

УДК 656.025.4

МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СЕТИ СНАБЖЕНИЯ ВОИНСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

А.Л. Кузнецов, Г.В. Гайдукевич, А.В. Федулов (Санкт-Петербург)

Общие положения

Для доставки от места отправки к месту назначения в логистических системах груз преобразуется в те или иные транспортные единицы, как правило, унифицированные по стадиям перевозки и, возможно, в большей степени, по характеристикам используемых на этих стадиях транспортных средств [1].

Наиболее мелкими (неделимыми) единицами являются коробки, ящики, пакеты и пр., в грузоведении формирующие категорию тарно-штучного груза [2, 3]. В морских перевозках этот груз относится к категории генерального груза, или брейк-балка. Составляющие его единицы, или предметы, могут укладываться в более вместительную унифицированную тару: например, в большие ящики – крейты, или помещаться на поддоны (паллеты). В свою очередь, паллеты для перевозки могут укладываться на плоские бесколесные платформы (флеты) или помещаться в стандартные контейнеры. Некоторые плоские платформы при перевозке помещаются в контейнеры, в другом случае – сами контейнеры помещаются на платформы (конструкции платформ при этом несколько отличаются). К последнему случаю относятся и железнодорожные платформы [4].

Формирование унифицированных грузовых единиц переводит груз в новую категорию, категорию нео-балка (от англ. *neo-bulk*, т.е. «новый балк»). Нео-балком в современном коммерческом грузоведении называется массовый однородный груз, имеющий собственную унифицированную форму. (Для сравнения: балк – это массовый однородный груз, не имеющий собственной формы, такой как нефть, руда, уголь, зерно, удобрения и пр.).

Условно некоторые варианты формирования унифицированных единиц генерального груза показаны на рисунке 1 [5].

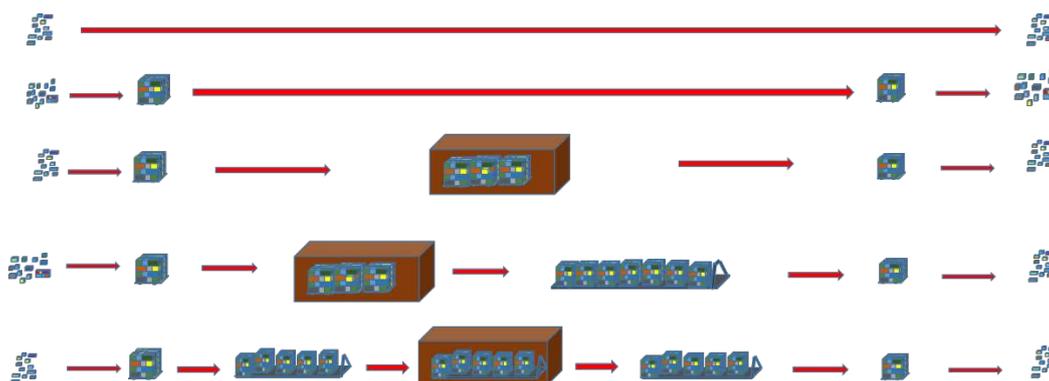


Рис. 1 – Примеры формирования транспортных единиц в процессе транспортировки

Каждое преобразование (укрупнение или разборка) транспортной единицы сопровождается технологическими операциями, которые производятся на некотором терминале. Эти действия выполняются не в движении, заставляя прерывать процесс перемещения. Терминал в этом случае выполняет роль «клеммы», связывающей «провода» отдельных участков маршрута, что и составляет точный перевод этого

термина с английского. Терминал при этом в указанном смысле может являться стационарным инфраструктурным объектом, временно организованной площадкой или даже просто топографическим местом передачи груза между транспортными средствами. Кроме того, если это требуется, на терминале обычно осуществляется смена вида транспорта.

Другая возможная функция терминала заключается в консолидации (объединении) и распределении грузовых партий, перевозимых смежными видами транспорта, на всем маршруте следования от множества отправителей к множеству получателей.

На рисунке 2 условно показаны подобные операции для части сети, относящейся к распределению, которое и является предметом рассмотрения в данной задаче.



Рис. 2 – Пример системы распределения в материально-техническом снабжении

Очевидно, что следует стремиться к тому, чтобы все операции, преобразование транспортных единиц, смена транспортных средств и консолидация-распределение грузовых единиц, выполнялись бы в одном месте, поскольку любая операция подобного рода представляет собой разрыв в желательном непрерывном процессе транспортировки.

Концептуальное описание модели распределения

Модель, которая разрабатывается для анализа оперативных характеристик транспортно-логистической сети выбранного типа, относится к классу дискретно-событийных. Единицей модельного времени t целесообразно выбрать сутки, при более детальном анализе без потери общности дискрет времени может быть понижен до часа.

Рассмотрим некоторый конечный элемент (левая часть на рисунке 2) иерархической системы распределения, присвоив ему ранг $r=1$. Суточное потребление конечным элементом некоторого материального *продукта* (точнее, его интенсивность) для простоты рассуждений примем равным единице, т.е. $p = 1$.

Выдачей будем считать передачу полученного продукта в следующий ранг $r - 1$. В данном случае, поскольку $r - 1 = 0$, такая передача есть исчезновение продукта из системы, т.е. *потребление*, которое должно осуществляться ежесуточно.

Получение продукта конечным элементом, т.е. передача от терминала ранга $r + 1$, может происходить также ежесуточно. В этом случае он потребляется немедленно (в эти же сутки t), не требуя накопления и хранения элементом рассматриваемого ранга. Если же продукт поступает с интервалом раз в T суток, а потребление по-прежнему происходит ежесуточно, то в первые сутки требуется *хранение* $(T - 1) \cdot p$ продукта, во вторые $(T - 2) \cdot p$ и т.д. Наконец, в сутки T будет потреблена последняя единица, и хранения больше не потребуется. Таким образом, максимальный объем хранения составляет величину $T \cdot p$, а средний объем складирования есть $\frac{T \cdot p}{2}$.

Рассмотрим элемент следующего ранга $r = 2$. Пусть он должен обеспечить потребление N элементов, расположенных в нижележащем слое иерархии $r = 1$.

Очевидно, что для этого в каждые сутки он должен передавать этим элементам в среднем N единиц продукта.

Если выдача каждому конечному элементу из N происходит ежедневно, то для этого требуется ровно N передач размером p в сутки. Если выдача каждому конечному элементу осуществляется раз в T суток, то объем каждой такой передачи составляет $T \cdot p$, а их общее число есть $\frac{N \cdot p \cdot T}{T \cdot p} = N$ за период T , т.е. $\frac{N}{T}$ в сутки.

Пример. Если конечных элементов $N = 4$, то им требуется четыре передачи в сутки по единице продукта. При этом хранение продукта в получившем его элементе не требуется.

Если передавать продукт раз в четверо суток ($T = 4$), то всего таких передач потребуется $N = 4$, т.е. $\frac{N}{T} = 1$ одна передача в сутки по четыре единицы продукта. Конечный элемент должен иметь возможность хранить продукт в размере $(T - 1) = 3$ суточных единицы.

Для каждой передачи между элементами смежных рангов используется свой тип транспортного средства соответствующей грузоподъемности и скорости движения.

С учетом времени погрузки, движения в прямом направлении, разгрузки и движения в обратном направлении, каждое единичное транспортное средство выполняет одну передачу за время $T_{\text{рейс}} = T_{\text{погр}} + T_{\text{движ}} + T_{\text{разгр}} + T_{\text{движ}}$, таким образом совершая за одни сутки $n_{\text{рейс}} = \frac{24}{T_{\text{рейс}}}$ рейсов. При необходимости выполнить N передач (совершить $N_{\text{рейсов}}$) всего потребуется использовать $N_{\text{ТС}} = \frac{N}{n_{\text{рейс}}}$ транспортных средств и выполнить $N_{\text{прр}} = 2 \cdot N_{\text{ТС}}$ погрузочно-разгрузочных операций с ними.

Пример. Если конечных элементов $N = 128$, то им требуется 128 передач в сутки по единице продукта. При этом хранение продукта в получившем его элементе не требуется.

Если передавать продукт раз в четверо суток ($T = 4$), то всего таких передач потребуется $N = 32$, т.е. $\frac{N}{T} = 8$ передача в сутки по четыре единицы продукта. Конечный элемент должен по-прежнему иметь возможность хранить продукт в размере $(T - 1) = 3$ суточных единицы.

Для выполнения передач требуется 8 рейсов транспортного средства. Пусть время погрузки и выгрузки составляет 1 час, расстояние в 150 км при средней скорости движения 30 км/час преодолевается за 4 часа, тогда общее время рейса составляет 12 часов. За сутки одно транспортное средство выполняет 2 рейса, и их общее число составляет 4 единицы.

Если передача выполняется ежедневно единичным размером продукта, то число рейсов в сутки составляет 128. При использовании транспортного средства (например, дрон) со скоростью 60 км/час и 15 минутами выполнения погрузки-разгрузки, оно совершит 4 шестичасовых рейса в сутки, что потребует использования парка из 36 единиц.

Рассмотрим теперь элемент некоторого произвольного ранга r с точки зрения проходящего через него материального потока. Пусть за некоторый период времени $T_{\text{снаб}}$ через него проходит объем V грузовых единиц.

Если поступление груза выполняется партиями объема D_{in} , то число таких партий составляет величину $n_{\text{in}} = \frac{V}{D_{\text{in}}}$.

Пусть выдача осуществляется в K элементов предыдущего ранга, т.е. в каждый из них выдается объем $V_{out} = \frac{V}{K}$. Если выдача в каждый из них выполняется партиями объема D_{out} , то число таких партий составляет величину $n_{out} = \frac{V_{out}}{D_{out}} = \frac{V}{K \cdot D_{out}}$ на каждом направлении.

Полученные соотношения позволяют сформировать первичную математическую (алгебраическую) модель сети распределения.

Формальная алгебраическая модель сети распределения

В описываемой модели единицей измерения грузоподъемности выбран двадцатифутовый контейнерный эквивалент, TEU (twenty foot equivalent unit). Масса груза одного груженого контейнера условно принята в 20 т. В контексте рассматриваемой задачи примем, что в верхний узел сети распределения груз поступает в виде секции железнодорожного состава объемом 15 вагонов (30 TEU или 600 т). Характеристики транспортных средств, которые могут быть задействованы для доставки в логистической схеме, задаются в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики транспортных средств

| поезд | 30 | TEU | 600 | Грузовая партия ЖД состава | V[км/ч] | Тпрр [ч] | Нпрр |
|---------|-------|-----|-----|----------------------------|---------|----------|------|
| конт АМ | 1 | TEU | 20 | Загрузка АМ-контейнеровоза | 30 | 0,5 | 3 |
| груз АМ | 0,25 | TEU | 5 | Загрузка среднего АМ | 30 | 1 | 10 |
| лег АМ | 0,1 | TEU | 2 | Загрузка легкого АМ | 30 | 0,5 | 5 |
| 4цикл | 0,01 | TEU | 0,2 | Загрузка квадроцикла | 20 | 0,1 | 2 |
| дрон | 0,005 | TEU | 0,1 | Загрузка дрона | 50 | 0,05 | 1 |
| PLS | 1 | TEU | 20 | Загрузка тягача PLS | 50 | 0,01 | 1 |

Структура модели условной логистической сети снабжения показана на рисунке 3.

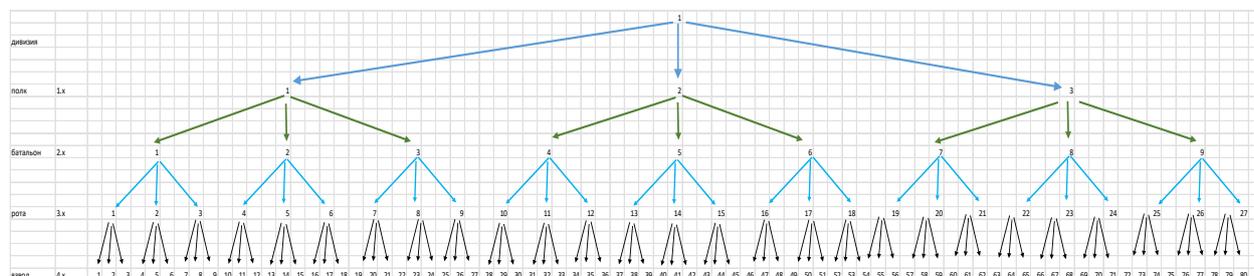


Рис. 3 – Структура модели логистической сети снабжения

По своей природе, модель представляет собой ориентированный взвешенный ациклический граф (дерево). Одним из канонических представлений подобного графа, наряду с матрицами инцидентий и смежности, является списковая структура, которая и выбрана в настоящем исследовании в качестве формата его представления.

В элемент данного списка, относящегося к описанию одного ребра, входят коды начальной и конечной вершины, грузопоток вдоль этого ребра в течение всей операции и в одни сутки, длина маршрута, тип используемого на нем транспортного средства. Исходя из заданного типа, в описание автоматически добавляется вместимость и скорость выбранного средства, время погрузочно-разгрузочных работ и требуемое количество персонала. Это позволяет определить время кругового рейса одного транспортного средства, и рассчитать число рейсов, совершаемых одним транспортным

средством в сутки. В свою очередь, на основании этого вычисляется требуемое количество транспортных средств данного типа, интервал их движения, общая длительность погрузочно-разгрузочных работ и требуемая численность участвующего в них персонала.

Традиционный формат представления аналитической модели не позволяет проводить исследования с привязкой к местности и особенностям различных подразделений. Для указанных целей разработана имитационная модель, в которой каждое ребро графа параметризуется конкретными значениями длин маршрута и скоростями движения по ним транспортных средств, которые меняются случайным образом по заданному стохастическому закону. Параметризация модели использует различные виды транспортных средств (рисунок 4).



Рис. 4 – Пиктограммы используемых в модели транспортных средств

Представление модели на экране визуализации сохраняется в виде древовидного графа, поскольку она отражает саму структуру логистической сети, однако элементы характеристик движения по соответствующим ребрам учитывают характеристик местности и возможные задержки вследствие внешних воздействий (рисунок 5).

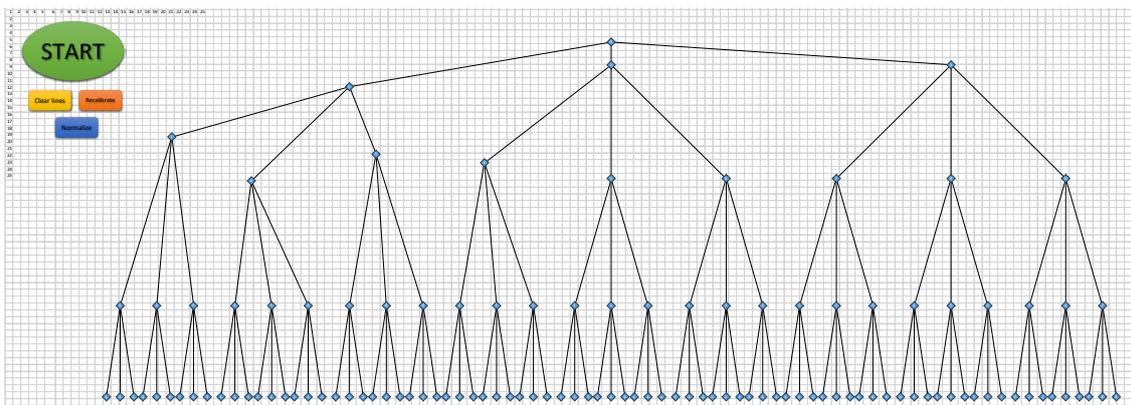


Рис. 5 – Табличное представление результатов моделирования

Пример результатов расчета, выполненного с помощью описанной выше модели, показан на рисунке 6.

| Сценарии | в ПЛК | в БТ | в РТ | в ВЗВ | всего ПРР | всего ПРР | численность |
|----------|---------|---------|---------|-------|-----------|-------------|-------------|
| | | | | | час | вел*час/сут | чел |
| 1 | лег АМ | лег АМ | лег АМ | 4цикл | 3000 | 11400 | 950 |
| 2 | конт АМ | груз АМ | лег АМ | 4цикл | 2340 | 10380 | 865 |
| 3 | конт АМ | конт АМ | конт АМ | 4цикл | 1380 | 2940 | 245 |
| 4 | конт АМ | конт АМ | PLS | дрон | 1321 | 2746 | 229 |

Рис. 6 – Табличное представление результатов моделирования

Таким образом, имитационное моделирование позволяет решать достаточно актуальную задачу рационализации многоэтапной доставки материальных средств непосредственно потребителям, обеспечивая, в том числе, минимальную экспозицию погрузочно-разгрузочных работ для внешних воздействий.

Литература

1. **Кузнецов А.Л.** Морские контейнерные перевозки. / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, О. В. Соляков, А. Д. Семёнов. – М.: Изд-во «Моркнига», 2019. – 412 с.
2. **Козырев В.К.** Грузоведение. – Одесса: Изд-во «Феникс», 2005. – 358 с.
3. **Деняк О.А.** Грузоведение: информационные аспекты. СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2007. – 140 с.
4. **Фетисов В.А.** Организация грузовых мест в логистике. / В. А. Фетисов, А. В. Кириченко, Д. О. Рычков. // Международный журнал экспериментального образования. 2010. № 12. С. 68-68. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=1160> (дата обращения: 04.10.2024).
5. **Изотов О.А.** Специальные судовые устройства. Часть 1. Судовые устройства грузопереработки. / О. А. Изотов, А. В. Кириченко, О. В. Соляков, А. Е. Слицан. – М.: Изд-во Моркнига, 2018. – 436 с.