирования-формирования, создается окончательный план для оператора сортировочной станции. В случае необходимости предусмотрена функция визуализации по выполнению процесса РФ состава.

Создание базы БЗнШ позволяет рассматривать задачу РФ как поиск шаблона с возможностью формирования, а не как задачу полного перебора. Для реализации поставленных задач АСФМГС должна включать следующие функциональные модули:

1. Модуль унификации и интерпретации входных данных
2. Модуль поиска рационального шаблона
3. Модуль расчета схемы формирования по найденному шаблону с учетом мощностей сортировочной станции.
4. Модуль алгоритмов перебора вариантов с использованием существующих методов РФ [2, 3].

Унификация и интерпретация данных

Процедуры сокращения количества групп вагонов при РФ были исследованы в работах [1 – 4]. Для создания БЗнШ нами построен более рациональный алгоритм уменьшения количества групп в составе. Процесс РФ состава представляет алгоритм перестановки вагонов по возрастанию в соответствии с их действительными номерами групп (ДНГ) [1]. Поскольку в ДНГ уже могут существовать группы вагонов, следующие друг за другом по возрастанию, то при определенных условиях есть возможность объединить их в одну группу, а далее при маневровых работах перемещать ее как одно целое. Полученная при этом нумерация групп называется условной [1, 2] или логической [3, 4] (ЛНГ). Для объединения в логическую группу необходимо соблюдать такие условия:

1. ДНГ вагонов должны идти по возрастанию.
2. Для вагонов, находящихся внутри логической группы, не должно существовать вагонов с теми же ДНГ вне логической группы.

Представим многогруппный состав в виде упорядоченного множества вагонов C (1). Как отмечалось в [2, 4], данный состав всегда имеет группы вагонов различных назначений Γ ; общее число таких ДНГ равно k

$$C = \{\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_{k-1}, \Gamma_k\} \quad (1)$$

В результате формирования многогруппного состава все вагоны g -й группы (при $g = 1, 2, \dots, k-1, k$) должны находиться вместе, причем порядок их внутри группы может иметь либо не иметь значение. Математически формирование состава из n вагонов можно рассматривать как перестановку S определенного множества номеров групп, с целью их упорядочения

$$S = \{g_1, g_2, \dots, g_{n-1}, g_n\} \quad (2)$$

Алгоритм получения набора θ групп ЛНГ заключается в последовательном просмотре слева направо перестановки S (2) [3]. Так как при каждом просмотре перестановки получается одна логическая группа вагонов, то число просмотров θ и будет числом ЛНГ состава.

При анализе алгоритма создания ЛНГ было установлено, что ЛНГ не всегда является оптимальной. Нами предложена интеллектуальная технология создания наборов (ЛНГ_i), которая путем сопоставления и обучения исключит не рациональные варианты ЛНГ составов типа:

ДНГ – 3 5 9 9 3 3 ЛНГ – 0 1 1 1 0 0.

Здесь ЛНГ не рационален, а оптимальный вариант ЛНГ имеет вид

ЛНГ_i – 1 1 1 1 0 0,

что уменьшит количество перестановок при маневровых работах. Здесь в СЛНГ учитывается, что первый и последний вагон в группе могут входить в другую группу, где они являются последним или первым, соответственно.

Известно, что количество вагонов в группе не влияет на число перестановок при маневровых работах. В соответствии с этим были введены сокращенные ЛНГ_i (СЛНГ). Эти модели составов упрощают поиск шаблонов в БЗнШ, а также позволяют применять шаблоны для составов с неодинаковыми ДНГ и разным количеством вагонов в ЛНГ.

Примеры правил создания СЛНГ

3 5 9 9 3 3	ДНГ	2 2 3 5 1
1 1 1 1 0 0	ЛНГ _i	1 1 1 1 0
1 0	СЛНГ	1 0

Примеры шаблонов формирования для ДНГ 3 5 9 9 3 3 представлены в табл. 1, где N – номер шага (этапа), W – номер выделенного пути для формирования состава, R – количество перемещаемых вагонов. Здесь положительное число указывает группы, помещенные на путь формирования, а отрицательные – перемещения их на выделенные пути.

Таблица 1

Шаблоны состава с ДНГ 3 5 9 9 3 3

а) формирование по ЛНГ 011100

Формирование состава по ЛНГ						
N	1	2	3	4	5	6
W	1	2	1	2	1	2
R	6	-1	-3	-2	3	-3

б) формирование по ЛНГ 111100

Формирование состава по ЛНГ _i					
N	1	2	3	4	5
W	1	1	2	1	2
R	6	-4	-2	4	-4

Модуль поиска рационального шаблона

Шаблон формирования состава – это структура обобщенного описания упорядоченных данных, кодирующих информацию о номерах групп вагонов, с помощью которого однозначно устанавливается список последовательности этапов по перемещению вагонов на выделенные для РФ пути.

Любая группа вагонов может быть описана отдельным шаблоном. Вместе с тем шаблон представляет целое множество конкретных групп вагонов с установленными свойствами упорядочения номеров. Поэтому возникают случаи структур составов, когда последовательности номеров групп соответствуют описанию шаблона. Тогда будем говорить, что «шаблон входит в состав». Например, на рис. 1 группа 3 (из вагонов с условными номерами 3 2 1, или же другая вида 3 3 2 2 2 1) входит в состав из групп 3 5 9 10 12. На рис. 1 группа 5 состоит из вагонов с условными номерами 4 4 5, а группа 12 – из вагонов с номерами 10 12. Вагоны в группе 3 не сформированы, но для задачи РФ выполнять анализ групп целого состава не нужно. Формирование группы 3 можно прове-

сти отдельно от состава, объединяя решения для частей. Такая процедура в задачах РФ состава эффективна только в тех случаях, когда условные номера вагонов в некоторой группе не больше, чем минимальные условные номера вагонов в следующей группе. Если группа находится внутри состава, то минимальный условный номер вагона не должен быть выше, чем номера предыдущей группы.

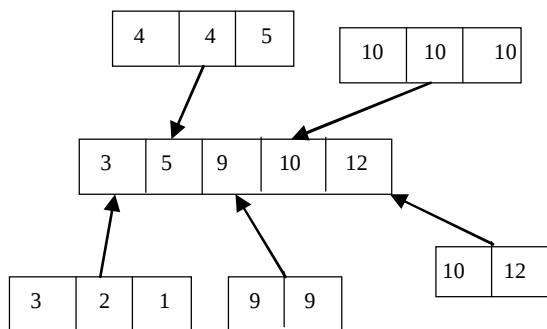


Рис. 1. Схема вхождения шаблона в состав

Указанная на рис. 1 «подстановочная» форма описания шаблонов для описания структур составов при решении задач РФ открывает возможность использовать аппарат формальных грамматик и регулярных выражений [7, 10] для задач представления, анализа и формирования рациональных схем переработки составов на станциях. Также при этом открываются возможности для расчетов и формального анализа степени «близости» между отдельными шаблонами [9]. Эти оценки далее могут быть использованы для поиска подобных шаблонов РФ составов на основе баз знаний БЗнШ [5, 8].

Если же номера вагонов в группах не упорядочены, то РФ состава с использованием шаблонов этих групп может не давать преимущества по сравнению с использованием шаблонов РФ всего состава. Все же есть случаи, когда можно использовать шаблоны РФ для групп. Например, при расформировании нескольких составов. При этом можно начать формирование групп вагонов одного состава, а затем провести доформирование группами другого. В целом эффективность РФ составов по шаблонам заключается в том, что формировать состав из отсортированных подгрупп в общем случае быстрее.

Шаблон облегчает понимание принципов формирования и расформирования составов, а также систематизирует алгоритмы этих процессов. Минимальная группа вагонов это 1 вагон, минимальный размер шаблона – 2 группы. Группа вагонов не имеет ограничений по числу

вагонов, а для шаблона не существенно количество вагонов в группе. Поиск шаблона выполняется путем сравнения СЛНГ входного состава с множеством СЛНГ, которые хранятся в БЗнШ, а также путем его приведения к рациональному виду. Причем рациональный вид шаблона - это преобразование СЛНГ в ЛНГ с учетом количества вагонов в ЛНГ. Возможны такие варианты приведения найденного шаблона к рациональному виду:

1. При нахождении полного совпадения шаблон будет приведен к рациональному виду.

2. При нахождении варианта, где СЛНГ шаблона больше, чем СЛНГ обрабатываемого состава, для приведения шаблона к рациональному виду выбираются шаги, которые необходимые для формирования текущего состава.

3. При отсутствии в БЗнШ варианта для полного совпадения шаблонов, или шаблона большего размера, путем сопоставления проводится интеллектуальный поиск такого шаблона, который может входить во входной состав. Для его приведения к рациональному виду создается схема доформирования. Далее для нее тоже выполняется поиск шаблона, и полученные шаблоны затем объединяются.

Модуль расчета схемы расформирования - формирования состава

Расчетом схемы формирования является процесс по приведению полученного рационального шаблона к удобному для оператора виду. Для этого необходимо реализовать такие процедуры:

- выполнить тяговые расчеты для станции, на которой происходит формирование состава, с учетом тяговых мощностей выделенных на сортировку;

- выполнить моделирование с учетом времени выполнения каждой операции полученной после тяговых расчетов;

- представить визуализацию модели РФ с возможностью корректировки для учета требований человека-оператора.

После утверждения план РФ сохраняется в базе данных станции и передается в список «готовых к выполнению». В создаваемой системе обеспечения интеллектуальной информационной технологии РФ составов предусматривается контроль, синхронизация и отображение в реальном времени этапов выполняемых работ. По завершении работ по РФ состава данные о нем остаются в базе данных с пометкой «выполнено». В случае необходимости

проводится анализ причин отличия реальных временных характеристик от расчетных

Основная структура ИИТ расформирования-формирования многогруппных железнодорожных составов

На рис. 2 представлена общая структура интеллектуальной информационной технологии (ИИТ) расформирования-формирования многогруппных составов (АСФМГС). Отдельные модули рис. 2 определяют комплексные задачи, модели или подсистемы, а также результаты функционирования, обеспечивающие реализацию основных функций ИИТ АСФМГС. На рис. 2 стрелками определяется последовательность выполнения задач по обработке входящего потока МГС. Основу ИИТ и соответствующей автоматизированной системы управления составляет адаптивная база знаний шаблонов (БЗнШ) расформирования-формирования составов. С помощью нее выполняются интеллектуальные функции поиска типичных рациональных решений относительно процессов переработки составов, СЛНГ. Для этого предварительно выполняется кодирование структуры очередного состава, преобразование кодов станций назначения вагонов в соответствующие внутренние формы. (ДНГ, ЛНГ, сокращена СЛНГ). Закодированные формы составов сравниваются с шаблонами БЗнШ, которые представляют оптимальные структуры расформирования-формирования составов, определенные на предыдущих этапах функционирования ИИТ.

В качестве рациональной модели расформирования-формирования текущего состава выбирается шаблон (рациональный шаблон, РШ), ближайший в соответствующей метрике. При этом также учитываются модели составов, находящихся в парке формирования сортировочной станции. Из-за возможности неполного совпадения рационального шаблона и структуры текущего состава выполняется окончательный расчет схемы РФ. Для образованной схемы переработки выполняются тяговые расчеты, пошаговое моделирование процесса расформирования-формирования, формируется окончательный план оператора сортировочной станции. В случае необходимости предусмотрена функция визуализации по выполнению процесса расформирования-формирования состава.

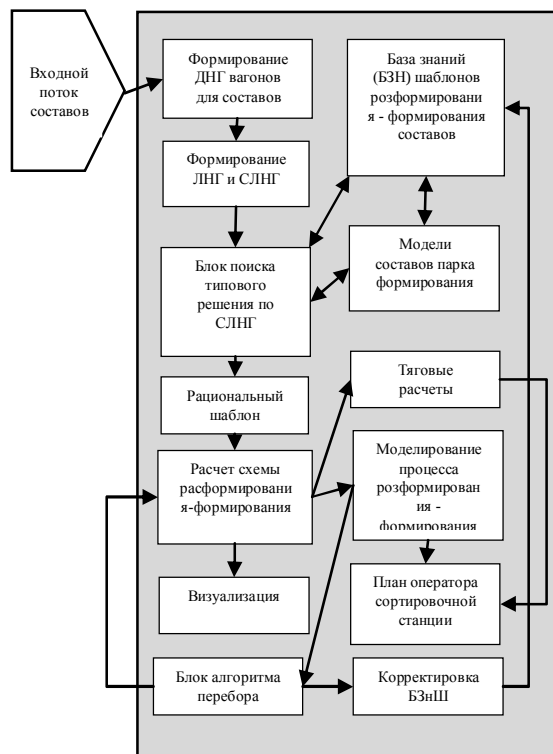


Рис. 2. Структура интеллектуальной информационной технологии расформирования-формирования многогруппных составов

В среде системы ИИТ АСФМГС предусмотрены модели и функции постоянного совершенствования БЗнШ. После определения окончательной модели по переработке входного состава на основе определения рационального шаблона РШ процесс обработки задачи не заканчивается. В блоке алгоритма перебора (включая полный перебор) продолжается процедура поиска оптимального плана и выработки соответствующего шаблона РФ состава. В случае выявления нового более совершенного варианта шаблона происходит корректировка соответствующих моделей процесса, тяговых расчетов, а также корректировки БЗнШ. В этом случае выполняется проверка возможности обобщения предыдущих данных и нового шаблона, который будет введен в БЗнШ. Таким образом, в базе знаний накапливаются оптимальные шаблоны и соответствующие модели процессов переработки многогруппных составов.

Выводы

В статье предложен инновационный подход к решению проблемы совершенствования технологий и средств формирования многогруппных составов на станциях. В исследовании предложены структура и модели интеллектуальной информационной технологии, которая

использует для формирования составов весь опыт реализации этих процессов. Возможность перехода от отдельной задачи формирования состава технически осуществляется за счет установления ее связи с ранее выполненными расчетами путем создания баз данных и баз знаний шаблонов структур составов и рациональных процедур РФ.

В статье выполнены формализация структуры шаблонов составов, формирование базы знаний БЗнШ, определены модели процессов переработки вагонопотоков. В дальнейшем их использование позволит автоматизировать такие процессы не только для отдельных сортировочных станций, но и для определенного железнодорожного направления. ИИТ АСФМГС унифицирует расчеты подобных данных, усовершенствует системы автоматизации, упростит процедуры отслеживания вагонов в составах. Благодаря процедурам визуализации и установления сходства отдельных операций РФ также возможно повышение эффективности планирования. Предварительный анализ возможностей ИИТ АСФМГС показал, что в некоторых случаях реализации предложенных рекомендаций возможно получение экономии эксплуатационных расходов на маневровую работу по формированию МГС, зависящую от формируемых составов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сковрон И. Я. Оптимизация выбора схемы формирования многогруппных составов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №. 1 (3). – С. 20-26.
2. Бобровский В. И., Сковрон И. Я. Совершенствование методики выбора рациональной техноло-

гии формирования многогруппного состава // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2012. – №. 131. – С. 162-171.

3. Сковрон И. Я. Вдосконалення методики оцінки тривалості формування багатогрупних составів // Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – №. 8. – С. 134-138.

4. Бобровский В. И. и др. Імітаційне моделювання процесу розформування багатогрупних составів на двосторонній гірці малої потужності // Транспортні системи та технології перевезень. – 2018. – №. 15. – С. 19-26.

5. Барсегян А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – БХВ-Петербург, 2004.

6. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. – М/: Горячая линия - Телеком, 2010.- 520 с/

7. Ільман В.М., В.В. Скалозуб, В.І. Шинкаренко. Формальні структури та їх застосування [Текст]: Монографія. – Дніпропетровськ, Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 2009. – 205 с.

8. Джарратано Дж., Райли г. Экспертные системы: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.

9. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Кн. 1. [Текст]: / А.А. Каргин. – Донецк, Норд-Прес, 2010. – 526 с.

10. Яловец А.П. Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования. – К.: Наукова Думка, 2011. – 359 с.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Шинкаренко В.І. (Україна)

Надійшла до редколегії 06.04.2019.

Прийнята до друку 24.05.2019.

В.В. СКАЛОЗУБ, Б.Б. БІЛИЙ

СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ БАГАТОГРУПНИХ СОСТАВІВ

Мета. У статті розроблена структура нової інтелектуальної інформаційної технології формування залізничних багатогрупних составів на сортувальних станціях. Технологія відрізняється застосуванням методів інтелектуальних систем при вирішенні комбінаторних задач оптимального розформування-формування составів. **Методика.** Дослідження проведені на основі системного аналізу і моделювання процесів розформування при різних структурах, кількості і частковому збігу груп вагонів у складах. **Результати.** Створено базову структуру інтелектуальної інформаційної технології формування багатогрупних составів. Розроблено кодування шаблонів багатогрупних составів, призначені для створення баз знань інформаційної технології, визначені моделі процесів переробки вагонопотоків. **Наукова новизна.** Отримали розвиток моделі і методи розв'язання задач оптимального формування багатогрупних составів. Вперше запропоновано структуру і моделі

інтелектуальної інформаційної технології формування багатогрупних составів. **Практична значимість.** Інтелектуальна інформаційна технологія забезпечить підвищення ефективності планування процесів розформування багатогрупних составів, уніфікує розрахунки подібних даних, удосконалисть системи автоматизації, дозволить планувати роботу сортувальних станцій певного залізничного напрямку.

Ключові слова: сортувальні станції; багатогрупні состави; розформування-формування; комбінаторні алгоритми; інтелектуальні технології; структура системи

V. V. SKALOZUB, B. B. BILYY

STRUCTURE OF INTELLECTUAL INFORMATION TECHNOLOGY FOR FORMATION OF MULTI-GROUP TRAIN

Purpose. The article developed the structure of a new intellectual information technology for the formation of multi-group railway trains at the sort stations. The technology is distinguished by the use of intelligent systems methods in solving combinatorial problems of optimal disbanding - forming. **Methods.** The studies were carried out on the basis of system analysis and modeling of the processes of disbanding the train with different structures, number and partial coincidence of groups of wagons in trains. **Results.** The basic structure of intellectual information technology of forming multi-group trains has been created. Coding templates for multi-group trains designed to form knowledge bases of information technology have been developed, models for the processing of wagon traffic have been defined. **Scientific novelty.** We have developed models and methods for solving problems of optimal formation of multi-group train. For the first time has been developed the structure and model of intellectual information technology for the formation of multi-group compositions. **Practical significance.** Intellectual information technology will provide an increase in the efficiency of planning the processes of disbanding multi-group trains, unify calculations of similar data, improve automation systems, and allow planning the operation of sorting stations of a particular railway direction.

Key words: sorting stations; multi-group train; disbanding-formation; combinatorial algorithms; intellectual technologies; system structure