

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСХОДОВ НА ТРАНСПОРТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТОВ

Русанова С. А.

Объектом исследования являются варианты транспортного обеспечения проектов. Предмет исследования – математическое описание зависимости расходов на транспортное обеспечение проекта от характеристик вариантов обеспечения. Практическое большинство проектов предусматривает транспортную составляющую, которая связана с необходимостью доставки сырья, материалов, оборудования, трудовых ресурсов к месту расположения продукта проекту (например, проекты строительства, инфраструктурные проекты). Данное исследование направлено на идентификацию вариантов транспортного обеспечения проектов, формирование математических зависимостей затрат на транспортное обеспечение в зависимости от характеристик транспортных средств и условий их использования в проектах. Характеристики транспортных средств и условия их работы в проектах формируют сущность конкретного варианта транспортного обеспечения проекта. Каждый альтернативный вариант транспортного обеспечения влияет на проект, прежде всего, на уровне затрат. Поэтому выбор оптимального варианта транспортного обеспечения проекта должен осуществляться с учетом влияния вариантов на расходы по проекту. В данном исследовании основой для моделирования затрат на транспортное обеспечение проекта является сетевой график проекта и анализ его работ с точки зрения необходимости в транспортном обеспечении. Последовательно получены математические выражения для объемов транспортной работы и необходимого количества транспортных средств различного вида. Зависимости расходов для трех вариантов использования транспортных средств (аренды, услуги, приобретение) с учетом характеристик транспортных средств получены для трех уровней рассмотрения проекта: определенных работ, определенного промежутка времени, проекта в целом. Полученная формализация расходов на транспортное обеспечение позволяет варьировать характеристиками транспортных средств и условиями их использования в проекте на этапе принятия решений по выбору варианта транспортного обеспечения проекта или их комбинации. Полученные результаты являются базой для дальнейшей разработки модели по оптимизации параметров и выбора варианта транспортного обеспечения проектов.

**Ключевые слова:** условия использования транспортных средств, сетевой график проекта, зависимости затрат, характеристики транспортных средств.

### 1. Введение

Большинство проектов связаны с созданием новых объектов (например, проекты строительства, инфраструктурные проекты) или развития существующих

объектов (например, проекты реконструкции), что является сутью продуктов проектов. Процесс создания или трансформации материальных объектов требует соответствующих материалов, сырья, комплектующих, оборудования и т. п., что приводит к формированию и функционированию логистической системы проекта. Логистика проекта имеет место в тех проектах, где создается или развивается материальный объект, и процессы создания и развития данного объекта предусматривают определенную систему снабжения, распределения и производства, связанных с материальным потоком (потоками). Существование логистической системы обуславливает необходимость соответствующего транспортного обеспечения. Таким образом, транспортное обеспечение проекта – это, по сути, транспортное обеспечение логистической системы проекта. Отметим, что в некоторых проектах возникает необходимость в транспортном обеспечении без привязки к материальному потоку. Например, в проектах разработки месторождений необходима доставка рабочих к месторождению и обратно с определенной интенсивностью. Более того, на практике подобная транспортировка трудовых ресурсов согласовывается с доставкой продуктов, отдельных видов оборудования и т. п. Например, в проектах разработки месторождений в морских шельфах доставка работников буксирами осуществляется вместе с доставкой продуктов. Поэтому организация обеспечения проекта трудовыми ресурсами в подобных проектах должна осуществляться неразрывно с функционированием логистической системы, если полагать, что трудовые ресурсы формируют специфический материальный поток, и их транспортировка является частью транспортного обеспечения логистики проекта. Поэтому актуальным является исследование проблемы транспортного обеспечения проектов и формирования теоретической базы обоснования состава транспортных средств для проектов и условий их использования в проекте.

## **2. Объект исследования и его технологический аудит**

*Объектом исследования* являются варианты транспортного обеспечения проектов. Характеристики транспортных средств и условия их работы в проекте формируют сущность конкретного варианта транспортного обеспечения проекта. Каждый альтернативный вариант транспортного обеспечения влияет на проект, прежде всего, на уровне расходов. Кроме того, каждый вариант транспортного обеспечения связан с определенными рисками, которые также проявляются в виде рисков всего проекта. Поэтому выбор оптимального варианта транспортного обеспечения проекта должен осуществляться с учетом влияния вариантов на расходы по проекту. Основной подход данного исследования – рассмотрение и изучение транспортных затрат по проекту в контексте проекта, а не отдельных процессов транспортировки. При этом транспортное обеспечение может быть рассмотрено на трех уровнях: на уровне отдельной работы в рамках сетевого графика проекта, на уровне конкретного промежутка времени в рамках жизненного цикла проекта и на уровне проекта в целом.

Одним из проблемных мест при формировании транспортного обеспечения проектов является установление его влияния на проект в целом,

причем как на уровне расходов, так и на уровне рисков. Поэтому при изучении транспортного обеспечения проектов основное внимание должно уделяться закономерностям формирования транспортных затрат для проекта в целом.

### **3. Цель и задачи исследования**

*Целью данного исследования* является моделирование расходов на альтернативные варианты транспортного обеспечения проектов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить такие задачи:

1. Идентифицировать и охарактеризовать основные варианты транспортного обеспечения проектов.

2. Математически описать формирование объема транспортной работы по проекту на уровне конкретной работы, временного промежутка и проекта в целом.

3. Установить закономерности формирования расходов по альтернативным вариантам транспортного обеспечения проекта.

### **4. Исследования существующих решений проблемы**

Выбор оптимального варианта транспортного обеспечения и оптимизация параметров транспортного обеспечения являются классическими задачами для логистики и транспорта. В основе большинства используемых подходов – теория запасов [1, 2], которая интегрировано рассматривает доставку и хранение в рамках единой системы, что характерно для логистики. Часть работ посвящены минимизации транспортных затрат в условиях выбора транспортных средств [3, 4]. Некоторые исследования рассматривают оптимизацию транспортных затрат благодаря варьированию технологии доставки [5, 6].

Проект, в отличие от систем доставки грузов или логистической системы, является совершенно специфическим объектом, и, соответственно, транспортное обеспечение проектов имеет определенную специфику. Тем не менее, следует констатировать, что в современных исследованиях данная проблема практически не исследована. Все публикации по данному направлению могут быть разделены на две категории. Первая – это работы, связанные непосредственно с транспортными (например, [7]) и логистическими (например, [8]) проектами. Как правило, в основе данных работ рассмотрение управления стоимостью данных проектов [9] или их организационные проблемы [10]. Базовые положения методологии управления транспортными проектами представлено в [11]. Управление жизненным циклом транспортных проектов с учетом их специфики рассмотрено в [12]. Вторая категория исследований (например, [13, 14]) – это снабжение проектов разработки месторождений. В центре внимания подобных работ или расписание обслуживания [14], или оптимизация процессов обслуживания с точки зрения маршрутов [15]. Также, в некоторых исследованиях транспортировка рассматривается как проект, то есть используется проектно-ориентированный подход к доставке грузов [16]. В частности, в данной работе параметры транспортировки исследуются как результат реализации проектов или часть их продукта. Как правило, в данных работах рассматривается организация транспортировки материалов, продуктов и оборудования на этапе

функционирования платформ. По сути, рассматривается транспортное обеспечение логистики для уже существующих продуктов проектов, что определяет постановку задачи транспортного обеспечения по аналогии с традиционными транспортными задачами для логистических систем.

Тем не менее, транспортное обеспечение используется и для получения продукта проекта, влияет на его стоимость и сроки. В [4, 5] предлагался подход к транспортному обеспечению, предусматривающий не только параметры транспортных средств (морских судов в данном случае), а и условия их использования (приобретение, аренда, фрахтование на рейс). Подобный подход может быть перенесен и на проекты различного рода, причем с учетом универсализации (то есть для различных видов транспорта, используемых в проекте).

## **5. Методы исследования**

*Предмет исследования* – математическое описание зависимости расходов на транспортное обеспечение проекта от характеристик варианта обеспечения.

*Методы исследования.* Исследование выполнено в соответствии с принципами и методологией общей теории систем. Методы анализа и синтеза были использованы при идентификации вариантов транспортного обеспечения проектов. Функциональный анализ использовался при формализации затрат на транспортное обеспечение проектов по вариантам.

## **6. Результаты исследований**

### **6.1. Альтернативные варианты транспортного обеспечения проекта**

С точки зрения управления проектами варианты транспортного обеспечения заключаются, прежде всего, в принадлежности проекту, то есть условиями использования их в проекте. Таких основных вариантов три. Транспортное обслуживание по проекту может осуществляться *сторонними организациями*, то есть транспортные услуги поставляются из «вне проекта» в соответствии с необходимыми параметрами (что соответствует области знаний «управление закупками»). Вторым вариантом является привлечение транспортных средств на *условиях аренды* на необходимый срок. Примерами может служить аренда буксиров и судов универсального назначения для обслуживания проектов разработки месторождений в шельфах морей: суда поставляют оборудование и отдельные элементы конструкций добывающих платформ. Буксиры осуществляют доставку продуктов и людей. Как правило, суда для таких проектов работают на условиях тайм-чартерной аренды – аренды на время, при которой в расходы по проекту включаются все переменные затраты по судам. *Третий вариант транспортного обслуживания проекта* – использование собственных транспортных средств компании, осуществляющей проект, в том числе, приобретение транспортных средств для проекта. Отметим, что в отличие от проектов приобретения судов (других транспортных средств) покупка судов (транспортных средств) «для проекта» может выступать в качестве подпроекта в масштабных проектах. При этом основная цель приобретения – не получение прибыли от работы судов, а транспортное обеспечение проекта, а также снижение транспортных затрат по

проекту и повышение контроля над транспортными процессами. Таким образом, варианты транспортного обеспечения проекта представлены на рис. 1. Здесь же представлены основные достоинства и недостатки данных вариантов.



**Рис. 1.** Варианты транспортного обеспечения по условию использования транспортных средств в проекте

Отметим, что в качестве достоинств вариантов аренды и приобретения транспортных средств выступает то, что они могут использоваться для других проектов в процессе реализации рассматриваемого проекта, а приобретенные транспортные средства и в дальнейшем для других проектов. В частности, это актуально для проектно-ориентированных компаний, если сущность большинства проектов связана с необходимостью транспортного обеспечения.

Как правило, в проектах возникает необходимость использования различных *видов транспортных средств* (например, автомобильный транспорт, водный транспорт), индекс вида транспортного средства  $k = \overline{1, K}$ . Более того, потребность может возникать в различных *типах транспортных*

*средств* каждого вида (например, автомобили с кузовом, автомобили-контейнеровозы и т. д., буксиры морские различной мощности и грузовые суда различной грузоподъемности). Варианты типов обозначим:

$$g = \overline{1, G_k},$$

где  $G_k, k = \overline{1, K}$  – количество типов транспортных средств каждого вида. Каждый тип транспортного средства может иметь вариацию характеристик (таких как, например, мощность двигателя, грузоподъемность в определенных пределах и т. п.). Кроме того, транспортное средство характеризуется производителем (маркой), возрастом. Обозначим совокупность характеристик транспортного средства как:

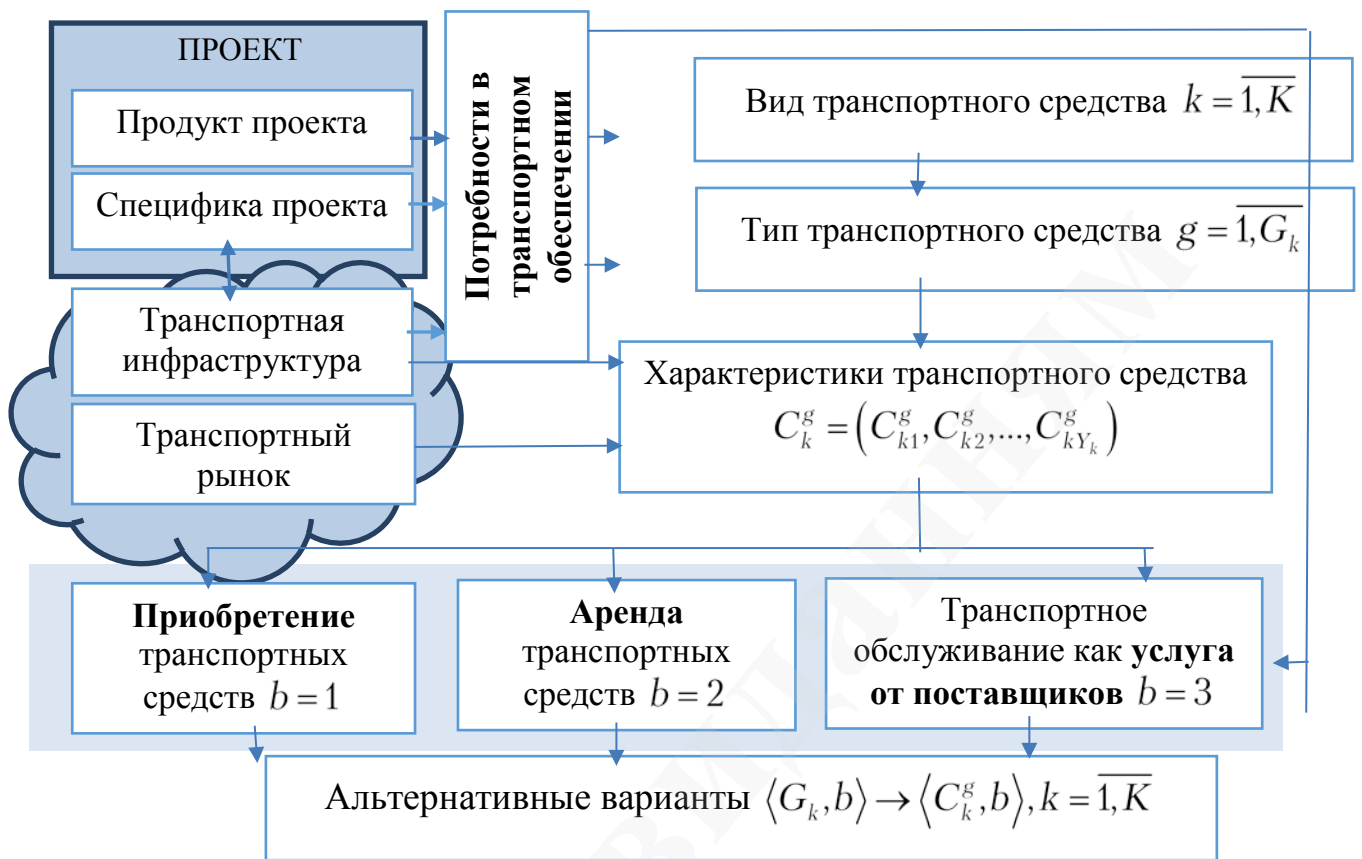
$$C_k^g = (C_{k1}^g, C_{k2}^g, \dots, C_{kY_k}^g),$$

где  $Y_k$  – количество рассматриваемых характеристик транспортного средства конкретного вида.

Варианты использования транспортных средств обозначим как:

$$b = 1, 2, 3,$$

где  $b = 1$  – приобретение транспортного средства;  $b = 2$  – аренда транспортного средства;  $b = 3$  – транспортное обслуживание как услуга от поставщиков (рис. 2). Таким образом, *альтернативный вариант транспортного обеспечения проекта* – это само транспортное средство – конкретного вида, типа с конкретными характеристиками и конкретные условия его использования в проекте. Все указанное выше (вид, тип, характеристики транспортного средства и условия его использования в проекте) влияет на *стоимость использования конкретного варианта транспортного обеспечения и характеристики проекта в целом*. Отметим, что транспортная инфраструктура и рынок транспортных услуг задают определенные ограничения на формирование альтернативных вариантов.



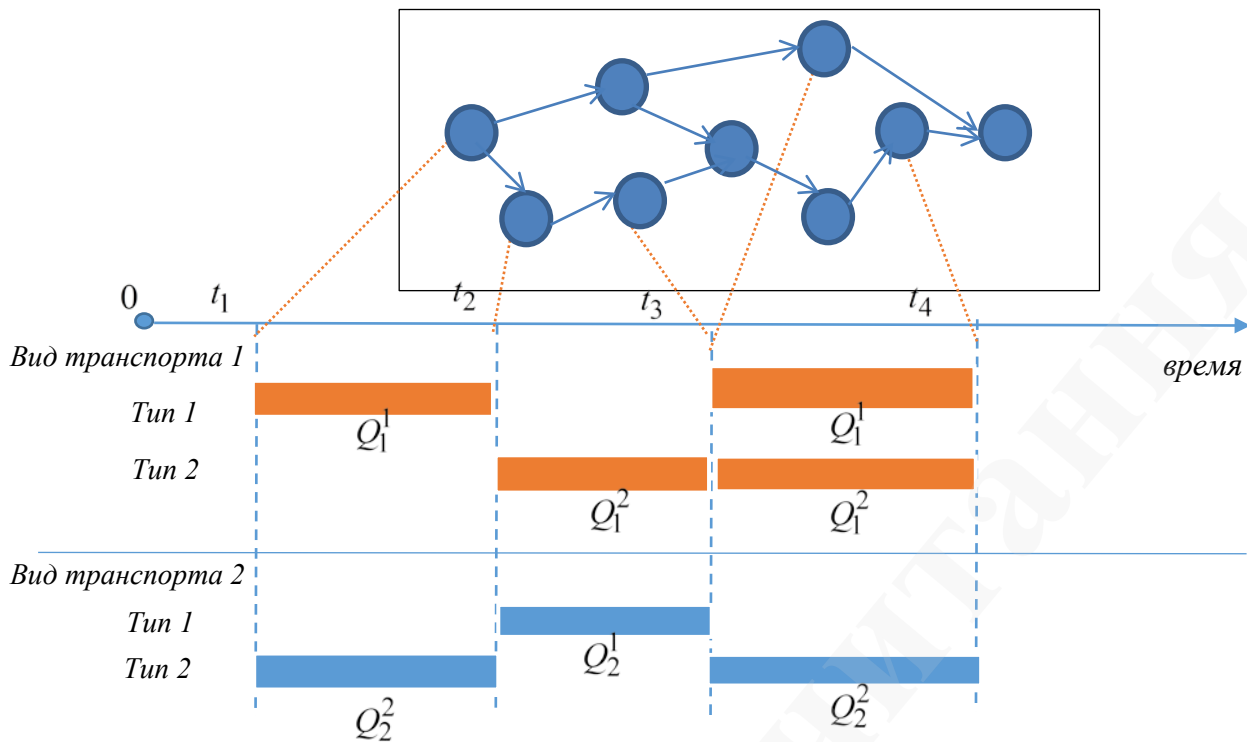
**Рис. 2.** Альтернативные варианты транспортного обеспечения проектов

Представленная схема формирования альтернативных вариантов транспортного обеспечения является основой для принятия решения о выборе конкретных вариантов для конкретного проекта с учетом его специфики.

## 6.2. Определение объема транспортной работы в проекте (транспортного обслуживания в проекте)

В рамках данного этапа определяются проектные работы и периоды времени, требующие транспортное обслуживание с дифференциацией по видам транспорта. При этом необходимо установить взаимозаменяемость различных видов и типов транспортных средств. Например, автобусы различной пассажироместимости могут обслуживать доставку рабочих к месту выполнения проектных работ, или буксиры различной мощности могут быть задействованы в проектах, связанных с водной инфраструктурой или разработкой месторождений.

Основой для определения объемов транспортного обслуживания в проекте является сетевой график. Соотнесение работ, требующих транспортное обеспечение, с временной осью позволяет выделить объемы и периоды времени для транспортного обеспечения по видам и типам транспортных средств (рис. 3).



**Рис. 3.** Определение объемов транспортной работы в проекте

Таким образом, формируются данные:

$$\langle Q_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau} \rangle, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi}, \quad (1)$$

где  $Q_k^g$  – объем транспортного обслуживания или объем транспортной работы (в единицах, принятых для конкретного вида транспорта, например, объем работы в тонно-милях для морского, или тонно-километрах для автомобильного, или спрос на транспортное обслуживание – в тоннах, пассажирах);  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$  – промежуток времени, в рамках которого должно быть осуществлено транспортное обслуживание в объеме  $Q_k^g$ ;  $\psi$  – количество выделенных в рамках жизненного цикла промежутков времени, связанных с транспортным обслуживанием.  $Q_k^g$ , в общем случае, является интегральной величиной и формируется из объемов транспортных работ по работам проекта, находящимся в одном диапазоне времени и требующих одинаковый вид транспортного обслуживания:

$$Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = \sum_{A_{ij} \in [t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]} Q_{kij}^g, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi}, \quad (2)$$

где  $j = \overline{1, n}$  – это индекс событий сетевого графика проекта;  $n$  – общее число событий по проекту. Соответственно,  $A_{ij}$  – работы сетевого графика;  $Q_{kij}^g$  –



объем транспортного обслуживания проектной работы  $A_{ij}$  видом транспорта  $k$ , типом транспортного средства  $g$ .

Общий объем транспортного обслуживания по проекту для каждого вида и типа транспортных средств:

$$Q_k^{*g} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n Q_{kij}^g = \sum_{\tau=1}^{\psi} Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}),$$

$$k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}. \quad (3)$$

Такой подход справедлив только в том случае, если географически объекты проекта и объекты для перевозок (транспортировки) находятся в одном месте. Если же проект связан с несколькими объектами достаточно удаленными друг от друга, то в рамках единого отрезка времени одни и те же транспортные средства не могут их обслуживать.

Таким образом:

$Q_{kij}^g$  характеризует объем транспортного обслуживания по конкретной работе проекта для каждого вида и типа транспортного средства, используемого в проекте;

$Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})$  – объем транспортного обслуживания по проекту за конкретный период времени  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$ , где:

$$\bigcup_{\tau=1}^{\psi} [t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}] \subset T, \quad (4)$$

то есть выделенные промежутки времени с транспортным обслуживанием «перекрываются» продолжительностью жизненного цикла проекта  $T$ ;

$Q_k^{*g}$  – общий объем транспортного обслуживания по проекту с конкретным видом и типом транспорта.

### 6.3. Идентификация количества транспортных средств по работам, временным промежуткам проекта в целом

На данном этапе определяется количество требуемых транспортных средств каждого вида и типа с учетом специфики условий каждой работы проекта. Как ранее упоминалось, для каждого вида транспортировки могут использоваться транспортные средства с различными характеристиками  $C_k^g = (C_{k1}^g, C_{k2}^g, \dots, C_{kY_k}^g)$ , которые допускают определенное варьирование в проекте. Таким образом, для каждого выделенного промежутка времени  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$  и каждого вида/типа транспортного средства заданы определенные границы варьирования его характеристик:

$$C_{ky}^{g\min}(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) \leq C_{ky}^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) \leq C_{ky}^{g\max}(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}),$$

$$k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G}, y = \overline{1, Y}, \tau = \overline{1, \Psi},$$
(5)

где  $C_{ky}^{g\min}, C_{ky}^{g\max}$  – допустимые пределы варьирования. Либо аналогичные требования устанавливаются для каждой конкретной работы с транспортным обслуживанием:

$$C_{kyij}^{g\min} \leq C_{kyij}^g \leq C_{kyij}^{g\max}, k = \overline{1, K},$$

$$g = \overline{1, G}, y = \overline{1, Y}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n}.$$
(6)

Отметим, что, как ранее было определено, транспортное обслуживание может рассматриваться по работам проекта  $A_{ij}$  или по временным промежуткам  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$  в рамках жизненного цикла проекта. Подход к рассмотрению обуславливается спецификой проекта – так, если проектные работы одного промежутка времени обладают специфическими требованиями по транспортному обслуживанию, и они значительно отличаются друг от друга, то в этой ситуации наиболее целесообразным будет рассмотрение по работам. Если же транспортное обслуживание по работам одного промежутка времени не отличается значительно по требованиям с точки зрения характеристик конкретного вида и типа транспортного средства, то целесообразным будет интегральное рассмотрение транспортного обслуживания по периодам времени.

Характеристики транспортного средства определяют его «производительность»  $P_{kij}^g$  (провозную способность) в конкретных условиях рассматриваемого транспортного обслуживания (расстояния перевозок, в частности):

$$P_{kij}^g = P_{kij}^g(C_k^g, A_{kij}^g) = P_{kij}^g\left(C_{k1}^g, C_{k2}^g, \dots, C_{kY_k}^g, A_{kij1}^g, A_{kij2}^g, \dots, A_{kijW_k^g}^g\right),$$

$$k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G}, y = \overline{1, Y}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n},$$
(7)

где  $A_{kij}^g = \left(A_{kij1}^g, A_{kij2}^g, \dots, A_{kijW_k^g}^g\right)$  – характеристики проектных работ  $A_{ij}$  с точки зрения транспортного обслуживания видом транспорта  $k$ , типом транспортного средства  $g$ ;  $W_k^g$  – количество выделенных характеристик проектных работ с точки зрения транспортного обслуживания (прежде всего, расстояние перевозки, порожние/балластные поездки/переходы, интенсивность погрузки/выгрузки, необходимость дополнительных остановок и т. п.). При фиксированных условиях  $A_{kij}^g$ , провозная способность транспортного средства определяется его характеристиками, то есть  $P_{kij}^g(C_k^g)$ .

Операционные характеристики транспортных средств (провозная

способность)  $P_{kij}^g(C_k^g)$  обуславливают количество транспортных средств каждого вида и типа  $N_{kij}^g$ , необходимое для выполнения транспортного обслуживания по работам проекта:

$$N_{kij}^g(C_k^g) = \frac{Q_{kij}^g}{P_{kij}^g(C_k^g)}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (8)$$

$$g = \overline{1, G_k}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{2, n}.$$

Отметим, что количество требуемых транспортных средств зависит от их характеристик. На уровне конкретной работы  $N_{kij}^g$  не округляется. Для того, чтобы избежать избыточности при определении итогового количества транспортных средств в результате округления, имеет смысл выполнять эту процедуру в рамках интеграции транспортного обслуживания по временным периодам и проекту в целом.

Если условия транспортного обслуживания по работам одного временного промежутка  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$  практически одинаковые, то есть  $P_{kij}^g = P_k^g, A_{ij} \in [t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$ :

$$N_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = \left\lceil \frac{Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})}{P_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})} \right\rceil, \quad (9)$$

$$k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k}, \quad \tau = \overline{1, \psi}.$$

В данном случае провозная способность, естественно зависит от  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$ . (9) дает округленные значения по временным этапам, что целесообразно для длительных проектов и, соответственно, продолжительным промежуткам времени  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$ . С учетом того, что характеристики транспортного средства  $C_k^g$  определяют его провозную способность  $P_k^g$ , то (9) может быть представлено как:

$$N_k^{g''}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = \left\lceil \frac{Q_k^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})}{P_k^g(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})} \right\rceil, \quad (10)$$

$$k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k}, \quad \tau = \overline{1, \psi}.$$

Общее количество транспортных средств каждого вида и типа по проекту в целом:

$$N_{k}^{*g}(C_k^g) = \left[ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=2}^n N_{kij}^g(C_k^g) \right], \quad (11)$$

$$k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k},$$

$$N_{k}^{*g}(C_k^g) = \left[ \sum_{\tau=1}^{\psi} N_k^g(C_k^g, t_{\alpha_{\tau}}, t_{\beta_{\tau}}) \right], \quad (12)$$

$$k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k}.$$

Таким образом, (11) отражает общее количество транспортных средств по проекту с учетом информации по каждой работе проекта  $A_{ij}$ , (12) – с учетом информации о временных промежутках жизненного цикла проекта  $[t_{\alpha_{\tau}}, t_{\beta_{\tau}}]$ .

#### 6.4. Определение стоимостных характеристик транспортного обслуживания проектных работ

На данном этапе определяются стоимостные характеристики транспортного обслуживания по альтернативным вариантам транспортного обеспечения.

Как ранее было определено, альтернативность состоит, прежде всего, в характеристиках транспортных средств и вариантах их использования в проекте, то есть характеристики транспортного средства влияют на стоимость использования, стоимость приобретения и стоимость аренды.

Если транспортное обеспечение проекта предполагает использование транспортной услуги от поставщиков, то есть  $b = 3$ , то расходы  $R_{kb}^g$  зависят от объема транспортного обслуживания и характеристик транспортных средств. Для каждой работы расходы составляют:

$$R_{kbij}^g = R_{kbij}^g(C_k^g, Q_{kij}^g), \quad b = 3, \quad k = \overline{1, K}, \quad (13)$$

$$g = \overline{1, G_k}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad j = \overline{2, n};$$

– для множества работ в рамках временного отрезка  $[t_{\alpha_{\tau}}, t_{\beta_{\tau}}]$ :

$$R_{kb}^g(t_{\alpha_{\tau}}, t_{\beta_{\tau}}) = R_{kb}^g(C_k^g, Q_k^g, t_{\alpha_{\tau}}, t_{\beta_{\tau}}), \quad (14)$$

$$b = 3, \quad k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k}, \quad \tau = \overline{1, \psi};$$

– для всего проекта:

$$R_{kb}^{*g} = R_{kb}^{*g}(C_k^g, Q_k^{*g}), \quad (15)$$

$$b = 3, \quad k = \overline{1, K}, \quad g = \overline{1, G_k}.$$

Если транспортное обеспечение предполагает аренду транспортных средств,

то есть  $b = 2$ , то, помимо характеристик транспортных средств, расходы зависят от количества арендуемых транспортных средств и срока их аренды. При этом, сроком аренды  $T_k^g$  может быть продолжительность  $t_{ij}$  работы проекта  $A_{ij}$ , период времени  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$  или весь период активной фазы жизненного цикла проекта (то есть период времени, когда функционирует система логистики проекта или выполняются работы, связанные с транспортировкой). Расходы в этой ситуации для конкретной работы составляют:

$$\begin{aligned} R_{kbij}^g &= R_{kbij}^g(C_k^g, Q_{kij}^g, t_{ij}), T_k^g = t_{ij}, \\ b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n}; \end{aligned} \quad (16)$$

для множества работ в рамках временного отрезка  $[t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}]$ :

$$\begin{aligned} R_{kb}^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) &= R_{kb}^g(C_k^g, Q_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}), T_k^g = t_{\beta_\tau} - t_{\alpha_\tau}, \\ b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi}; \end{aligned} \quad (17)$$

для всего проекта:

$$\begin{aligned} R_{kb}^{*g} &= R_{kb}^{*g}(C_k^g, Q_k^{*g}, T_k^g), \\ b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}. \end{aligned} \quad (18)$$

При аренде транспортного средства, расходы включают в себя расходы операционные (эксплуатационные)  $R_{kb}^{og}$  и собственно оплату аренды  $R_{kb}^{rg}$ . И то, и другое зависит от характеристик транспортного средства, а операционные расходы зависят также и от объема транспортного обслуживания. Детализация с учетом этого (16)–(18) позволяет получить следующее:

$$\begin{aligned} R_{kbij}^g &= R_{kbij}^g(C_k^g, Q_{kij}^g, t_{ij}) = R_{kbij}^{og}(C_k^g, Q_{kij}^g) + R_{kbij}^{rg}(C_k^g, t_{ij}), \\ T_k^g &= t_{ij}, b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$R_{kb}^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = R_{kb}^g(C_k^g, Q_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = R_{kb}^{og}(C_k^g, Q_k^g) + R_{kb}^{rg}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}), \quad (20)$$

$$\begin{aligned} T_k^g &= t_{\beta_\tau} - t_{\alpha_\tau}, b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi}; \\ R_{kb}^{*g} &= R_{kb}^{*g}(C_k^g, Q_k^{*g}, T_k^g) = R_{kb}^{*og}(C_k^g, Q_k^{*g}) + R_{kb}^{*rg}(C_k^g, T_k^g), \\ b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}. \end{aligned} \quad (21)$$

Отметим, что расходы на аренду транспортных средств определяются следующим образом:

– для работы:

$$R_{kbij}^{rg}(C_k^g, t_{ij}) = f_k^{rg}(C_k^g, t_{ij}) \cdot N_{kij}^g(C_k^g) \cdot t_{ij},$$

$$b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n};$$
(22)

– для временного периода:

$$R_{kb}^{rg}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = f_k^{rg}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) \cdot N_k^g(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) \cdot (t_{\beta_\tau} - t_{\alpha_\tau}),$$

$$b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi};$$
(23)

– для проекта в целом:

$$R_{kb}^{*rg}(C_k^g, T_k^g) = f_k^{rg}(C_k^g, T_k^g) \cdot N_k^{*g}(C_k^g) \cdot T_k^g,$$

$$b = 2, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k},$$
(24)

где  $f_k^{rg}(C_k^g, t_{ij})$ ,  $f_k^{rg}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau})$ ,  $f_k^{rg}(C_k^g, T_k^g)$ , соответственно, ставки аренды транспортных средств.

Если для проекта предполагается приобретение транспортных средств, то есть  $b = 1$ , то, помимо операционных (эксплуатационных) расходов, которые определяются характеристиками транспортного средства, в расходы по проекту включаются постоянные затраты и расходы, связанные с приобретением  $R_{kb}^{inv g}$  – инвестиционные затраты. Последние зависят от характеристик транспортного средства и условий приобретения  $F = (F_1, \dots, F_\lambda)$ , где в качестве составляющих могут выступать, например, процентная ставка, срок кредита, условия погашения кредита, доля собственных средств.

В этой ситуации расходы на транспортное обеспечение составляют:

– для периода времени:

$$R_{kb}^g(t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) = R_{kb}^g(C_k^g, Q_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}, F) =$$

$$= R_{kb}^{og}(C_k^g, Q_k^g) + R_{kb}^{pg}(C_k^g, t_{\alpha_\tau}, t_{\beta_\tau}) + R_{kb}^{inv g}(C_k^g, F),$$

$$b = 1, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, \tau = \overline{1, \psi};$$
(25)

– для проекта в целом:

$$R_{kb}^{*g} = R_{kb}^{*g}(C_k^g, Q_k^g, T_k^g, F) =$$

$$= R_{kb}^{*og}(C_k^g, Q_k^g) + R_{kb}^{*pg}(C_k^g, T_k^g) + R_{kb}^{*inv g}(C_k^g, F),$$

$$b = 1, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}.$$
(26)

На практике, приобретение транспортных средств в качестве транспортного

обеспечения отдельных работ проекта не осуществляется, если только речь не идет о масштабных проектах и агрегированных работах. Например, если в качестве работы выступает монтаж оборудования в проектах разработки месторождений, то транспортное обеспечение необходимо в течение указанных работ как для доставки оборудования и материалов, так и для доставки персонала. В таких ситуациях, оценка расходов на транспортное обеспечение, предполагающее приобретение транспортных средств, является целесообразной:

$$\begin{aligned}
 R_{kbij}^g &= R_{kbij}^g(C_k^g, Q_{kij}^g, t_{ij}, F) = \\
 &= R_{kbij}^{og}(C_k^g, Q_{kij}^g) + R_{kbij}^{pg}(C_k^g, t_{ij}) + R_{kbij}^{inv g}(C_k^g, F), \\
 b &= 1, k = \overline{1, K}, g = \overline{1, G_k}, i = \overline{1, n-1}, j = \overline{2, n}.
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

Отметим, что для корректной оценки расходов на транспортное обеспечение по проекту при  $b=1$  срок кредита (если таковой используется) должен быть в пределах жизненного цикла проекта. Иначе, транспортное средство используется и в других проектах, что важно и имеет место для проектно-ориентированных компаний, которые инвестируют в транспорт для реализации целого портфеля проектов на протяжении определенного периода времени.

## 7. SWOT-анализ результатов исследования

*Strengths.* Данное исследование ориентировано на структуризацию транспортной составляющей проектов по работам и промежутку времени. В данном исследовании основой для моделирования расходов на транспортное обеспечение проекта является сетевой график проекта и анализ его работ с точки зрения необходимости в транспортном обеспечении. Последовательно получены математические выражения для объемов транспортной работы и необходимого количества транспортных средств различного вида. Зависимости расходов для трех вариантов использования транспортных средств (аренды, услуги, приобретения) с учетом характеристик транспортных средств получены для трех уровней рассмотрения проекта: определенных работ, определенного промежутка времени, проекта в целом. Таким образом, в отличие от существующих исследований, в данной работе транспортное обеспечение структурировано в соответствии со структурой проекта. Это дает практический инструмент для управления проектами на базе соответствующей системы характеристик транспортного обеспечения в объемном и денежном выражении.

*Weaknesses.* Слабой стороной полученных результатов является то, что они носят общий характер, и полученные формализации не учитывают специфику закономерностей для конкретных видов и типов транспортных средств. Это определяет необходимость проведения статистических отраслевых исследований для получения необходимых зависимостей.

*Opportunities.* Формализация расходов на транспортное обеспечение позволяет варьировать характеристиками транспортных средств и условиями их использования в проекте на этапе принятия решений по выбору варианта

транспортного обеспечения проекта или формирования их комбинации. Кроме того, выполненные по аналогии формализации рисков, качества и ценности дополняют характеристики альтернативных вариантов транспортного обеспечения проектов. Таким образом, полученные результаты являются базой для дальнейшей разработки модели по оптимизации параметров и выбора варианта транспортного обеспечения проектов или формирования их оптимальной комбинации. Это позволит в результате решения получать необходимое транспортное обеспечение проектов, отвечающее всем требованиям проекта с позиции его характеристик, таких как расходы, ценность, риски.

*Threats.* Угрозы у данного исследования практически отсутствуют, так как практическое большинство проектов используют транспортное обеспечение, при этом сетевой график, к которому привязываются необходимые объемы транспортировки, является неизменной основой для структуризации проекта.

## **8. Выводы**

1. В результате обобщения практического опыта и теоретической базы идентифицированы и охарактеризованы на содержательном уровне альтернативные варианты транспортного обеспечения проектов. Данные варианты соответствуют конкретным параметрам конкретных видов и типов транспортных средств, а также одному из условий их использования в проекте – приобретение, аренда, услуга от поставщиков проекта. Выявлены позитивные и негативные стороны различных условий использования транспортных средств в проекте.

2. Разработан метод установления необходимых объемов транспортной работы в проекте для трех уровней: на уровне конкретной работы, временного промежутка и проекта в целом. Основой для формализации явился сетевой график проекта, анализ потребностей в транспортировке отдельных работ и его сопоставление с жизненным циклом проекта.

3. Получены формализации в виде теоретических зависимостей расходов по альтернативным вариантам транспортного обеспечения проекта. В основе формализации – зависимость провозной способности транспортных средств и различных составляющих затрат (для трех вариантов использования в проекте транспортных средств) от параметров транспортных средств.

## **Литература**

1. Shepelev, V., Almetova, Z., Larin, O., Shepelev, S., Issenova, O. (2018). Optimization of the Operating Parameters of Transport and Warehouse Complexes. *Transportation Research Procedia*, 30, 236–244. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.026>

2. Liu, Q., Min, H. (2008). A Collaborative Production Planning Model for Multi-Agent Based Supply Chain. *Proceedings – International Conference on Computer Science and Software Engineering*, 1, 512–515. doi: <http://doi.org/10.1109/csse.2008.543>

3. Chen, Z., Liang, Y., Wu, Y., Sun, L. (2019). Research on Comprehensive Multi-Infrastructure Optimization in Transportation Asset Management: The Case of *Roads and*



*Bridges. Sustainability*, 11 (16), 4430. doi: <http://doi.org/10.3390/su11164430>

4. Onischenko, S. P., Siraev, A. R., Samoilovskaia, V. P. (2012). Estimation of efficiency of transportation organization of distribution systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (3(60)), 37–43. Available at: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/5509>

5. Onyshchenko S., Siraev A. (2013) Optimization of transport support for distribution systems of export products. *Methods for managing the development of transport systems*, 1, 58–72.

6. Rusanova, S., Onyshchenko, S. (2020). Development of transport and technological process options' concept for goods delivery with participation of maritime transport. *Technology audit and production reserves*, 1 (2 (51)), 24–29. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.198373>

7. Gamez, E. A., Touran, A. (2009). A Method of Risk ranking for International Transportation Projects. *Proceedings of 7th International Probabilistic Workshop*. Delft, 187–203.

8. Andrievska, V., Bondar, A., Onyshchenko, S. (2019) Identification of creation and development projects of logistic systems. *Development of management and entrepreneurship methods on transport*, 4 (69), 26–37.

9. Owens, J. (2010). Project Management for Complex Transportation Projects. *Graduate Theses and Dissertations*, 11627. doi: <http://doi.org/10.31274/etd-180810-1807>

10. Guidance for Transportation Project Management (2009). *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*. Washington: The National Academies Press. doi: <http://doi.org/10.17226/23028>

11. Bínová, H. (2013). Methodology of transportation project management. *Journal of System of Integration*, 1, 30–37.

12. Abou-Senna, H., Radwan, E., Navarro, A., Abdelwahab, H. (2018). Integrating transportation systems management and operations into the project life cycle from planning to construction: A synthesis of best practices. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 5 (1), 44–55. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jtte.2017.04.006>

13. Halvorsen-Weare, E. E., Fagerholt, K. (2011). *Robust Supply Vessel Planning. Network Optimization*. Berlin: Springer, 559–573. doi: [http://doi.org/10.1007/978-3-642-21527-8\\_62](http://doi.org/10.1007/978-3-642-21527-8_62)

14. Halvorsen-Weare, E. E., Fagerholt, K. (2010). Routing and scheduling in a liquefied natural gas shipping problem with inventory and berth constraints. *Annals of Operations Research*, 203 (1), 167–186. doi: <http://doi.org/10.1007/s10479-010-0794-y>

15. Welte, T. M., Sperstad, I. B., Halvorsen-Weare, E. E., Netland, Ø., Nonås, L. M., Stålhane, M. (2018). Operation and maintenance modelling. *Offshore Wind energy technology*, 269–303. doi: <http://doi.org/10.1002/9781119097808.ch7>

16. Pavlova, N., Onyshchenko, S. (2020). Organization Of Transport Company's Project-Oriented Management (on the Example of the Freight Forwarding Company). *Management of Development of Complex Systems*, 42, 23–28. doi: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2020.42.23-28>