

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОСТАВЩИКА

В статье рассматривается комплекс взаимосвязанных математических моделей, предназначенных для управления проектной деятельностью на всех стадиях с участием заинтересованной стороны — генпоставщика. Использование данных моделей направлено на повышение эффективности его деятельности, обеспечивает реализацию соответствующих компетенций и достижение поставленных целей при различных условиях осуществления проекта.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** стейкхолдер, математические модели управления проектом, компетенции управления проектом, генпоставщик



**Воропаев Владимир Иванович** — д. т. н., основатель и почетный президент СОВНЕТ, академик РАЕН и МАИЭС, профессор кафедры управления проектами Международной академии бизнеса, первый международный ассессор IPMA. Автор свыше 250 научных работ. Удостоен в 2005 г. награды IPMA «За выдающийся вклад в развитие мирового УП» (г. Москва)



**Гельруд Яков Давидович** — профессор кафедры предпринимательства и менеджмента Южно-Уральского государственного университета, преподаватель ряда экономических и математических дисциплин. Принимал участие в создании и внедрении более 100 автоматизированных систем управления в различных отраслях промышленности. Автор большого числа публикаций, в том числе монографии «Управление проектами в условиях риска и неопределенности» (г. Челябинск)

### ВВЕДЕНИЕ

В работе «Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон» [3] была сделана попытка структурировать особенности основных заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и с их учетом построить математические модели проектного управления. Примеры таких моделей были построены для инвестора, заказчика, команды проекта, основных исполнителей, поставщиков и регулирующих органов. Там же мы отмечали, что заинтересованные стороны в проекте различаются ожиданиями, ролями, мерой ответственности и действиями. Эти отличия существенно влияют на постановку задач проекта, используемые методы, инструменты и технологии управления, ориентированные на специфические потребности стейкхолдеров.

В настоящей статье предлагаются математические модели, предназначенные для управления проектной деятельностью на всех стадиях с участием генпоставщика как одной из заинтересованных сторон проекта. Для каждого предлагаемого варианта рассматриваются специфические условия,

которым адекватна данная модель, при этом предлагаются и анализируются решения, которые также могут быть многовариантны. Использование математических моделей направлено на повышение эффективности деятельности генпоставщика, обеспечивает реализацию его компетенций и достижение поставленных целей при осуществлении проекта.

## 1. КЛЮЧЕВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

### 1.1. Ключевые определения заинтересованных сторон

Ключевые определения заинтересованных сторон содержатся в «Национальных требованиях к компетентности специалистов по управлению проектами» [9] и приведены нами в статье «Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон» [3]. Здесь остановимся подробнее на понятии «генпоставщик».

*Генпоставщик* — это компания, управляющая процессом обеспечения поставок и закупок по контрактам с различными поставщиками. Генпоставщик реализует согласованный, упорядоченный и систематический процесс управления поставками всех необходимых материалов и оборудования для осуществления проекта, позволяющий обеспечить его выполнение в заданные сроки с заданным качеством, при этом по возможности снизить общую стоимость закупаемых материалов, товаров и услуг при сохранении или повышении качества услуг и технологий.

Система управления генпоставщика предназначена для решения следующих задач:

- анализ потребностей всех работ проекта в необходимых материалах и оборудовании;
- выбор оптимальных источников поставок (проведение оценки квалификации поставщиков, тендеры и аукционы);
- заключение и контроль выполнения контрактов (договоров) с поставщиками;
- организация централизованного снабжения всего проекта и учет общих затрат на снабжение;

- осуществление тактического и стратегического анализа отношений с поставщиками.

В результате деятельности генпоставщика реализуются такие возможности, как:

- снижение расходов на закупки путем консолидации потребностей различных работ проекта, сокращения разовых закупок и оптимизации цен в результате тендеров и аукционов;
- сокращение закупочного цикла за счет автоматизации рутинных операций взаимодействия с поставщиками;
- оптимизация поставок и повышение качества снабжения проекта.

### 1.2. Состав и содержание компетенций управления проектами

Компетенции управления проектами для заинтересованных сторон подразделяются на две группы — базовые и специальные:

- *базовые компетенции* определяют единые для всех заинтересованных сторон требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств;

- *специальные компетенции* определяют специфические для определенной заинтересованной стороны проекта требования к составу, содержанию и уровню способностей, знаний, навыков и личных качеств с учетом ее (стороны) роли, интересов и выполняемых функций [9].

Ниже приведены примеры специфических характеристик и параметров управления проектами в интересах генпоставщика.

*Ожидания* — заработок на поставках (в случае когда роль генпоставщика выполняет сам заказчик, ожидания другие — снижение стоимости и/или повышение надежности, соответствующие модели рассмотрены нами в статье «Математические модели проектного управления для заказчика» [4]).

*Видение проекта* — процесс обеспечения поставок по контрактам.

*Цель в проекте* — обеспечение необходимых поставок в нужном месте и в нужное время по выгодной для генпоставщика цене.

*Критерии* — минимизация рисков и потерь, максимизация выгоды.

*Ограничения* — спецификации, сроки, цены и место поставок.

*Стратегия* — оптимизация процесса поставок и закупок с соблюдением интересов клиента и поставщика.

*Основные риски* — несвоевременность поставки, высокая себестоимость и возможные штрафы.

*Основные инструменты УП* — план поставок, контракты на закупки и поставки, мониторинг и контроль.

### 1.3. Взаимосвязь математических моделей управления проектами генпоставщика с моделями других заинтересованных сторон

Схема взаимосвязи представлена на рисунке.

## 2. ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ

Поставки — один из важнейших вопросов в управлении проектом. Снижение расходов, связанных с обеспечением проекта различными

**Рисунок.** Схема взаимосвязей математических моделей управления генпоставщика с моделями других заинтересованных сторон проекта



ресурсами, позволяет повысить его рентабельность. Вместе с тем недопустимо снижение качества поставляемых ресурсов, следовательно, необходимо выбирать квалифицированных поставщиков, устанавливая с ними устойчивые и взаимовыгодные партнерские отношения. Управление этими процессами позволяет уменьшить риски поставок. Таким образом, система управления работой с генпоставщиком должна заключаться в оптимизации деятельности по поставкам ресурсов при реализации проекта. Необходимо иметь в виду и наличие прямых безальтернативных поставок, исключающих возможность выбора.

Привлечение генпоставщика на начальном этапе разработки проекта может привести к сокращению затрат до 18%. По данным исследований, интеграция процессов разработки проекта и привлечения сторонних ресурсов приводит к сокращению складских запасов более чем на 30%, а своевременность поставок при этом увеличивается до 73% [8].

Процесс выбора поставщика состоит из следующих этапов.

1. Сбор и ранжирование требований к поставщику. Требования могут быть специфическими для разных проектов, но в основном это своевременность поставок, оптимальное соотношение «цена — качество», ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена бракованной продукции и пр.).

2. Анализ следующих характеристик потенциальных поставщиков:

- производственные возможности;
- технологические возможности;
- права интеллектуальной собственности;
- управленческая зрелость, в том числе в области управления проектами;
- финансовое состояние / стабильность;
- организационная форма и величина предприятия;
- право собственности;
- отзывы.

3. Создание длинного списка поставщиков: осуществляется поиск всех потенциальных

поставщиков, которые соответствуют выдвинутым требованиям, с использованием Интернета, рекламных журналов, рекомендаций других компаний и т.п.

4. Создание короткого списка поставщиков. Предлагаем несколько подходов к его формированию:

- отбор поставщиков по степени влияния объемов поставок на интегрированный показатель качества продукции (модель представлена в разделе 3.1, далее — модель 3.1);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кендалла (модель 3.2);
- проведение качественного экспертного отбора возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (модель 3.3).

Предложенные модели можно использовать как отдельно, так и в сочетании друг с другом.

5. Оценивание поставщиков из короткого списка. На данном этапе необходимо сопоставить возможности поставщиков с требованиями к ним и приоритетностью этих требований. Это сопоставление заключается в формировании численных оценок, показывающих, насколько претендент соответствует каждому качественному требованию. Полученные оценки используются на следующем этапе при построении математических моделей для формирования плана поставок.

6. Выбор поставщика. На этой стадии осуществляются анализ всех поступивших ответов на заявку, выбор поставщика и заключение контракта. Есть различные методы выбора поставщика и присуждения контракта. Часто эта процедура не формализуется; создается отборочный комитет, который оценивает поставщика по одной из методик. Наиболее распространенной из них является позиционная, которая заключается в экспертной оценке поставщиков по выдвинутым критериям и собранным характеристикам.

Модель количественной оценки, или позиционная система, представляет собой неплохой инструмент оценки ответов на заявку предложения. Она достаточно объективна и гарантирует, что при анализе ответов все члены отборочного комитета будут использовать одинаковые критерии.

Позиционная модель количественной оценки в настоящее время довольно часто используется в процессе закупки и при выборе методов оценки и сопоставлении различных критериев для принятия окончательного решения. Она довольно эффективна при малой номенклатуре поставляемых продуктов и небольшом количестве поставщиков. При значительном же числе поставщиков и поставляемых продуктов, вариантов приобретения и использования оборудования (а современные проекты характеризуются как раз большой емкостью) этот подход труден для реализации и не способствует получению оптимального решения.

В настоящей статье приводятся математические модели управления деятельностью генпоставщика в части выбора наиболее эффективных поставщиков и формирования оптимального плана поставок (модели 3.4–3.6). В случае безальтернативных поставок процесс можно описать простой линейной моделью Ганта или сетевым графиком как субпроект в основном проекте. Временем окончания субпроекта является расчетная дата поставки по комплексному графику в виде вехи или ограничения по времени [5]. Рассчитав продолжительность субпроекта, определяем дату, когда надо начать поставку, чтобы продукт появился вовремя в нужном месте и в нужном объеме.

Используя предлагаемые модели, можно будет для проектов любой степени сложности решать такие задачи генпоставщика, как анализ потребностей в материалах и оборудовании, выбор источников поставок, заключение и контроль выполнения контрактов и другие рассмотренные выше, а кроме того, автоматизировать соответствующие процессы.

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ ДЛЯ ГЕНПОСТАВЩИКА

#### 3.1. Математическая модель, описывающая характер влияния объемов поставок каждого поставщика на качество продукта

Пусть поставляемый продукт характеризуется параметром  $Y$ , который является показателем его качества. Если продукция разных поставщиков различается по качеству, то, возможно, параметр качества будет меняться в зависимости от объема поставок того или иного поставщика  $X_i$ . Данная модель предназначена для выявления характера зависимости параметра качества от объема поставок каждого поставщика.

Исходные данные представляют собой месячный объем поставок каждого поставщика  $x_{it}$  и значение показателя качества  $y_t$  ( $i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T$ ).

Построим регрессионную линейную (аддитивную) модель влияния объемов поставок на параметр качества. Нужно найти зависимость вида:

$$Y = a_0 + a_1 \times X_1 + \dots + a_n \times X_n, \quad (1)$$

где  $a_i$  — коэффициенты регрессии, показывающие степень влияния объема поставки поставщика  $i$  на параметр качества. При изменении объема поставок для некоторого поставщика на единицу измерения представленных данных значение показателя качества меняется на величину соответствующего коэффициента регрессии.

В процессе построения модели определяется оптимальное множество поставщиков. Проверка обоснованности включения поставщиков в модель проводится методом расчета коэффициентов корреляции  $r_{ij}$  для каждой пары переменных  $X_i, X_j$  в уравнении (1). Корреляция переменных показывает, насколько велика их связь между собой. Если связь достаточно сильна ( $|r_{ij}| \geq 0,8$ ), то использование одной из переменных нецелесообразно и избыточно, следовательно, ее можно исключить из модели. Исключается поставщик, к которому имеется больше претензий по качеству

продукции, срокам поставки и пр. При равном отношении к ним исключается любой из них. Кроме того, следует исключать поставщиков, имеющих слабую степень влияния на показатель качества  $Y$ . Данное решение принимает ответственное лицо индивидуально по каждому поставщику путем анализа полученных коэффициентов регрессии. В итоге мы получим множество поставщиков, влияние которых на исследуемый параметр  $Y$  наиболее значимо, причем избыточность переменных будет устранена.

Опыт использования данной модели показывает, что чаще всего влияние объемов поставок на показатель качества носит отрицательный характер. Данный факт диктует следующую тактику отбора поставщиков: мы или отказываемся от крупных поставщиков, у которых больший по модулю отрицательный коэффициент регрессии (при этом возможны потери финансового характера из-за разницы в ценах на крупный и мелкий опт), или осуществляем усиленный контроль качества крупных поставок, что также сопряжено с затратами. Сравним затраты, связанные с отказом от крупных поставщиков, с затратами на контроль за их деятельностью, и из двух «зол» выберем меньшее.

Теперь построим нелинейную (мультипликативную) модель влияния объемов поставок на параметр качества. Нужно найти зависимость вида:

$$Y = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \times \dots x_n^{a_n}, \quad (2)$$

где полученные показатели степени  $a_i$  — коэффициенты эластичности, они иллюстрируют, на сколько процентов меняется анализируемый показатель  $Y$  при изменении фактора  $i$  на 1%. Легко показать и обратное [6], а именно: если коэффициенты эластичности являются константами, т.е. не зависят от объема поставок, то зависимость между показателем качества и объемом поставок выражается уравнением (2). Таким образом, мы получаем правило выбора между (1) и (2). Анализируя статистические данные об объеме поставок и вычисляя коэффициенты эластичности при малых и больших объемах, делаем выводы об их

вариабельности относительно этих значений. При вариабельности, близкой к 0, выбираем модель (2), в противном случае (1). Пошаговая работа с моделью (2) по определению оптимального множества поставщиков аналогична работе с моделью (1).

### 3.2. Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием критериев корреляции Спирмена и Кендалла

Пусть экспертам предлагают проранжировать  $n$  потенциально возможных поставщиков, приписав им порядковые номера (ранги)  $1, 2, 3, \dots, n$ , причем ранжирование может производиться как по отдельным критериям, предложенным ниже в модели 3.3, так и по их совокупности. Степень согласованности результатов ранжирования двух экспертов может быть оценена с помощью коэффициента ранговой корреляции  $R$ , предложенного Спирменом. Если обозначить через  $\{x_p\}$  и  $\{y_p\}$  ранги, установленные двумя экспертами для поставщика  $p$ , то коэффициент корреляции  $R$  будет определяться формулой:

$$R = 1 - \frac{6 \sum d_p^2}{n^3 - n}, \quad (3)$$

где  $n$  — число сравниваемых поставщиков;  
 $d_p = x_p - y_p$  — разность рангов поставщиков у двух экспертов.

Естественно, что максимальным значением степени согласованности мнений экспертов является +1 (достигается, когда ранги обоих экспертов совпадают), а минимальным значением является -1 (соответствует случаю, когда мнения экспертов противоположны).

В принципе число ранжируемых поставщиков может быть любым, но сам процесс ранжирования числа поставщиков большего, чем 20, затруднителен. Возможно, что именно поэтому таблица критических значений рангового коэффициента корреляции рассчитана лишь для 30 ранжируемых признаков [10]. При большем числе

сравниваемых переменных следует использовать таблицу для пирсоновского коэффициента корреляции [11]. Нахождение критических значений осуществляется при  $k = n$ .

Используя ранговый коэффициент корреляции Спирмена, рассмотрим следующий пример (табл. 1). Эксперты проранжировали 11 поставщиков по совокупности критериев.

Подставляем полученные данные в формулу (3) и производим расчет. Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 \times 52}{11(11 \times 11 - 1)} = 0,76.$$

Для нахождения уровня значимости обращаемся к таблице, в которой приведены критические значения для коэффициентов ранговой корреляции [10]. Подчеркнем, что в данной таблице все величины коэффициентов корреляции даны по абсолютной величине, поэтому знак коэффициента корреляции учитывается только при его интерпретации.

Нахождение уровней значимости в данной таблице осуществляется по числу  $n$ , т.е. по числу поставщиков. В нашем случае  $n = 11$ . Для этого числа находим  $r_{кр}$ : 0,52 для  $P \leq 0,05$ , 0,74 для  $P \leq 0,01$ . Полученный коэффициент корреляции совпал с критическим значением для уровня значимости в 1%. Следовательно, можно утверждать, что мнения экспертов очень хорошо согласованы.

Нередко возникает ситуация, когда эксперт не может провести четкого разграничения между двумя объектами оценивания. В этом случае целесообразно вводить так называемые связанные

ранги, когда тем объектам оценивания, среди которых эксперт затрудняется выбрать предпочтительный, приписывается один и тот же (возможно дробный) номер. Например, эксперт не может четко разграничить по значимости третьего и четвертого поставщика, тогда им обоим присваивается один и тот же дробный ранг — 3,5.

При наличии одинаковых рангов (у каждого эксперта их может быть несколько групп) формула расчета коэффициента корреляции Спирмена будет несколько иной. В этом случае в формулу вычисления коэффициентов корреляции добавляются новые члены, учитывающие одинаковые ранги. Они называются поправками на одинаковые ранги и добавляются в числитель:

$$D_j = (k_j^3 - k_j) / 12,$$

где  $k_j$  — число одинаковых рангов в группе  $j$ .

Формула расчета коэффициента корреляции Спирмена с поправками будет иметь следующий вид:

$$R = 1 - \frac{6 \sum_p d_p^2 + \sum_j D_j}{n^3 - n}. \quad (4)$$

Пример ранжирования поставщиков при наличии одинаковых рангов представлен в табл. 2. В данном случае у первого эксперта одна группа имеет два одинаковых ранга (2,5), следовательно,

величина поправки  $D_1 = \frac{2^3 - 2}{12} = 0,5$ . У второго

эксперта две группы по три одинаковых ранга (3 и 11), следовательно, величина поправки будет

$$D_2 + D_3 = \frac{(3^3 - 3) + (3^3 - 3)}{12} = 4.$$

**Таблица 1.** Пример ранжирования поставщиков по совокупности критериев

Оценки экспертов и разность рангов	Номер поставщика										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Эксперт 1	3	5	6	1	4	11	9	2	8	7	10
Эксперт 2	2	7	8	3	4	6	11	1	10	5	9
$d_p$	1	-2	-2	-2	0	5	-2	1	-2	2	1
$d_p^2$	1	4	4	4	0	25	4	1	4	4	1

Таблица 2. Пример ранжирования поставщиков при наличии одинаковых рангов

Оценки экспертов и разность рангов	Номер поставщика											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Эксперт 1	6	7	4	5	9	12	2,5	2,5	10	8	11	1
Эксперт 2	5	8	7	11	3	6	11	11	1	3	3	9
$d_p$	1	-1	-3	-6	6	6	-8,5	-8,5	9	5	8	-8
$d_p^2$	1	1	9	36	36	36	77,25	77,25	81	25	64	64

Считаем ранговый коэффициент с учетом поправок по формуле (4). Получаем:

$$R = 1 - \frac{6 \times 471,5 + 0,5 + 4}{12 \times 143} = -0,651.$$

Подсчитаем без учета поправок:

$$R = 1 - \frac{6 \times 471,5}{12 \times 143} = -0,648.$$

Различия оказались очень незначительны. По таблице коэффициентов находим критические значения коэффициентов корреляции при  $n = 12$ : 0,50 для  $P \leq 0,05$ , 0,70 для  $P \leq 0,01$  [10]. В этом случае полученный результат говорит о том, что экспертные оценки поставщиков согласованы с погрешностью менее 5%, но более 1%, но мнения экспертов об этих поставщиках диаметрально противоположны. Чем выше оценивает поставщика один эксперт, тем ниже у него оценка второго эксперта. Такая несогласованность не может быть случайной, это свидетельствует или о некомпетентности одного из экспертов, или о криминальной преднамеренности его действий.

Используемый в некоторых системах оценки коэффициент корреляции Кендалла  $\tau$  вычисляется по формуле:

$$\tau = \frac{S^+ - S^-}{0,5n(n-1)}. \quad (5)$$

Для вычисления  $S^+$  и  $S^-$  сравниваются ранги всех пар поставщиков у одного эксперта и у другого. К  $S^+$  добавляется 1, если ранги расположены в одинаковой последовательности, к  $S^-$  — если

в обратной. Имеем всего пар:  $S^+ + S^-$ , где  $S^+$  — число положительных, а  $S^-$  — отрицательных единиц, приписанных парам при сопоставлении их рангов у обоих экспертов.

Из формулы (5) видно, что коэффициент  $\tau$  представляет собой разность доли пар поставщиков, у которых совпадает порядок по обоим экспертам (по отношению к числу всех пар), и доли пар поставщиков, у которых порядок не совпадает. Например, значение коэффициента Кендалла 0,60 означает, что у 80% пар порядок совпадает, а у 20% не совпадает ( $80\% + 20\% = 100\%$ ;  $0,80 - 0,20 = 0,60$ ), т.е.  $\tau$  можно трактовать как разность вероятностей совпадения и несовпадения порядков по обоим экспертам для наугад выбранной пары поставщиков. В общем случае вычисление  $\tau$  даже для  $n = 10$  оказывается громоздким. Кроме того, практические расчеты показывают, что коэффициент Кендалла  $\tau$  дает более осторожную оценку корреляции, чем коэффициент Спирмена  $R$  (числовое значение  $\tau$  всегда меньше, чем  $R$ ), т.е.  $R$  сильнее реагирует на несогласие ранжировок, чем  $\tau$ , поэтому мы предлагаем использовать коэффициент Спирмена для определения степени согласованности экспертов.

На практике наряду с коэффициентами ранговой корреляции, характеризующими согласованность мнений каждой пары экспертов, большой интерес представляет коэффициент конкордации, определяющий согласованность мнений группы экспертов. Поясним смысл этого понятия на примере табл. 3, в которую занесены ранги, проставленные  $m$  экспертами для оценки поставщиков. В нижней строке таблицы суммируются



Таблица 3. Ранги поставщиков по мнению экспертов

Эксперты	Ранги для поставщиков			
	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
Эксперт 1	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
Эксперт 2	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
...	...	...	...	...
$m$ -й	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$
Суммы	$\sum_{i=1}^m a_{i1}$	$\sum_{i=1}^m a_{i2}$	...	$\sum_{i=1}^m a_{in}$

ранги всех экспертов для каждого поставщика  $p$ . Переставим столбцы в порядке возрастания этих сумм. Среднее их значение обозначим через  $A_p$ :

$$A_p = \sum_{i=1}^m a_{ip} / m. \quad (6)$$

Если бы все наблюдения были одинаковыми, то мы получили бы по столбцам следующие суммы:  $m, 2m, \dots, nm$ . Действительно, в первом столбце находился бы поставщик, которому все эксперты присвоили ранг 1, во втором — поставщик с рангом 2 и т.д. Можно рассчитать сумму квадратов отклонений:

$$S = \sum_{p=1}^n \left( \sum_{i=1}^m a_{ip} - A_p \right)^2. \quad (7)$$

Это значение характеризует степень совпадения мнений всех экспертов. При полностью согласованных мнениях значение  $S$  будет равно 0 или очень мало, поэтому для определения степени согласованности мнений группы экспертов предлагается определять коэффициент конкордации следующим образом:

$$W = \frac{12 \times S}{m^2 (n^3 - n)}. \quad (8)$$

Изменение  $W$  от 1 до 0 указывает на увеличение степени согласованности во мнениях экспертов.

Работа с группой экспертов по определению оценок поставщиков производится в несколько этапов. На первом этапе определяются и анализируются парные коэффициенты корреляции Спирмена, проводится работа по выявлению и исключению из группы некомпетентных и коррумпированных экспертов. Затем по формуле (8) вычисляется коэффициент конкордации, организационная работа с экспертами (их информирование, отсев и последующие перерасчеты) продолжается до тех пор, пока не будет получено значение  $W \leq 0,15$ , что говорит о высокой степени согласованности мнений экспертов. Тогда  $A_p$ , вычисленные по формуле (6), будут являться приоритетами поставщиков.

### 3.3. Экспертный отбор возможных поставщиков с использованием принципов попарного сравнения (метод иерархий Саати)

В качестве критериев выбора поставщика предлагаются следующие:

- своевременность поставок;
- соотношение «цена — качество» (с учетом транспортных издержек);

Таблица 4. Матрица попарных сравнений критериев на примере проекта по строительству гипермаркета

Критерии	Своевременность поставок	Соотношение «цена — качество»	Ответственность поставщика	Производственные и технологические возможности	Финансовое состояние
Своевременность поставок	1	3	5	3	5
Соотношение «цена — качество»	1/3	1	1/3	1/3	5
Ответственность поставщика	1/5	3	1	1/5	3
Производственные и технологические возможности	1/3	3	5	1	3
Финансовое состояние	1/5	1/5	1/3	1/3	1

■ ответственность поставщика (сопровождение поставленных товаров, своевременная замена брака и пр.);

■ производственные и технологические возможности;

■ финансовое состояние (кредитоспособность, стабильность).

Выбор поставщиков с использованием методов свертки критериев и/или комплексных критериев рассмотрены в работах «Антикоррупционные механизмы выбора поставщика в управлении ресурсным обеспечением» [1] и «Управление процессом закупок методом многокритериальной оценки выбора поставщика» [2]. Здесь мы предлагаем метод анализа иерархий Саати.

Вначале строится матрица попарных сравнений критериев и формируется вектор приоритетов критериев. Каждый проект уникален, уникальны и их сравнительные оценки. В табл. 4 приведен пример попарных сравнений критериев (для анализа взят проект строительства гипермаркета «Горки» в г. Челябинске).

Для формирования вектора приоритетов критериев сначала нормализуем матрицу  $A$  путем

деления всех ее элементов на сумму элементов каждого соответствующего столбца:

$$N_A = \begin{pmatrix} 0,48 & 0,29 & 0,43 & 0,62 & 0,29 \\ 0,16 & 0,10 & 0,03 & 0,07 & 0,29 \\ 0,10 & 0,29 & 0,08 & 0,04 & 0,18 \\ 0,16 & 0,29 & 0,43 & 0,20 & 0,18 \\ 0,10 & 0,03 & 0,03 & 0,07 & 0,06 \end{pmatrix}.$$

Компоненты вектора  $W^E$  вычисляются как средние арифметические элементов строки нормализованной матрицы:

$$W^E = (0,422; 0,13; 0,138; 0,252; 0,058). \quad (9)$$

В данном проекте наиболее приоритетным является критерий «Своевременность поставок» (0,422), затем «Производственные и технологические возможности» (0,252), потом «Ответственность поставщика», «Соотношение «цена — качество» и на последнем месте «Финансовое состояние поставщика».

Затем для каждого критерия строится матрица попарных сравнений поставщиков, и формируются соответствующие векторы приоритетов.

Полученные векторы приоритетов поставщиков по каждому критерию скалярно умножаются на вектор приоритетов критериев, и таким образом получается результирующий вектор приоритетов поставщиков  $\{A_p\}$ .

### 3.4. Однопродуктовая статическая задача выбора поставщика

Рассмотрим совокупность поставщиков (всего  $n$ ), которые могут поставлять определенный вид продукта в заданное время. Пусть:

$X_p$  — объем поставок продукции, осуществляемых  $p$ -м поставщиком в заданный временной интервал, ограниченный возможностями предприятия-поставщика  $V_p^{orp}$ ;

$V$  — потребность потребителя в продукции в заданный интервал времени;

$V_{min}$  — минимально необходимый объем продукции, обеспечивающий непрерывность деятельности потребителя в заданном интервале времени;

$V_{max}$  — максимальный объем поставки продукции, гарантирующий избежание простоев транспортных средств, которыми продукция доставляется потребителю, в заданный интервал времени;

$Z_p$  — закупочная цена единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$D_p^{mp}$  — стоимость транспортировки единицы объема продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком;

$P_p$  — показатель качества продукции, поставляемой  $p$ -м поставщиком, определяется как вероятность получения продукции, соответствующей всем требованиям качества (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Условия поставок и формы расчетов исходя из ограниченности бюджета потребителя определяются соответствующими долями возможных закупок в общем объеме поставок:

- $Q_1$  — доля закупок с отсрочкой платежа;
- $Q_2$  — доля закупок на условиях оплаты по факту поставки;

- $Q_3$  — доля закупок на условиях предоплаты.

Проанализируем критерии эффективности, по которым будем оценивать решение о выборе поставщика.

Для формирования критерия, соответствующего стоимостной оценке закупок, определим суммарные затраты на объем закупок в заданный интервал времени у всех поставщиков:

$$SC = \sum_{p=1}^n (Z_p + D_p^{mp}) X_p \quad (10)$$

и суммарный объем поставок:

$$SV = \sum_{p=1}^n X_p \quad (11)$$

Минимальная цена единицы объема продукции во всем объеме  $SV$  составит:

$$C_{min} = \min_p (Z_p + D_p^{mp}). \quad (12)$$

Сформируем первый частный критерий эффективности в виде отношения величины  $C_{min}$ , соответствующей минимальной цене, предлагаемой поставщиками (с учетом транспортных расходов), к средней цене закупок  $C_{cp} = SC / SV$ :

$$K_1 = C_{min} / C_{cp}. \quad (13)$$

Критерий  $K_1$  характеризует долю, составляемую минимально возможной ценой закупки в средней закупочной цене. Этот показатель имеет максимальное значение ( $K_1 = 1$ ), если все закупки осуществляются только у поставщика, стоимость продукции у которого является наименьшей. Во всех других случаях  $K_1 < 1$ , что соответствует менее выгодным ценовым условиям закупок. Таким образом, по условию снижения затрат на закупки критерий  $K_1$  следует максимизировать.

В качестве второго частного критерия выбираем тот, который позволит оценить условия поставок и формы расчетов. Естественно, потребителю выгоднее производить закупки на условиях отсрочки платежа и менее выгодно, если оплата осуществляется по факту поставки, еще менее выгодно закупать на условиях предоплаты.

Выгодность закупок, производимых по описанным вариантам форм оплаты, можно оценить посредством соответствующих коэффициентов эффективности:  $E_{on}$  (покупка с отсрочкой платежа),  $E_{fn}$  (при оплате по факту поставки),  $E_{np}$  (при условии предоплаты). В этом случае сформируем следующий комплексный критерий:

$$K_2 = (E_{on} SV_{on} + E_{fn} SV_{fn} + E_{np} SV_{np}) / SV, \quad (14)$$

где  $SV_{on}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, допускающих отсрочку платежа;

$SV_{fn}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков на условиях оплаты по факту поставки;

$SV_{np}$  — суммарные объемы закупок за заданный интервал времени у поставщиков, требующих предоплату.

Критерий  $K_2$  характеризует (с учетом коэффициентов эффективности) долю закупок, производимых на тех или иных условиях, в общем объеме закупок и имеет максимальное значение  $K_2 = E_{on}$ , если все закупки осуществляются у поставщиков, допускающих отсрочку платежа. Пусть, например, закупки каждой единицы объема продукции, производимые с отсрочкой платежа, имеют показатель эффективности  $E_{on} = 1$ , закупки единицы объема продукции при оплате по факту поставки имеют показатель эффективности  $E_{fn} = 0,5$ , а наименее выгодные закупки (на условиях предоплаты) —  $E_{np} = 0,2$ . Тогда максимальное значение комплексного критерия  $K_2 = 1$ . Во всех остальных случаях  $K_2 < 1$ , что соответствует менее выгодным условиям поставок. Конкретные значения коэффициентов эффективности закупок по условиям оплаты могут быть получены благодаря экспертным оценкам или могут быть заданы предприятием-потребителем. Таким образом, эффективное решение на основе данного критерия сводится к максимизации  $K_2$ .

В качестве третьего частного критерия рассмотрим показатель, характеризующий качество

поставляемой продукции. Поскольку качество продукции отражается через вероятностные показатели, определим математическое ожидание объемов поставки качественной продукции в общем объеме поставок:

$$MV = \sum_{p=1}^n P_p X_p.$$

Критерий качества в этом случае имеет следующий вид:

$$K_3 = MV / SV. \quad (15)$$

Критерий  $K_3$  имеет максимальное значение, соответствующее показателю качества поставщика наиболее качественной продукции, если все закупки осуществляются именно у него. Во всех остальных случаях  $K_3$  имеет меньшие значения, что соответствует менее качественной продукции, следовательно, требуется максимизация  $K_3$ .

В качестве четвертого частного критерия возьмем отклонение суммарного объема поставок от его необходимого количества:

$$K_4 = |SV - V|. \quad (16)$$

Отклонение поставленного объема продукта от его необходимого количества может вызвать дополнительные издержки, связанные как с хранением излишков, так и с простоями исполнителей из-за нехватки продукта. Следовательно, по этому критерию необходима минимизация.

Методы решения многокритериальных задач достаточно подробно описаны [7]. В статье «Математические модели проектного управления для заказчика» [4] мы применяли некоторые из них, в частности метод последовательных уступок. Здесь он также может быть применен, но наряду с ним представляется целесообразным осуществить свертку полученных критериев, используя метод суммирования с заданием весовых коэффициентов. При определении весовых коэффициентов целесообразно воспользоваться методом экспертных оценок, при этом

определяя их значения как напрямую, так и посредством попарных сравнений, формируя вектор приоритетов подобно (9). Вместе с тем следует отметить, что варьирование численных значений коэффициентов принципиально не изменяет задачу, а лишь меняет приоритеты потребителя при покупке продукции, что позволяет ему принять решение исходя из конкретных обстоятельств, складывающихся в данный момент. Тогда суммарный критерий эффективности в виде свертки частных комплексных критериев  $K_1, K_2, K_3, K_4$  представим так:

$$W = g_1 K_1 + g_2 K_2 + g_3 K_3 - g_4 K_4, \quad (17)$$

где  $g_1, g_2, g_3, g_4$  — весовые коэффициенты;  $g_i > 0$ .

Целевая функция  $W$  и ее весовые коэффициенты отражают интересы генпоставщика при поставке конкретного вида продукта в анализируемый период. Увеличение  $g_1$  отражает повышенный ценовой интерес (купить дешевле),  $g_2$  — придает большее значение условиям поставки,  $g_3$  — отражает большее внимание к качеству поставляемой продукции,  $g_4$  — приведет к уменьшению числа фактов срыва поставок.

Составим математическую модель задачи. Система ограничений состоит из двух подсистем, первая из которых обусловлена запросами потребителя и возможностями поставщиков:

$$V_{\min} \leq SV \leq V_{\max}, \quad (18)$$

$$0 \leq X_p \leq V_p^{ozp}. \quad (19)$$

Вторая подсистема обусловлена ограниченными бюджетными возможностями потребителя, что выражается соответствующими требованиями к условиям поставок:

$$SV_{on} / SV \geq Q_1, \quad (20)$$

$$SV_{fn} / SV \leq Q_2, \quad (21)$$

$$SV_{np} / SV \leq Q_3. \quad (22)$$

Подсистема (20)–(22) отражает следующее требование: доля закупок продукции на условиях отсрочки платежа в общем объеме закупок должна

быть не менее  $Q_1$ , а доли закупок на условиях оплаты по факту поставки и условиях предоплаты не должны превышать  $Q_2$  и  $Q_3$  соответственно.

Таким образом, требуется определить объемы закупок  $X_p$ , соответствующие системам ограничений (18)–(22) и максимизирующие суммарный критерий эффективности (17).

Рассмотрим пример (исходные данные взяты из статьи «Антикоррупционные механизмы выбора поставщика в управлении ресурсным обеспечением» [1]): потребность проекта в металле составляет 4200 т в месяц. При этом по условиям нормального выполнения проекта минимальная потребная поставка металла должна составлять не менее двух вагонов (120 т) в сутки. В то же время, чтобы не нести затрат по оплате вынужденных простоев вагонов, максимальная суточная поставка не должна превышать пяти вагонов (300 т). Перечень поставщиков и их характеристики представлены в табл. 5.

Показатель качества, приведенный в табл. 5, представляет собой величину вероятности получения продукции, соответствующей всем требованиям качества (устанавливается из статистических данных входного контроля качества поставляемой продукции).

Исходя из существующего в настоящее время постоянного дефицита финансирования зададим следующие коэффициенты эффективности закупок продукции:

■ закупки, производимые с отсрочкой платежа:  $E_{on} = 1$ ;

■ закупки по факту поставки:  $E_{fn} = 0,5$ ;

■ закупки по условиям предоплаты:  $E_{np} = 0,2$ .

Зададим доли возможных закупок в общем объеме поставок:  $Q_1 = 0,5$ ,  $Q_2 = 0,35$ ,  $Q_3 = 0,15$ .

Определим весовые коэффициенты частных критериев эффективности:  $g_1 = 0,7$ ,  $g_2 = 0,2$ ,  $g_3 = 0,1$ ,  $g_4 = 0,3$ . Составим математическую модель задачи оптимизации поставок.

Система ограничений имеет следующий вид: при среднем числе рабочих дней в месяц 21,8  $V_{\min} = 21,8 \times 120 = 2616$ ,  $V_{\max} = 21,8 \times 300 = 6540$ , откуда  $2616 \leq SV \leq 6540$ ,  $SV = \sum_{p=1}^n X_p$ .

Таблица 5. Характеристики поставщиков металла

№ п/п	Поставщик	Стоимость с НДС за 1 т, тыс. руб.	Железнодорожный тариф за вагон, тыс. руб.	Ограничение объема поставок, т/мес.	Условия поставки	Показатель качества
1	Саткинский металлургический завод	2800	200	300	Оплата по факту поставки	0,86
2	Челябинский металлургический комбинат	2770	220	Без ограничений	Предоплата	0,87
3	«Свободный сокол» (г. Липецк)	2976	124	Без ограничений	Оплата по факту поставки	0,89
4	Новотроицкий металлургический комбинат (Оренбургская область)	2880	237	1200	Отсрочка платежа	0,8
5	Нижнетагильский металлургический комбинат	3120	249	Без ограничений	Оплата по факту поставки	0,9
6	Екатеринбургский металлургический комбинат	3250	199	Без ограничений	Отсрочка платежа	0,92
7	Магнитогорский металлургический комбинат	3780	234	360	Отсрочка платежа	0,97
8	Пашийский металлургическо-цементный завод (Пермская область)	2700	253	300	Предоплата	0,87
9	Тулачермет	3060	130	Без ограничений	Отсрочка платежа	0,93
10	Московский металлургический комбинат	3200	125	Без ограничений	Оплата по факту поставки	0,96

$$\begin{cases}
 X_1 \leq 300; \\
 X_4 \leq 1200; \\
 X_7 \leq 360; \\
 X_8 \leq 300; \\
 (X_4 + X_6 + X_7 + X_9) / SV \geq 0,5; \\
 (X_1 + X_3 + X_5 + X_{10}) / SV \geq 0,35; \\
 (X_2 + X_8) / SV \geq 0,15; \\
 0 \leq X_p.
 \end{cases} \quad (23)$$

Таким образом, требуется определить значения  $X_p$ , соответствующие системе ограничений (23) и максимизирующие суммарный критерий эффективности:  $W = 0,7K_1 + 0,2K_2 + 0,1K_3 - 0,3K_4 \rightarrow \max$ . Найдем:

$$\begin{aligned}
 C_{\min} &= \min_p (Z_p + D_p^{mp}) = \min(2,8 + \frac{200}{60}, \\
 &2,77 + \frac{220}{60}, 2,976 + \frac{124}{60}, 2,88 + \frac{237}{60}, \\
 &3,12 + \frac{249}{60}, 3,25 + \frac{199}{60}, 3,78 + \frac{234}{60}, \\
 &2,7 + \frac{253}{60}, 3,06 + \frac{130}{60}, 3,2 + \frac{125}{60} = \\
 &= \min(6,13; 6,44; 5,04; 6,83; \\
 &7,27; 6,57; 7,68; 6,92; 5,23; 5,28) = 5,04
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 5,04 \times SV / (6,13X_1 + 6,44X_2 + 5,04X_3 + \\
 &+ 6,83X_4 + 7,27X_5 + 6,57X_6 + 7,68X_7 + \\
 &+ 6,92X_8 + 5,23X_9 + 5,28X_{10});
 \end{aligned}$$

$$K_2 = (1 \times (X_4 + X_6 + X_7 + X_9) + 0,5 \times (X_1 + X_3 + X_5 + X_{10}) + 0,2 \times (X_2 + X_8)) / SV;$$

$$K_3 = (0,86X_1 + 0,87X_2 + 0,89X_3 + 0,8X_4 + 0,9X_5 + 0,92X_6 + 0,97X_7 + 0,87X_8 + 0,93X_9 + 0,96X_{10}) / SV;$$

$$K_4 = |SV - 4200|.$$

Решение задачи с использованием Microsoft Excel (надстройка «Поиск решения») дало следующий результат:  $X_1 = 56, X_2 = 0, X_3 = 176, X_4 = 56, X_5 = 0, X_6 = 116, X_7 = 0, X_8 = 0, X_9 = 3561, X_{10} = 236, W = 0,948$ .

Если выбрать другие весовые коэффициенты свертки критериев, то результат решения изменится. Так, например, если установить  $g_1 = 0,8$  (что соответствует большей значимости стоимостного критерия),  $g_2 = g_3 = 0,1, g_4 = 0,3$ , получим следующие оптимальные объемы закупок:  $X_1 = 121, X_2 = 2, X_3 = 168, X_4 = 2, X_5 = 0, X_6 = 98, X_7 = 0, X_8 = 0, X_9 = 3589, X_{10} = 220$ . Если не требовать точного соблюдения поставок заданным объемам (т.е. убрать критерий  $K_4$ ), то результат составит  $X_9 = 3584$  (остальные равны нулю), т.е. поставки должны идти от поставщика с отсрочкой платежа и по самой низкой цене.

На практике зачастую требуется поставлять продукцию полными вагонами (требование поставщика услуг железнодорожных перевозок). Введем дополнительное ограничение: все переменные должны быть кратны 60. Результат:  $X_1 = 60, X_3 = 180, X_4 = 60, X_6 = 120, X_9 = 3540, X_{10} = 240$ , остальные 0; значения частных критериев  $K_1 = 0,95, K_2 = 0,94, K_3 = 0,93, K_4 = 0, W = 0,947$ . Поскольку оптимальные значения частных критериев  $K_1 = K_2 = K_3 = 1, K_4 = 0$ , мы получили решение, близкое к идеальному.

### 3.5. Многопродуктовая динамическая математическая модель деятельности генерального поставщика

Рассмотрим транспортную задачу по определению оптимального плана поставок нескольких продуктов. Дано:

$PP_T^R$  — плановые объемы поставок по всей номенклатуре ресурсов  $R$  в период  $T$ ;

$L_T^{GR}$  — лимиты финансирования в период  $T$  по группам ресурсов (группа может состоять из одного ресурса).

Возможности приобретения продукта у субпоставщика  $p$ :

$W_{pT}^R$  — объемы возможных закупок с доставкой в период  $T$ ;

$Z_p^R$  — закупочные цены;

$D_p^R$  — стоимость доставки единицы ресурса  $R$ ;

$PZ_p^R(t)$  — вероятность задержки на  $t$  дней;

$SS^R(t)$  — штрафные санкции за срыв поставок на  $t$  дней.

Необходимо осуществить оптимизацию управления процессом поставок и закупок с соблюдением плана поставок и минимизацией затрат и штрафных санкций. Таким образом, нужно найти  $X_T^R$  — объемы и сроки поставок всех материальных ресурсов,  $X_{Tp}^R$  — объемы и сроки закупок у субпоставщиков  $p$  с доставкой в период  $T$ , удовлетворяющие следующим условиям:

$$X_T^R = \sum_{\forall p} X_{Tp}^R, \quad (24)$$

$$X_{Tp}^R \leq W_{pT}^R, \quad (25)$$

$$\sum_{\forall p} \sum_{\forall R \in GR} X_{Tp}^R (Z_p^R + D_p^R) \leq L_T^{GR}. \quad (26)$$

Обеспечение плановых объемов поставок рассчитывается так:

$$\forall S \sum_{T=1}^{S+\delta_R} X_T^R \geq \sum_{\tau=1}^S PP_{\tau}^R, \quad (27)$$

где  $\delta_R$  — максимально допустимый срок срыва поставок ресурса  $R$ .

Целевая функция — суммарные издержки на закупку и транспортировку ресурсов:

$$\sum_{T=1}^{T_{\text{доп}}} \sum_{\forall p} \sum_{\forall R} X_{Tp}^R \left( Z_p^R + D_p^R + \sum_{t=1}^{\delta} PZ_p^R(t) \times SS^R(t) \right) \rightarrow \min, \quad (28)$$

где  $T_{дир}$  — директивный период завершения проекта.

Полученные в результате решения объемы  $X_{tp}^R$  необходимы для заключения контрактов на закупки с соблюдением интересов клиента и поставщика.

### 3.6. Математическая модель многопродуктовой динамической задачи оптимизации поставок с учетом приоритетности поставщиков

В данной модели объединены некоторые идеи моделей 3.4 и 3.5. Дано:

$V_{Rmin}^t, V_{Rmax}^t$  — минимально и максимально необходимые объемы поставок  $R$ -го ресурса в  $t$ -й период;

$\delta_{ран}^t, \delta_{поз}^t$  — допустимые отклонения от требуемых сроков поставок (раньше, позже);

$C_{Rp}^t$  — стоимость единицы поставляемого ресурса  $R$  от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$A_p$  — приоритеты поставщиков (рассчитываются по формуле (6) или по методу, изложенному в разделе 3.3);

$B_{Rpmin}^t, B_{Rpmax}^t$  — минимально и максимально возможные объемы поставок  $R$ -го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период;

$S_R^{tcp}$  — потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых сроков поставок  $R$ -го ресурса в  $t$ -й период;

$S_R^{top}$  — потери, связанные с единичными отклонениями от требуемых объемов поставок  $R$ -го ресурса в  $t$ -й период;

$V_R$  — общая потребность проекта в ресурсе  $R$ .

Необходимо найти  $X_{tp}^R$  — объемы поставок  $R$ -го ресурса от поставщика  $p$  в  $t$ -й период, удовлетворяющие следующим условиям:

$$B_{Rpmin}^t \leq X_{tp}^R \leq B_{Rpmax}^t, \quad (29)$$

$$\sum_{\forall p} X_{tp}^R \in \Omega V_R^t, \quad (30)$$

где  $\Omega V_R^t$  — множество допустимых по объему и времени поставок (при необходимом объеме поставок  $R$ -го ресурса в  $t$ -й период  $V_R^t$  допустимы

отклонения по объему от  $V_{Rmin}^t$  до  $V_{Rmax}^t$  и по времени  $t - \delta_{ран} \leq \tau \leq t + \delta_{поз}$ ).

$$\sum_{\forall p, t} X_{tp}^R = V_R. \quad (31)$$

Критерии оптимизации:

$$F_1 = \sum_{\forall t/p, R} A_p C_{Rp}^t X_{tp}^R \rightarrow \min, \quad (32)$$

$$F_2 = \sum_{\forall t, R} \left( \sum_{\forall p} X_{tp}^R - V_R^t \left| S_R^{top} + |t - \tau| S_R^{tcp} \right. \right) \rightarrow \min. \quad (33)$$

## ВЫВОДЫ

Предложенные модели решают задачи математического программирования с линейными и нелинейными ограничениями и целевыми функциями. В настоящее время для этого существует широкий спектр программных средств, достаточно указать входящий в Excel пакет Solver («Поиск решения»). Для построения регрессионной модели и численной оценки коэффициентов регрессии в разделе 3.1 можно использовать функцию «Регрессия» пакета «Анализ данных», входящего в состав Excel, или модули пакета Statistica «Множественная регрессия» и «Нелинейное оценивание».

Представленные в статье математические модели с использованием разработанных критериев многокритериальной оценки поставщиков являются эффективным инструментом решения проблемы выбора поставщика, позволяя в изменяющихся условиях рынка при помощи компьютера не только оперативно выявлять наиболее выгодных поставщиков, но и одновременно определять оптимальные объемы закупок продукции у каждого из них. Внедрение в практику формализованных процедур управления поставками на базе описанных в предлагаемой статье математических моделей должно способствовать снижению «коррупционной составляющей». Рассмотренные в статье виды постановки задач для генпоставщика могут служить методологической основой разработки прикладных пакетов



программного обеспечения (автоматизированной системы) для решения описанных в работе задач

взаимодействия с поставщиком при управлении проектом на всех стадиях его осуществления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бажин И.И., Барина Н.М., Сысоев В.В. Антикоррупционные механизмы выбора поставщика в управлении ресурсным обеспечением // Руководитель бюджетной организации. — 2011. — №8.
2. Бажин И.И., Барина Н.М., Сысоев В.В. Управление процессом закупок методом многокритериальной оценки выбора поставщика // Проблемы теории и практики управления. — 2006. — №8.
3. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Математические модели проектного управления для заинтересованных сторон // Управление проектами и программами.— 2012. — №4.
4. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Математические модели проектного управления для заказчика // Управление проектами и программами.— 2013. — №1.
5. Воропаев В.И., Гельруд Я.Д. Обобщенные стохастические сетевые модели для управления комплексными проектами // Управление проектами и программами. — 2008. — №1–2.
6. Гельруд Я.Д. Математика для экономистов. — Челябинск: ЮУрГУ, 2005.
7. Лотов А.В., Поспелова И.И. Теория и методы многокритериальной оптимизации. — М.: Издательство ВМиК МГУ, 2006.
8. Управление отношениями с поставщиками. — [http://www.plm.automation.siemens.com/ru\\_ru/products/teamcenter/supplier-relationship-management-srm](http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/products/teamcenter/supplier-relationship-management-srm).
9. Управление проектами: основы профессиональных знаний. Национальные требования к компетентности специалистов по управлению проектами. Версия 3.0. / Под науч. ред. В.И. Воропаева. — М.: Проектная Практика, 2010.
10. *Critical Values of Spearman's Rank Correlation Coefficient*. — [http://psystat.at.ua/Articles/Table\\_Spearman.pdf](http://psystat.at.ua/Articles/Table_Spearman.pdf).
11. *Pearson's Correlation Coefficient r (Critical Values)*. — [http://psystat.at.ua/Articles/Table\\_Pearson.PDF](http://psystat.at.ua/Articles/Table_Pearson.PDF).