



ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

- УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ
- УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ
- МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ
- НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выпуск № 4(25), 2021

**ФГБОУ ВО
«ВОРОНЕЖСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

***ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ***

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

- **УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ**
- **УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**
- **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**
- **НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ**

Выпуск № 4 (25), 2021

ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Научный журнал

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 77346 от 05.12.2019)

Журнал выходит 4 раза в год

Редакционная коллегия:

Главный редактор – д-р техн. наук, профессор С.А. Баркалов.
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, профессор В.Н. Бурков.
Зам. главного редактора – д-р техн. наук, профессор П.Н. Курочка.
Ответственный секретарь – канд. техн. наук О.С. Перевалова.

Члены редколлегии:

Т.В. Азарнова – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГУ);
Ю.В. Бондаренко – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГУ);
В.Л. Бурковский – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГТУ);
Т.В. Киселева – д-р техн. наук, проф. (Новокузнецк, СибГИУ);
О.Я. Кравец – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГТУ);
О.В. Логиновский – д-р техн. наук, проф. (Челябинск, ЮУрГУ);
В.Я. Мищенко – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГТУ);
Д.А. Новиков – д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН (Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН);
Г.А. Угольницкий – д-р физ.-мат. наук, проф. (Ростов-на-Дону, ЮФУ);
А.К. Погодаев – д-р техн. наук, проф. (Липецк, ЛГТУ);
С.Л. Подвальный – д-р техн. наук, проф. (Воронеж, ВГТУ);
А.В. Щепкин – д-р техн. наук, проф. (Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН);
Н.А. Шульженко – д-р техн. наук, проф. (Тула, ТГУ).

Материалы публикуются в авторской редакции, за достоверность сведений, изложенных в публикациях, ответственность несут авторы.



Адрес учредителя и издателя:

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

Адрес редакции:

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ком. 4505

тел.: +7(473)276-40-07

e-mail: upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru, nilga.os_vrn@mail.ru

Сайт журнала: uprstroit.ru



© ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2021

ПИСЬМО ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели и авторы!

Вы держите в своих руках четвертый номер научного журнала «Проектное управление в строительстве» 2021 года. Его открывает статья, посвященная рассмотрению особенностей обеспечения качества в сложных системах, где для примера рассматривается строительная отрасль. В статье рассмотрены основные группы показателей качества строительства и такие методы их оценки, как экспертный, дифференциальный, комплексный, смешанный и один из альтернативных методов. Проблемы строительной отрасли также рассмотрены в разделе «Научных работ студентов и магистров». В одной из работ внимание сосредоточено на поиске решения экологических проблем, связанных с деятельностью организаций строительной отрасли.

Большинство работ журнала затрагивает различные вопросы управления социально-экономическими системами различного масштаба. Здесь стоит отметить комплекс работ, представленных в разделе «Математические основы управления социально-экономическими системами», посвященных разработке методов управления в сложных системах на основе теории латентных переменных.

Следующим направлением исследований, результаты которых представлены в данном номере журнала, является цифровизация и цифровая трансформация. В одной из работ приведены результаты разработки информационного обеспечения оценки человеческого капитала в условиях цифровой трансформации. Где исследование человеческого капитала происходит на разных уровнях (государство, регион, предприятие), поэтому решение поставленной задачи предлагается осуществлять на основе создания и визуализации баз данных, содержащих статистическую информацию и обработанные результаты опросов респондентов. Для визуализации статистических данных разработан программный продукт, основанный на ГИС-технологиях. При формировании базы данных результатов опросов населения предлагается применять методы машинного обучения, позволяющие выявить взаимосвязи между факторами и осуществить предиктивную аналитику. Стоит отметить, что данное исследование подготовлено при финансовой поддержке РФФИ.

В заключение от лица редакционной коллегии научного журнала «Проектное управление в строительстве» хотим выразить благодарность всем авторам, сотрудничающим с нашим научным журналом, и поздравить всех наших читателей с наступающим 2022 годом и пожелать крепкого здоровья и успехов в работе и учебе!

С уважением, главный редактор журнала

С.А. Баркалов

заместитель главного редактора журнала

П.Н. Курочка

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

В.Е. Белоусов, Н.Ю. Калинина, О.С. Перевалова ИНСТРУМЕНТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕРЕВА СВОЙСТВ.....	5
---	---

Л. В. Россихина ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПРОЕКТА КОМАНДАМИ СПЕЦИАЛИСТОВ.....	13
---	----

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В.Е. Белоусов, Т.А. Аверина, Д.В. Дорофеев МЕХАНИЗМЫ ПАРНОГО СРАВНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ.....	20
---	----

Ю.В. Бондаренко, О.В. Бондаренко РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РЕГИОНА НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	30
---	----

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.А. Тимофеева МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ.....	37
--	----

С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.А. Тимофеева МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.....	50
---	----

В.Л. Порядина, Т.Г. Лихачева МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТИНГЕНТА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ.....	58
--	----

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

Е.А. Авдеева, В.Е. Сычёва ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ В ПОЛЬЗУ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ.....	64
--	----

Е.В. Баутина, Ю.А. Стукальская, Л.М. Бочарникова ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	70
--	----

УПРАВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

УДК 659-014

ИНСТРУМЕНТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕРЕВА СВОЙСТВ

В.Е. Белоусов, Н.Ю. Калинина, О.С. Перевалова

Белоусов Вадим Евгеньевич, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, заведующий кафедрой кибернетики в системах организационного управления,

Россия, г. Воронеж, e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-473-276-40-077

Калинина Наталия Юрьевна, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры управления

Россия, г. Воронеж, e-mail: kalinina@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-960-134-55-53

Перевалова Ольга Сергеевна, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры управления

Россия, г. Воронеж, e-mail: nilga.os_vrn@mail.ru, тел.: +7-910-284-74-17

Аннотация. В статье рассматриваются особенности обеспечения качества в сложных системах на примере строительства путем сравнения с машиностроительной отраслью, а также основные группы показателей качества строительства и такие методы их оценки, как экспертный, дифференциальный, комплексный, смешанный и один из альтернативных методов. Предложен инструмент «дерево свойств» для управления качеством строительства на примере здания общеобразовательной школы, расположенной в г. Воронеже, а также проведен сравнительный анализ применения «дерева свойств» и BIM-технологий.

Ключевые слова: качество строительства, оценка качества, дерево свойств, BIM-технологии.

Введение

В настоящее время проблема качества остается актуальной во всех отраслях деятельности. Однако рассматриваемая проблема в строительной отрасли стоит особо остро, ведь по сравнению с машиностроением в строительстве достижение требуемого уровня качества зависит от множества случайных факторов (например, непосредственно на строительной площадке в первую очередь от погодных условий), а также осложняется временным фактором. В рассматриваемой отрасли проблема качества первоначально связана с неизменным сохранением вероятности потери качества в процессе реализации инвестиционно-строительных проектов.

Оценка качества готового здания или сооружения является сложным и трудоемким процессом в связи с тем, что необходимо определить, измерить и оценить большое количество показателей качества. В качестве инструмента определения параметров оценки готового строительного объекта часто применяется «дерево свойств». «Дерево свойств»

представляет собой графическое представление о декомпозиции сложного свойства "качества" на простой отдельный набор свойств, выполненный в менее сложную группу в последовательном многоуровневом представлении подраздела каждого более сложного свойства [1].

Особенности обеспечения качества в строительстве

По причине того, что сейчас строительная отрасль активно развивается, требуется обеспечивать процесс управления качеством на всех стадиях реализации проектов:

- 1) предпроектная стадия;
- 2) стадия разработки и утверждения проектной документации;
- 3) стадия строительства;
- 4) стадия ввода в эксплуатацию.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9000 под качеством необходимо понимать «степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям» [1]. Таким образом, качество строительства следует рассматривать как соответствие готового строительного объекта проектным решениям. Качество строительства является гарантией долговечности и эксплуатационной надежности зданий и сооружений во время использования, экологической чистоты, безопасности и экономической эффективности [2].

В схеме управления качеством промежуточным этапом между планированием и контролем является процесс управления.

Обеспечение качества означает регулярную проверку прогресса проекта для удовлетворения ранее определенных требований к качеству [3]. Фактически, он включает в себя обеспечение качества:

- запланированные и незапланированные элементы управления и элементы управления;
- контроль и тестирование деятельности;
- контроль и определение оценки качества и тестового случая.

Это контрольный и тестовый пример, который является основой формирования системы для повышения качества. Стоит отметить, что в сравнении с машиностроительной отраслью, где внедрение улучшений осуществляется сразу в процессе производства, в строительстве улучшения возможны только по отношению к следующим объектам строительства, так как качество оцениваемого объекта уже сформировано. Однако нынешняя система менеджмента качества большинства строительных организаций направлена лишь на исправление брака, а не на его предупреждение.

Одним из этапов в обеспечении качества является оценка уровня качества. Оценка уровня качества характеризуется сравнением имеющихся показателей качества объекта с базовыми значениями. Главным свойством оценки уровня качества является ее объективность, то есть непредвзятость и независимость.

Перед началом оценивания объекта формируется оценочная система показателей, обуславливающих ее качество. В области управления качеством строительства принято проводить оценку следующих групп показателей, характеризующих качество [4].

Показатели технического назначения.

Показатели надежности, а именно:

- надежность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость;
- долговечность.

Показатели экономного использования ресурсов.

Эргономические показатели, а именно:

- антропометрические показатели;
- физиологические показатели;
- гигиенические показатели.

Эстетические показатели.

Экологические показатели.

Показатели безопасности.

Выделенные группы свойств условно можно разделить на качественные и количественные показатели. Качественные показатели формулируют качество путем словестного описания, а количественные – конкретных числовых значений. В отличие от количественных показателей качественные формируются за счет мнения участников проведения оценки, что делает их субъективными.

В связи с тем, что на сегодняшний день нет единой методики оценки качества строительства, после формирования оценочной системы показателей качества объекта строительства необходимо определить методы оценки исходя из выбранных показателей качества.

Как уже отмечалось ранее, результат проведения оценки качественных показателей формируется за счет мнения участников проведения оценки, такой метод называется экспертным.

Рассмотрим три основных применяемых метода количественной оценки показателей качества.

1. Дифференциальный метод заключается в сопоставлении значений качества объекта с базовыми. Относительные величины q_i , которые используются для оценивания качества, рассчитываются по формулам:

$$q_i = \frac{X_i}{X_{i\sigma}} \quad \text{или} \quad q_i = \frac{X_{i\sigma}}{X_i},$$

где X_i – значение показателя качества объекта; $X_{i\sigma}$ – значение базового показателя.

Выбор формулы расчета относительной оценки зависит от вектора индикатора, то есть, когда качество увеличивается, абсолютный показатель качества увеличивается, относительная оценка рассчитывается по первой формуле и наоборот, когда качество увеличивается, абсолютный показатель качества уменьшается, относительная оценка рассчитывается по второй формуле.

2. Комплексный метод используется для получения одного обобщенного показателя качества объекта. Обобщенный показатель может быть выражен как: главный показатель, интегральный показатель, средневзвешенный показатель.

Основной метод индикации основан на том, что качество строительства характеризует показатель.

Интегральный метод индикации используется в тех случаях, когда определяется общий благотворный эффект работы объекта и общая стоимость его создания и эксплуатации. Интегральный показатель I определяется формулой:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{Z_c + Z_o},$$

здесь $\mathcal{E}$ – это общее полезное годовое воздействие операционного объекта; Z_c – это общая капитальная (разовая) стоимость создания объекта; Z_o – это общая сумма операционных (текущих) затрат.

Метод средневзвешенного показателя применяется в случаях, когда нет возможности для нахождения главного показателя, а также определения его зависимости от исходных показателей качества объекта. Существует несколько вариантов средневзвешенных показателей Q , используемых для оценки качества строительства:

1) арифметический, который рассчитывается по формуле:

$$Q = \sum_{i=1}^n m_i \cdot q_i$$

2) геометрический, который рассчитывается по формуле:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i$$

3) гармонический, который рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n \frac{m_i}{q_i}},$$

где m_i – коэффициент весомости показателя качества; q_i – единичный относительный показатель качества.

3. Смешанный метод заключается в одновременном применении единичных и комплексных показателей качества.

Одним из альтернативных методов количественной оценки является следующий:

$$L_k^0 = \sqrt[4]{L_k^m \cdot L_k^3 \cdot L_k^n \cdot L_k^9},$$

где L_k^0 – комплексный индикатор качества; L_k^m – сводный индикатор структурных и технических качеств; L_k^3 – сводный индикатор производственных и эксплуатационных расходов; L_k^n – сводный индикатор выполняемых рабочих функций; L_k^9 – сводный индикатор потребительских качеств [5].

Рассматриваемый этап количественной оценки качества объектов строительства достаточно сложен для практического применения по причине того, что возникают определенные трудности, а именно: на строительной площадке затруднительно определить значение некоторых показателей с применением имеющихся технических средств. Представленные выше методы количественной оценки находят большее практическое применение в машиностроительной отрасли, где возможно осуществление точных измерений выбранных показателей качества.

Технологии контроля качества непрерывно совершенствуются, что в дальнейшем положительно повлияет на оценку качества объектов строительства.

Затем осуществляется определение значений показателей качества в соответствии с выбранным методом, в результате полученной информации непосредственно формируется оценка уровня качества строительства.

Управление качеством на основе метода "дерева свойств"

Правильная конструкция "дерева свойств" зависит от качества оценки результата исследуемого объекта. Таким образом, создание "дерева свойств" должно основываться на следующих общих правилах:

- 1) потребность и исчерпывающий характер классов показателей;
- 2) декомпозиция до простейшего уровня свойств показателей;

- 3) независимость в соответствии с предпочтениями функций в группе;
- 4) расположение показателей в классе на основе случайной функции;
- 5) полнота учета особенностей объекта исследования;
- 6) жесткость структуры начальных уровней;
- 7) деление по равному основанию;
- 8) функциональная направленность формулировок свойств [2].

В качестве объекта исследования выбрана общеобразовательная школа, расположенная в г. Воронеже по адресу жилой массив Олимпийский, 14. Для данного строительного объекта были определены показатели качества, по которым в дальнейшем будет производится оценка, и на их основании построено «дерево свойств», состоящее из пяти уровней (нулевой, первый, второй, третий, четвертый).

Форма «дерева свойств» выбирается в соответствии с предпочтением составителя, в данном случае была выбрана графовая правосторонняя, которая обеспечивает наглядность представления и удобное построение.

Для упрощения представления построенное «дерево свойств» здания общеобразовательной школы было разделено на начальные уровни (рис. 1), поддерево А (рис. 2) и поддерево В (рис. 3).

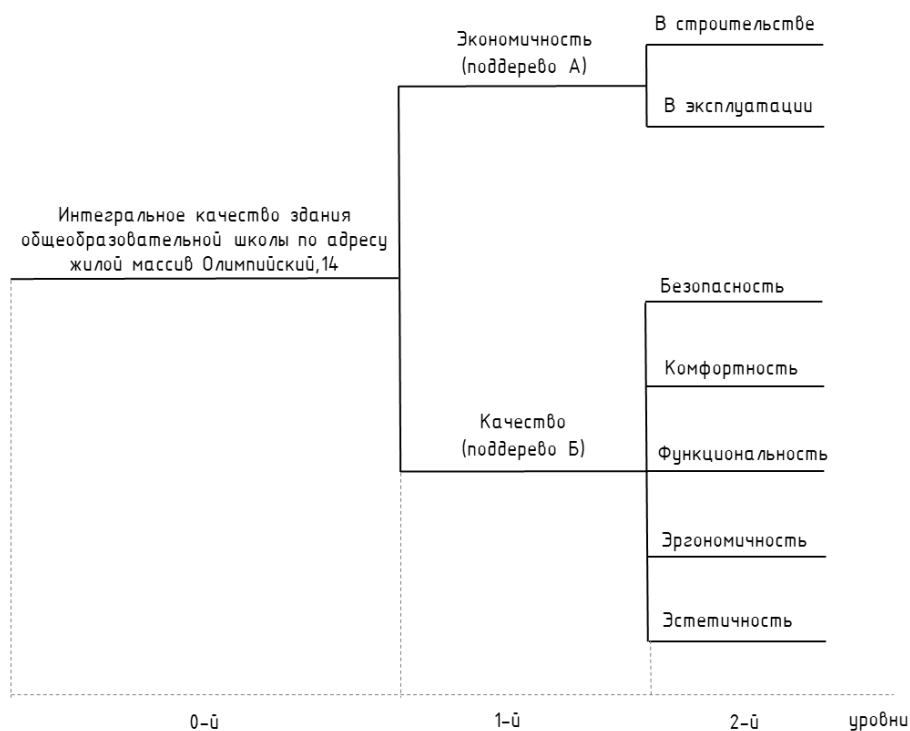


Рис. 1. Начальные уровни «дерева свойств»

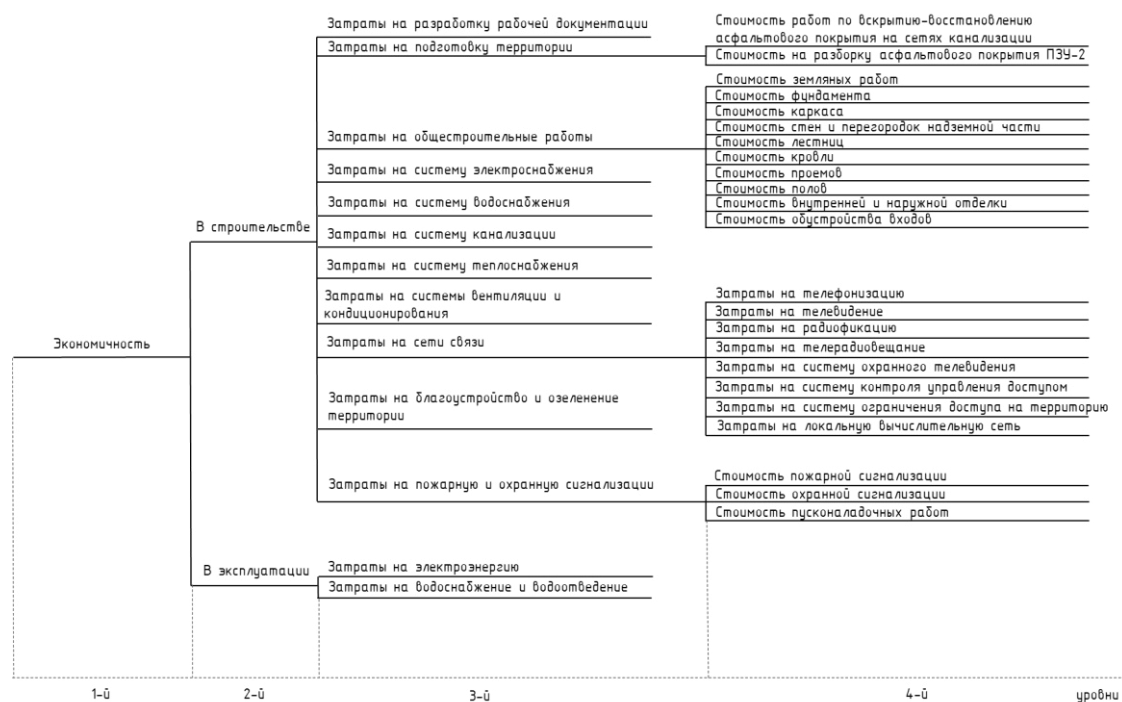


Рис. 2. Поддерево А

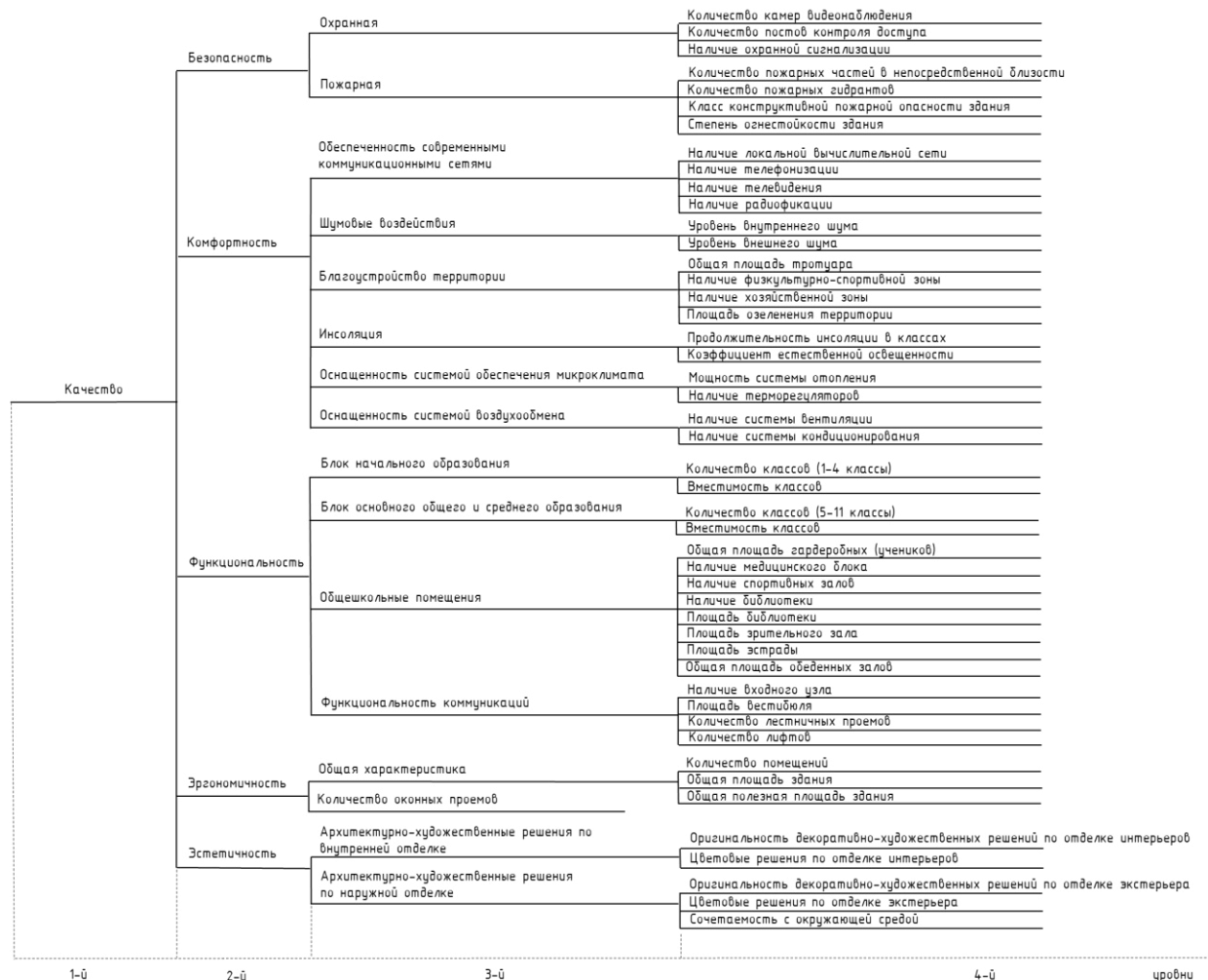


Рис. 3. Поддерево Б

После завершения построения «дерева свойств» осуществляется этап нахождения абсолютных и нормируемых коэффициентов весомости показателей качества, а также балльных оценок соответствующих показателей.

По причине того, что «дерево свойств» может содержать не только количественные, но и качественные показатели, абсолютные коэффициенты весомости целесообразно определять экспертным методом. Экспертный метод заключается в привлечении экспертной группы для проведения оценивания. В рамках данного метода возможны следующие виды опроса экспертов: анкетирование, интервьюирование, метод Дельфи, мозговой штурм, дискуссия. Наиболее используемым является метод Дельфи, включающий в себя обработку и отчетность результатов каждого анонимного опроса независимых экспертов.

Нормируемые коэффициенты весомости показателей качества определяются путем деления абсолютного коэффициента весомости показателей в группе на их сумму.

Для получения балльных оценок также применяется уже рассмотренный экспертный метод.

Затем производится расчет комплексной оценки исследуемого объекта на основании полученных нормируемых коэффициентов весомостей и балльных оценок. Таким образом, комплексная оценка характеризует образующую качество строительства совокупность свойств.

В настоящее время в каждую область строительной отрасли инновационными предприятиями внедряются BIM-технологии (технологии информационного моделирования зданий и сооружений). Управление качеством не стало исключением. Так уже сейчас для оценки качества готовых строительных объектов некоторые организации применяют BIM-технологии, поскольку экономический эффект от их внедрения позволяет обеспечить: сокращение затрат на обеспечение качества объектов на 10-20%; сокращение сроков строительства на 20-50% и др. [5].

Заключение

В рамках оценки качества строительства BIM-технологии позволяют сравнить планируемые на этапе моделирования показатели с имеющимися в результате строительно-монтажных работ, на основании полученных данных формируется вывод о качестве исследуемого объекта.

Однако оценка качества с применением BIM-технологий позволяет оценить преимущественно количественные показатели, выявленные в результате сканирования готового строительного объекта, что является существенным недостатком. "Дерево свойств", оценивающее качество исследуемого объекта, позволяет оценить, как измеряемые инструментально, так и экспертные (весовые) показатели.

Таким образом, инструмент «дерево свойств», несмотря на трудоемкость, остается актуальным на данный момент в рамках применения для оценки качества строительства.

Библиографический список

1. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. - 245 с.
2. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981.
3. С. А. Баркалов, В. Е. Белоусов, Н. Ю. Калинина, Т. В. Насонова. М. А. Фомина, А. В. Лексахов. Моделирование системы оценки компетенций в управлении профессорско-преподавательским составом вуза. XXI Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2018). Сборник докладов в 2-х томах. Санкт-Петербург. 23–25 мая 2018 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», SCM 2018 23-25 мая 2018 г. Т1. - С. 355 – 358.

4. В.Е. Белоусов. Алгоритмы получения упорядоченных правил предпочтения в задачах принятия решений при планировании производственных программ [Текст] / В.Е. Белоусов, К.И. Нижегородов, Соха И.С. // Научный журнал «Управление строительством» Изд-во ВГТУ, Воронеж, 2019. - №1 (14). - С.105-111.

5. В.Е. Белоусов. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования строительных предприятий. [Текст] / В.Е. Белоусов, С.А. Баркалов, К.А. Нижегородов // Материалы XVI-ой Всероссийской школа-конференция молодых ученых «Управление большими системами» Тамбов (11-13.09.2019), Изд-во ТГТУ, г. Тамбов, 2019. – Т.1. - С.98-101.

TOOLS QUALITY ASSURANCE IN COMPLEX SYSTEMS WITH USE OF THE TREE OF PROPERTIES

V.E. Belousov, N.Yu. Kalinina, O.S. Perevalova

Belousov Vadim Evgenyevich, the Voronezh state technical university, Candidate of Technical Sciences, the head of the department of cybernetics in the systems of organizational management, Russia, Voronezh, e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru, ph.: +7-473-276-40-077

Kalinina Natalia Yurievna Voronezh State Technical University, candidate of technical Sciences, associate Professor at the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: kalinina@vgasu.vrn.ru, tel.: +7-960-134-55-53

Perevalova Olga Sergeevna, Voronezh State Technical University, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management Russia, Voronezh, e-mail: nilga.os_vrn@mail.ru, tel.: +7-950-759-18-79

Abstract. In article features of quality assurance in complex systems on the example of construction by comparison with the machine-building industry and also the main groups of figures of merit of construction and such methods of their assessment as are considered: expert, differential, complex, mixed and one of alternative methods. The "tree of properties" tool for quality management of construction on the example of the building of the comprehensive school located in Voronezh is offered and also contrastive analysis of application of "a tree of properties" and BIM technologies is carried out.

Keywords: quality of construction; quality assessment; tree of properties, BIM technologies

References

1. Burkov V.N., Danev B., Enaleev A.K., etc. Big systems: modeling of organizational mechanisms. M.: Science, 1989. - 245 pages.

2. Burkov V.N., Kondratyev V.V. Mechanisms of functioning of organizational systems. – M.: Science, 1981.

3. S.A. Barkalov, V.E. Belousov, N.Yu. Kalinina, T.V. Nasonova. M.A. Fomina, A.V. Leksashov. Modeling of system of assessment of competences of management of the faculty of higher education institution. The XXI International conference on soft calculations and measurements (SCM-2018). The collection of reports in 2 volumes. St. Petersburg. On May 23-25, 2018 SPb.: SPBGETU "LETI", SCM'2018 on May 23-25, 2018 T1. - Page 355 – 358.

4. V.E. Belousov. Algorithms of obtaining ordered rules of preference in problems of decision making when planning production programs [Text] / V.E. Belousov, K.I. Nizhegorodov, I.S. Plough//the Scientific VGTU Publishing house magazine "Upravleniye Stroitelstvom", Voronezh, 2019. - No. 1 (14). - Page 105-111.

5. V.E. Belousov. Resource time analysis in problems of scheduling of the construction enterprises. [Text] / V.E. Belousov, S.A. Barkalov, K.A. Nizhegorodov//Materials of XVI All-Russian school conference of young scientists "Management of big systems" Tambov (11-13.09.2019), TGTU Publishing house, Tambov, 2019. – T.1. - Page 98-101.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТ ПРОЕКТА КОМАНДАМИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Л.В. Россихина

*Россихина Лариса Витальевна**, Воронежский институт ФСИИ России, доктор технических наук, профессор,
Россия, г. Воронеж, e-mail: rossihina_lv@mail.ru, тел.: +7-960-110-56-67

Аннотация. В статье рассмотрен частный случай задачи календарного планирования работ команд специалистов разных типов с возможностью привлечения дополнительных специалистов по найму, позволяющих сократить продолжительность выполнения всех работ. Предложен эвристический алгоритм решения задачи, основанный на правиле приоритета выполнения в первую очередь работ с наибольшей продолжительностью.

Ключевые слова: команда, специалист, работа, календарное планирование, продолжительность работ.

ВВЕДЕНИЕ

Формализация задачи календарного планирования работ команд специалистов с учетом минимизации продолжительности выполнения всех работ при ограниченном числе специалистов каждого типа приведена в работе [1].

В статье [2] предложена постановка задачи календарного планирования работ команд специалистов с возможностью передачи части работ на аутсорсинг при этом стоимость работ, передаваемых на аутсорсинг, должна быть минимальной и работы должны быть выполнены за требуемое время. Разработаны эвристические алгоритмы ее решения, основанные на правилах приоритета:

приоритет для передачи на аутсорсинг части работ имеют работы с максимальной стоимостью;

приоритет для передачи на аутсорсинг части работ имеют работы с наибольшей продолжительностью;

приоритет для передачи на аутсорсинг части работ имеют работы с максимальной стоимостью аутсорсинга [3].

Вычислительные эксперименты показали, что лучшие результаты дает первое правило приоритета [4].

В работе [5] представлена постановка задачи формирования календарного плана работ команд специалистов с учетом передачи работ на аутсорсинг целиком для обеспечения выполнения всех работ за требуемое время, при этом стоимость передаваемых работ минимальна. Предложены эвристические алгоритмы решения, основанные на трех правилах приоритета:

приоритет имеют работы, передаваемые целиком, с минимальной стоимостью единицы времени выполнения работ на аутсорсинге;

приоритет для передачи работ на аутсорсинг целиком имеют работы с минимальной продолжительностью;

приоритет для передачи работ на аутсорсинг целиком имеют работы с минимальной стоимостью аутсорсинга [5].

Представляет научный и практический интерес формализация задачи календарного планирования работ проекта командами с возможностью привлечения дополнительного персонала по найму с наименьшей оплатой с целью сокращения продолжительности проекта.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ

Рассмотрим задачу планирования последовательности выполнения n независимых работ проекта командами за время τ_i , $i = \overline{1, n}$. Команда проекта включает персонал m типов, причем количество персонала a_{kj} каждого типа j , $j = \overline{1, m}$ в команде проекта k ограничено величиной N_j .

Если $x_k(t)=1$, то в момент t выполняется работа k , в противном случае $x_k(t)=0$.

Необходимо определить такие $x_k(t)$, $k = \overline{1, n}$, которые сократят до минимума продолжительность выполнения всех работ проекта T при ограничениях (1), (2).

$$\int_0^T x_k(\tau) d\tau = \tau_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

$$\sum_k a_{kj} x_k(t) \leq N_j, \quad t \in [0, T], \quad j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Рассмотрим на примере частный случай задачи календарного планирования работ команд проекта с возможностью привлечения дополнительного персонала по найму с наименьшей оплатой с целью сокращения продолжительности проекта.

Предложим эвристический алгоритм решения задачи, основанный на выполнении в первую очередь наиболее продолжительных работ проекта.

На первом шаге алгоритма работы проекта ранжируются по убыванию их продолжительностей с учетом имеющегося персонала команд проекта, включая специалистов по найму.

На втором шаге алгоритма определяется в момент окончания одной из работ проекта команда проекта и возможная для выполнения работа проекта с учетом персонала команды из не выполненных работ в очередности убывания продолжительностей.

Второй шаг алгоритма выполняется до тех пор, пока все работы проекта не будут выполнены.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пусть имеем четыре работы, выполняемые специалистами, имеющимися в достаточном количестве, и ограниченным числом специалистов трех типов, причем специалистов каждого типа равно 2 (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные

i	специалист 1	специалист 2	специалист 3	τ_i
1	1		1	15
2	1	1		20
3		1	1	30
4	1		1	25
				$\sum = 90$

Работы можно выполнять только последовательно, учитывая их приоритет по продолжительности.

Можно нанять для выполнения работ одного специалиста каждого типа с оплатой $S_1 = 50$, $S_2 = 70$, $S_3 = 40$.

Рассмотрим все варианты найма:

Вариант 1. Нанять специалиста первого типа.

Вариант 2. Нанять специалиста второго типа.

Вариант 3. Нанять специалиста третьего типа.

Вариант 4. Нанять специалистов первого и второго типов.

Вариант 5. Нанять специалистов первого и третьего типов.

Вариант 6. Нанять специалистов второго и третьего типов.

Вариант 7. Нанять трех специалистов разных типов.

Вариант 1 (нанять специалиста первого типа).

Шаг 1. Начать работу 3. Момент завершения работы 3 $t_1 = 30$.

Шаг 2. Начать работы 2 и 4. Момент завершения работы 2 $t_2 = 50$.

Шаг 3. Начать работу 1. Момент завершения работы 4 $t_3 = 55$.

Шаг 4. Завершить работу 1. Момент завершения работы 1 $t_4 = 65$.

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 65$ (рис. 1).

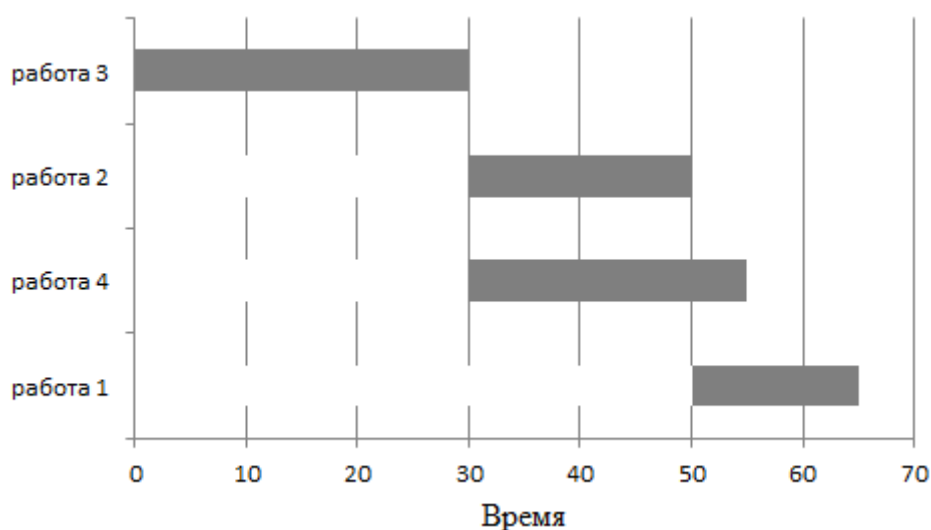


Рис. 1. Диаграмма выполнения работ (вариант 1)

Вариант 2 (нанять специалиста второго типа).

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 55$ (рис. 2).

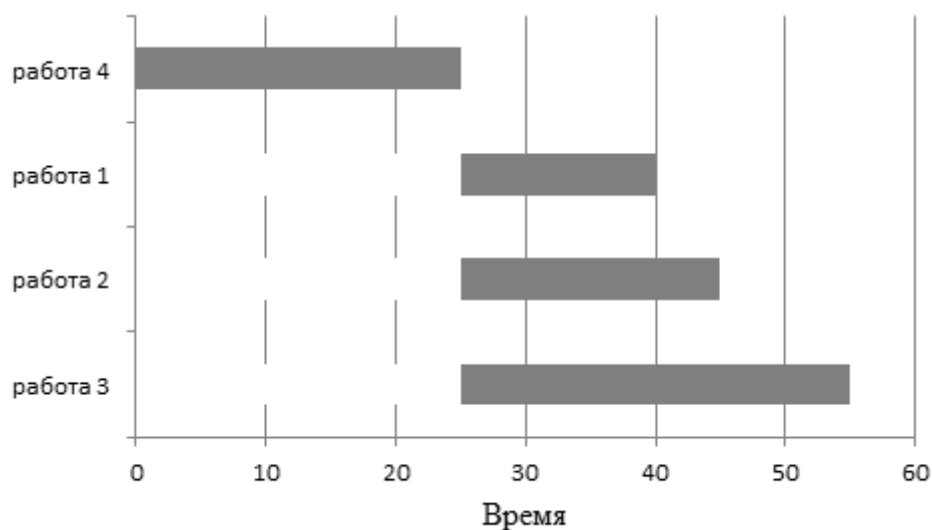


Рис. 2. Диаграмма выполнения работ (вариант 2)

Вариант 3 (нанять специалиста третьего типа).

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 60$ (рис. 3).

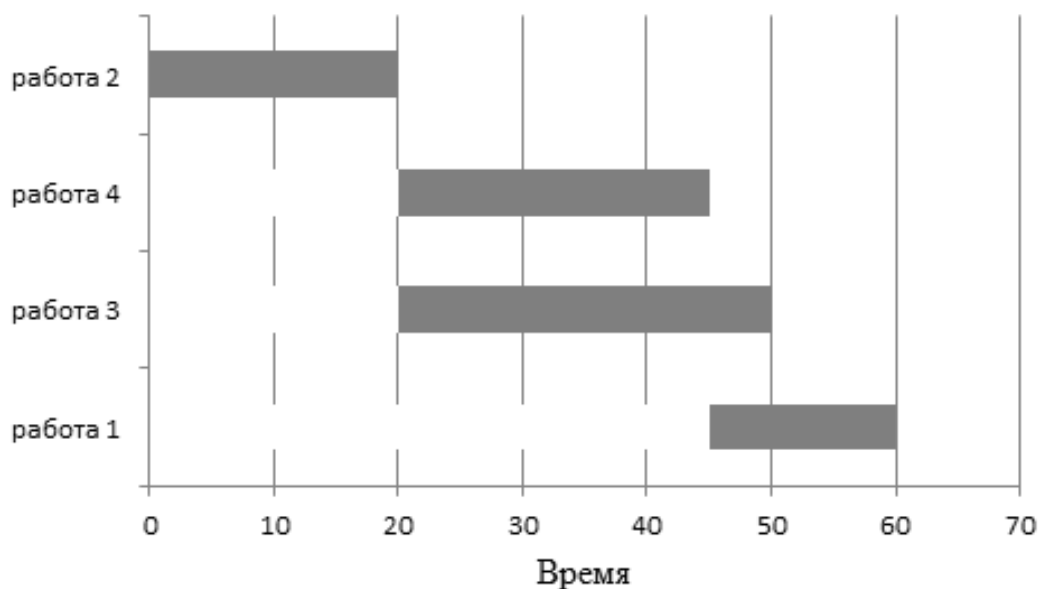


Рис. 3. Диаграмма выполнения работ (вариант 3)

Вариант 4 (нанять специалистов первого и второго типов).

Шаг 1. Начать работы 3 и 4. Момент завершения работы 4 $t_1 = 25$.

Шаг 2. Начать работы 1 и 2. Момент завершения работы 3 $t_2 = 30$.

Шаг 3. Завершить работу 1. Момент завершения работы 1 $t_3 = 40$.

Шаг 4. Завершить работу 2. Момент завершения работы 2 $t_4 = 45$.

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 45$ (рис. 4).

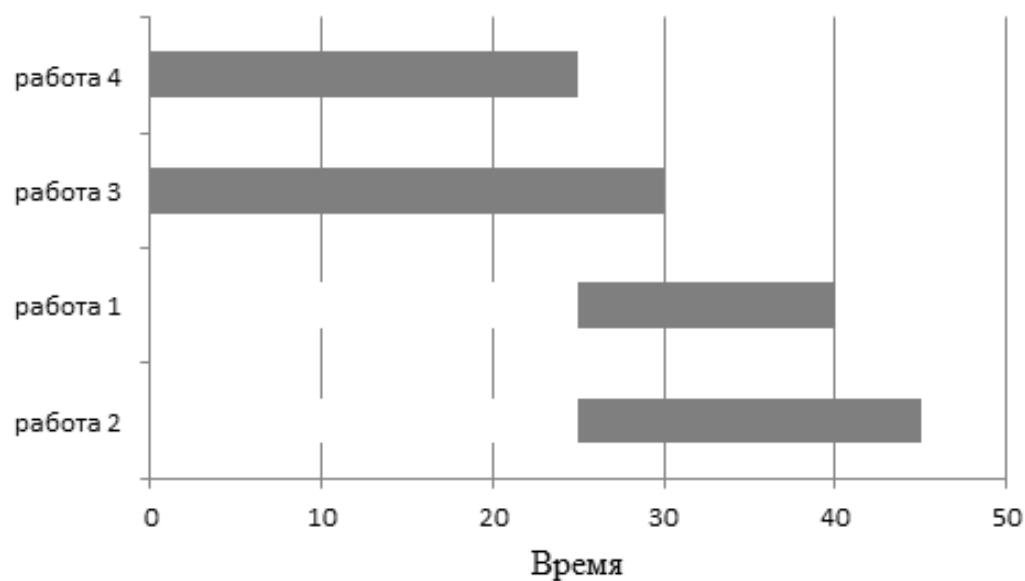


Рис. 4. Диаграмма выполнения работ (вариант 4)

Вариант 5 (нанять специалистов первого и третьего типов).

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 45$ (рис. 5).

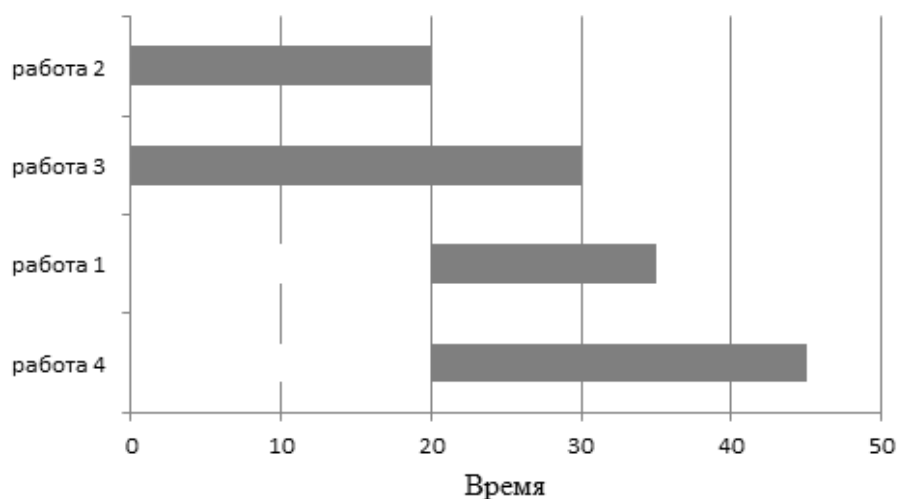


Рис. 5. Диаграмма выполнения работ (вариант 5)

Вариант 6 (нанять специалистов второго и третьего типов).

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 50$ (рис. 6).

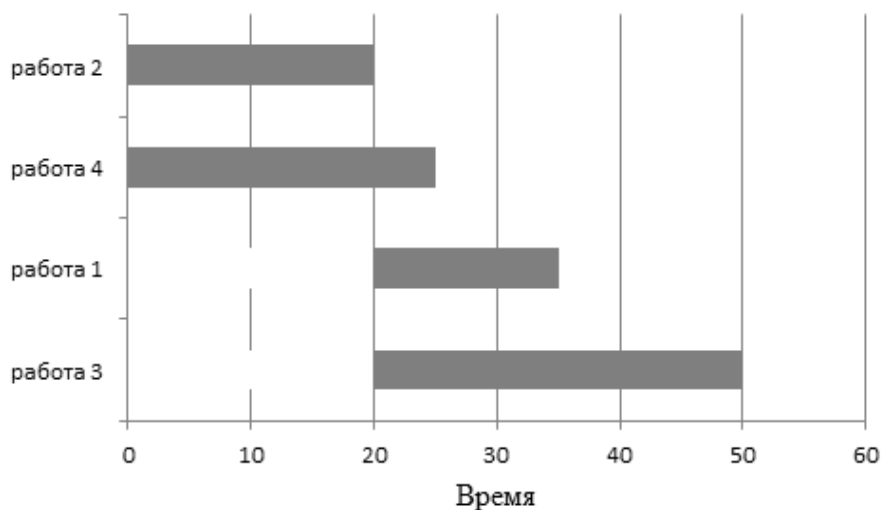


Рис. 6. Диаграмма выполнения работ (вариант 6)

Вариант 7 (нанять трех специалистов разных типов).

Суммарная продолжительность выполнения работ $T = 45$ (рис. 7).

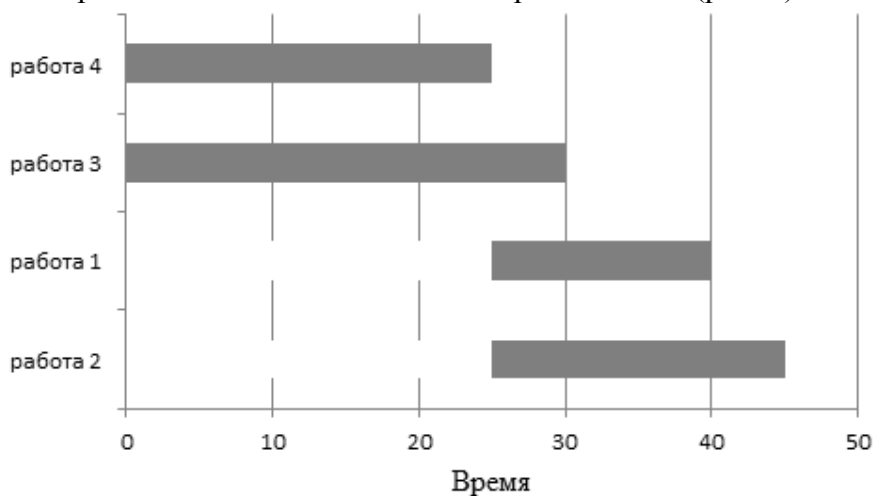


Рис. 7. Диаграмма выполнения работ (вариант 7)

Специалист третьего типа простаивает. Вариант 7 не выгоден.

Таким образом, вариант 4 (возможность нанять специалистов первого и второго типов) или вариант 5 (возможность нанять специалистов первого и третьего типов) позволят сократить время выполнения всех работ в 2 раза.

При этом стоимость привлечения специалистов первого и второго типов составит 120 ед., стоимость привлечения специалистов первого и третьего типов составит 90 ед. С учетом оплаты целесообразно привлечение по найму специалистов первого и третьего типов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенная постановка задачи календарного планирования работ проекта командами учитывает ограничение количества специалистов разного типа и возможность привлечения дополнительных специалистов по найму за определенную оплату с целью сокращения продолжительности выполнения всех работ.

Предложен эвристический алгоритм решения задачи, основанный на правиле приоритета выполнения в первую очередь работ с наибольшей продолжительностью.

Представлен пример, иллюстрирующий возможные варианты привлечения дополнительных специалистов.

Библиографический список

1. Бурков В.Н. Задача оптимального распределения команд специалистов / В.Н. Бурков, А.П. Вьюнов, Л.А. Роговая, Л.В. Россихина // Автоматика и телемеханика. – 2019. – № 1. – С. 116–125.
2. Роговая Л.А. Задача календарного планирования работ с учетом аутсорсинга (дискретный случай) / Л.А. Роговая // Вестник Воронежского института ФСИИ России. – 2018. – № 2. – С. 100–103.
3. Rossikhina L. Enhancing Conformity Assessment Process by Outsourcing [Electronic resource] / L.Rogovaya, V.Burkov, L. Rossikhina // Advances in Economics, Business and Management Research. –2019. –Vol. 47, № 1. – P. 233–236.– Available at:<http://www.atlantispress.com/proceedings/iscfec-18/articles>
4. Роговая Л.А. Эвристический алгоритм решения задачи календарного планирования работ команд специалистов / Л.А. Роговая // Научный диалог: молодой ученый : сб. тр. XI Междунар. науч. конф. – СПб., 2017. – С. 27–28.
5. Роговая Л.А. Задача календарного планирования работ с учетом аутсорсинга (непрерывный случай) / Л.А. Роговая // Вестник Воронежского института ФСИИ России. – 2018. – № 1. – С. 83–87.

FORMALIZATION OF THE TASK OF PLANNING PROJECT WORK BY TEAMS OF SPECIALISTS

L.V. Rossikhina

Rossikhina Larisa Vitalievna, Voronezh institute of the Russian Federal Penitentiary Service,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Russia, Voronezh, e-mail: rossikhina_lv@mail.ru, тел.: +7-960-110-56-67

Abstract. The article considers a particular case of the problem of work planning of specialist teams of different types with the possibility of engaging additional specialists for hire which enables to reduce the duration of all jobs. A heuristic algorithm for solving the problem based on the rule of priority execution of the work with the longest duration is offered.

Keywords: team, specialist, work, scheduling, duration of work.

References

1. Burkov V.N. Zadacha optimal'nogo raspredeleniya komand specialistov / V.N. Burkov, A.P. V'yunov, L.A. Rogovaya, L.V. Rossikhina // *Avtomatika i telemekhanika*. – 2019. – № 1. – S. 116–125.
2. Rogovaya L.A. Zadacha kalendarnogo planirovaniya rabot s uchetom outsorsinga (diskretnyj sluchaj) / L.A. Rogovaya // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. – 2018. – № 2. – S. 100–103.
3. Rossikhina L. Enhancing Conformity Assessment Process by Out-sourcing [Electronic resource] / L.Rogovaya, V.Burkov, L. Rossikhina// *Advances in Economics, Business and Management Research*. –2019. –Vol. 47, № 1. – P. 233–236.– Available at:<http://www.atlantispress.com/proceedings/iscfec-18/articles>
4. Rogovaya L.A. Evristicheskij algoritm resheniya zadachi kalendarnogo planirovaniya rabot komand specialistov / L.A. Rogovaya // *Nauchnyj dialog: molodoj uchenyj : sb. tr. XI Mezhdunar. nauch. konf.* – SPb., 2017. – S. 27–28.
5. Rogovaya L.A. Zadacha kalendarnogo planirovaniya rabot s uchetom outsorsinga (nepreryvnyj sluchaj) / L.A. Rogovaya // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. – 2018. – № 1. – S. 83–87.

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

УДК 65.011.56

МЕХАНИЗМЫ ПАРНОГО СРАВНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В.Е. Белоусов, Т.А. Аверина, Д.В. Дорофеев

*Белоусов Вадим Евгеньевич, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления строительством
Россия, г. Воронеж, e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-473-276-40-07*

*Аверина Татьяна Александровна, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: ta_averina@mail.ru, тел.: +7-910-349-89-53*

*Дорофеев Дмитрий Валериевич, Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-473-276-40-07*

Аннотация. В этой статье рассматриваются механизмы парного сравнения объектов в сложных системах, когда описание отличается по неявным признакам. Модели ошибок основаны на предположениях о случайности действия восприятия (предсказания) и объясняют различия в ошибках восприятия и предпочтениях. В модели различий действие восприятия основано на детерминированных параметрах субъекта и объектов, а также на различиях в предпочтениях. Реализована с помощью объединенного психологического пространства (*joint space*), лежащего в основе многих процедур неметрического многомерного шкалирования. Эти различные предположения о "физике" предпочтений приводят к принципиально различным свойствам парных сравнительных моделей.

Ключевые слова: алгоритм, задача, класс, модели, сложные системы, функции предпочтения, результат.

Введение

Парные сравнения объектов в сложных системах - это одна из наиболее распространенных экспериментальных схем в науке. Кроме того, парные сравнения являются одним из самых передовых разделов нечисловой статистики объектов. Это, что более важно, схемы, основанные на получении информации о произвольных отношениях предпочтений общих видов, могут быть в некоторой степени сведены к двойным сравнениям.

Постановка задачи

Эксперимент, организованный по схеме парных сравнений, предоставляет информацию от каждого участника (субъекта, эксперта) в виде матриц:

$$C^k = \|c_{ik}^k\|, \quad k = \overline{1, m}, \quad i, j = \overline{1, n},$$

где m - число респондентов,

n - число объектов в эксперименте;

$c_{ii}^k = 1$ если k -й эксперт предпочел i -й объект j -му, и $c_{ii}^k = 0$ в противном случае.

Чаще всего эксперимент проводится так, чтобы участники не отдавали предпочтение всем парам объектов. Поэтому целесообразно ввести в рассмотрение матрицу $D^k = \|d_{ij}^k\|$ $d_{ij}^k = 1$, если k -й респондент высказал предпочтение о паре объектов (i, j) и $d_{ij}^k = 0$ в противном случае. Заметим, что матрицы DK симметричны.

Статистический подход к анализу парных сравнений связан обычно с использованием в качестве исходных данных матриц частот парных сравнений:

$$A = \|a_{ij}\| = \sum_k C^k \text{ и матриц } M = \|m_{ij}\| = \sum_k D^k,$$

где $a_{ij} = m_{ij} - a_{ji}$ - число предпочтений i -го объекта j -му из сравнений.

Тем самым абстрагируются от индивидуальных свойств респондентов, а дальнейшему изучению подлежат объекты и коллективное мнение экспертов.

Стандартный подход в статистических методах изучения парных сравнений заключается в разработке вероятностной модели парного сравнения, в которой объекты определяются векторами числовых параметров $\bar{V}_i, i = \overline{1, n}$. Вводятся события вида $(i \rightarrow j)$ i -й объект предпочтен j -му, каждому такому событию приписывается вероятность π_{ij} как функция параметров $\bar{V}_i, \bar{V}_j$ и, возможно, дополнительных параметров модели. Относительные частоты парных сравнений $p_{ij} = a_{ij} / m_{ij}$ часто рассматриваются как оценки «истинных» вероятностей π_{ij} (впрочем, модели доставляют и другие оценки для π_{ij}).

Статистическая задача парных сравнений состоит в разработке метода оценивания параметров $\bar{V}_i$ и метода оценивания согласия модели с исходными данными обычно через сравнение частот p_{ij} и оценок вероятностей π_{ij} вычисленных по оценкам параметров $\bar{V}_i, \bar{V}_j$, когда вектора содержат по одной компоненте, говорят об одномерных моделях парных сравнений. Ниже рассматриваются именно такие модели.

Существующие вероятностно-статистические модели парных сравнений для всех их многообразий [1] основаны на идее, которая объединяет их из теории ошибок, теории обнаружения сигналов и моделей психофизического восприятия.

Согласно этой идее, каждый объект характеризуется своим значением в некоторой одномерной количественной шкале (обычно шкала декабря). Ответчик находит это значение с некоторыми ошибками:

$$V_i^* = V_i + \varepsilon, \quad (1)$$

где ε — некоторая случайная величина с плотностью вероятности f , с математическим ожиданием, равным нулю.

Формула (1) подразумевает независимость распределения перцептивных ошибок от респондентов и объектов, что, конечно же, является частным примером более общего случая. Однако это ограничение не влияет на наши дальнейшие рассуждения, что значительно упрощает их.

Пусть респонденту предъявлено два объекта с параметрами V_i и V_j при этом воспринятые значения:

$$V_i^* = V_i + \varepsilon' \text{ и } V_j^* = V_j + \varepsilon''$$

Обсуждаемые модели описывают математическое событие (i -м) как неравенства $V_i^* > V_j^*$ или $V_i + \varepsilon' > V_j + \varepsilon''$.

Здесь ε' ε'' независимые реализации случайной величины ε . Именно случайность в восприятии объясняет в данных моделях различия в суждениях респондентов об одной и тех же паре объектов. Наличие случайной величины ε позволяет ввести вероятность $P(i > j)$ предпочтения i -го объекта j -му:

$$P(i \rightarrow j) = P\{V_i + \varepsilon' > V_j + \varepsilon''\}. \quad (2)$$

Происхождение этой вероятности иллюстрируется рис. 1, из которого видно, что, несмотря на то, что $V_i < V_j$, ошибки в восприятии могут привести к тому, что V_i^* превзойдет V_j^* . Обычно полагают, что функция плотности f унимодальна и симметрична. В этом случае легко показать, что вероятность $P(i \rightarrow j)$ тем больше, чем больше величина $V_i - V_j$; при $V_i = V_j$ $P(i \rightarrow j) = \frac{1}{2}$; величина $|V_i - V_j|$ монотонно зависит от величины $\left| \frac{1}{2} - P(i \rightarrow j) \right|$.

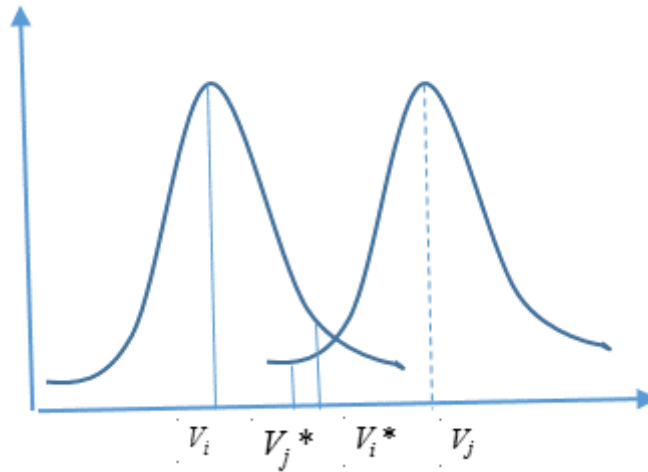


Рис. 1. Иллюстрация происхождения вероятности

В конечном итоге, все модели такого типа приводят к выражению следующего вида:

$$\pi_{ij} = P(i \rightarrow j) = F(V_i - V_j), \quad (3)$$

где F — некоторая функция распределения.

Для оценки параметров V обычно используется метод максимального правдоподобия. Функция максимального правдоподобия L (при обычных предположениях независимости всех реализаций парных сравнений, [2] имеет следующий вид:

$$L = C \prod_{1 \leq i < j \leq n} \pi_{ij}^{a_{ij}} \pi_{ji}^{m_{ij} - a_{ij}}, \quad (4)$$

где C — константа, не зависящая от V .

Обычно максимизируют $\ln L$, решая систему

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Легко видеть, что

$$\frac{\partial \ln L}{\partial V_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\pi_{ij}} \frac{\partial}{\partial V_i} \pi_{ij} + \frac{a_{ij}}{\pi_{ji}}. \quad (6)$$

Рассмотрим частный случай модели (2), (3) - модель Брэдли — Терри — Льюса [3], когда F - логистическая функция распределения:

$$F(x, V_i, V_j) = \left\{ 1 + e^{-[x - (v_i - v_j)]} \right\}^{-1}, \quad (7)$$

тогда $\pi_{ij} = \frac{1}{1 + e^{(v_i - v_j)}}$.

Если теперь перейти к мультипликативной шкале $z = \varepsilon$, то выражение (7) приобретет вид:

$$\pi_{ij} = \frac{z_i}{z_i + z_j}, \quad 1 \leq i < j \leq n. \quad (8)$$

Упростится и выражение для производной $\ln L$ (6):

$$\frac{\partial \ln L}{\partial z_i} = \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{z_i} - \frac{m_{ij}}{z_i + z_j}. \quad (9)$$

Формула (9) приводит к итерационным уравнениям

$$z_i^{(t)} = n_i \left[\sum_{j=1}^n \frac{m_{ij}}{z^{(t-1)}} \right]. \quad (10)$$

а верхний индекс в скобках - номер итерации.

Поскольку соотношениями (8) величины $z_i^{(t)}$ определяются с точностью до положительного коэффициента, на них обычно вводится дополнительное ограничение вида:

$$\sum_{i=1}^n z_i = 1$$

После того, как итерационным процессом (10) получаются шкальные значения $z_i^{(t)}$, а с их помощью по формуле (8) вероятности, согласие результатов с исходными данными можно проверить по критерию:

$$X^2 = \sum_{1 \leq i < j \leq n} \frac{(a_{ij} - m_{ij} \pi_{ij})^2}{m_{ij} \pi_{ij}} \quad (11)$$

с $n(n-1)/2 = n + 1$ степенями свободы.

Заклячая описание моделей этого класса, зафиксируем для дальнейшего сравнения два их существенных свойства.

Величины (10) монотонны оценкам. т.е. объект тем лучше, чем чаще он предпочитался другим.

Величины $|V_i - V_j|$ и $\left| \frac{1}{2} - \pi_{ij} \right|$ монотонны, т.е. чем более похожи объекты, тем легче их перепутать.

2. Предлагаемый вариант сравнения объектов

Для терминологического удобства мы называем модели класса, описанного выше, "моделями ошибок", а модели, которые мы передаем описанию, являются "моделями различий". Значение этих терминов будет ясно из более поздних объяснений.

Модели ошибок основаны на предположениях о случайности действия восприятия (предсказания) и объясняют различия в ошибках восприятия и предпочтениях. В модели различий действие восприятия основано на детерминированных параметрах субъекта и объектов, а также на различиях в предпочтениях.

Реализована с помощью объединенного психологического пространства (*joint space*), лежащего в основе многих процедур неметрического многомерного шкалирования. Ниже будет видно, что эти различные предположения о "физике" предпочтений приводят к принципиально различным свойствам парных сравнительных моделей.

Пусть, как и выше, объекты, участвующие в эксперименте, описываются некоторой одномерной шкалой, на которой они имеют (истинные) значения $V_j, \dots, V_n$. Предположим, что у каждого респондента существует представление об объекте, "идеальном" для данного респондента. Более формально: идеальный объект X_s S -го респондента — это такой объект, который, будучи включенным в любой набор объектов, всегда предпочитался бы данным респондентом остальным объектам. Мы полагаем, что X_s - шкальное значение идеального объекта S -го респондента на той же одномерной шкале объектов. Каждого эксперта будем описывать значением X его идеального объекта.

Правило предпочтения в математическом виде записывается так:

$$(i \rightarrow j) \Leftrightarrow |X_s - V_i| < |X_s - V_j|. \quad (12)$$

Т.е. респондент с идеальным объектом X из двух объектов V_i и V_j выбирает тот, который ближе к идеальному объекту. Т.о. для разных респондентов при фиксированных V_i и V_j могут получаться разные предпочтения из-за различий в X .

Предположим, что координата X идеальных точек есть случайная величина, подчиненная некоторому распределению F с плотностью f , симметричной относительно нуля. Тогда вероятность предпочтения $P(i \sim j)$ - это не что иное, как вероятность появления респондента:

$$\pi_{ij} = P(i \rightarrow j) = \int_{|X+V_i| < |XV_j|} dF. \quad (13)$$

Легко видеть, что:

$$\pi_{ij} = F\left[\frac{v_i + V_j}{2} \text{sign}(V_j - V_i)\right]. \quad (14)$$

В этом случае следует отметить принципиально другое значение функции распределения F , в моделях ошибок F был функцией распределения ошибок, и в эксперименте респонденты реализовали пример этого распределения ошибок. Теперь, в разностной модели, F является функцией распределения координат идеальных точек

(мнения участников); в эксперименте участники применяют пример из этого "распределения мнений".

Поскольку мы рассматриваем сравнение моделей двух классов, разумно предположить, что F в этом случае также является функцией логистического распределения и переходит к мультипликативной шкале, как мы делали выше, но продвигается по другой формуле:

$$z_i = e^{\frac{V_i}{2}}$$

Тогда получится следующее выражение:

$$\pi_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{1 + z_i z_j}, \\ \frac{z_i z_j}{1 + z_i z_j}, \end{cases} \quad (15)$$

Поскольку формулы (14) - (15) для оценок максимальной вероятности записываются для общего случая, используя их для (16), мы получаем систему уравнений при тех же предположениях о независимости:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{z_i < z_j} \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (16)$$

Уравнения (16) можно записать в более компактном виде, используя выражения (15):

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{z_i < z_j} \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (17)$$

Из (17) вытекают итерационные уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial z_i} \ln L = & - \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} z_j}{1 + z_i z_j} + \frac{1}{z_i} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} + \\ & + \frac{1}{z_i} \sum_{z_i < z_j} \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} - \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{1 + z_i z_j} = 0; i = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь верхний индекс в скобках означает номер итерации $\pi^{(t-1)}_{ij}$ вычисляется по формуле (15). Теперь вернемся несколько назад и обсудим некоторые свойства предлагаемой модели. Непосредственно из формулы (14) вытекает, что если V ближе к центру распределения F , чем если $\bar{V}_i, \bar{V}_j$ расположила симметрично относительно центра. Легко видно, что величина не зависит от величины E . Если теперь для конкретности

ограничиться случаем логистического распределения, то из сделанных замечаний вытекают следующие свойства.

1. Величина обратно пропорциональна величине, то есть объект лучше представляет среднее мнение участников.

2. Монотонность между ними не выполняется, а это означает, что модели ошибок и модели различий имеют принципиально разные свойства деконцентрации между ними не выполняется, а это означает, что модели ошибок и модели различий имеют принципиально разные свойства. деконструкция ошибок завершается неудачей. Это, естественно, связано с различием в предположениях о природе различий в предпочтениях.

3. Еще одна особенность обсуждаемой модели различий подчеркивает эту разницу. Выше, в модели ошибки, величина Z он определяется уравнениями (8) перед положительным умножением, соответственно значения V определяются перед аддитивной константой. В той же разностной модели уравнения (14) определяют величины V_j на основе точности умножения на -1 , соответственно уравнения (15) определяют величины r_d с

точностью преобразования $z_i^{(t)} = n_i \left[\sum_{j=1}^m \frac{m_{ij}}{z^{(t-1)}} \right]$. Оба этих преобразования изменяют порядок

значений объектов. Это означает, что в разностной модели направление, в котором объекты становятся "лучше" или "более ценными", не может быть дифференцировано по оси шала. Это свойство согласуется с первоначальным предположением о возможности существования разных точек зрения участников. Значения значений z или V , которые мы хотим оценить, должны нести информацию о взаимном положении объектов на шкале и их положении относительно "средней точки зрения". Ниже мы будем ссылаться на это свойство как на 3 свойства разностной модели

3. Вычислительные процедуры

Итерационные уравнения (18) были положены в основу процедуры оценивания параметров z . Форма уравнений (18) не позволила нам получить аналитически какие-либо свойства, свидетельствующие о сходимости уравнений. Поэтому эффективность разрабатываемых процедур мы проверяли с помощью тестов на восстановление, аналогичных описанным в [3]. Это выполнялось следующим способом. Случайным образом генерировалось n точек с координатами $V_j, \dots, V_n$. Затем генерировалось m логистически распределенных чисел $X_1, \dots, X_m$, с помощью которых формировалась матрица $la, \dots, lm$ по правилу (12). Эта матрица обрабатывалась тестируемой процедурой, которая выдавала на выходе матрицу и координаты "восстановленной" конфигурации $V_j, \dots, V_n$. Для проверки качества восстановления подсчитывались статистика χ^2 по формуле (11) и коэффициент линейной корреляции r_d . При фиксированных значениях такое тестирование осуществлялось k раз.

Первая процедура, которую мы использовали, была основана только на уравнении (18). Первая конфигурация была выбрана случайным образом. Рекурсивные уравнения (18) нашли интересное свойство. Уравнения приближались к двум различным решениям на протяжении всего шага, и их различия не объяснялись симметрией, вытекающей из Свойства 3. Эти решения мало похожи на V .

Ручные вычисления показали эффективность следующей процедуры: два шага выполняются в соответствии с рекурсивными уравнениями, усредняются два соседних решения, а средний результат служит начальным приближением для следующих двух шагов. Эта процедура слилась очень быстро. Однако для разных тестов (образцов) результаты восстановления были либо отменены, либо удручающими. Анализ тестов показал, что рандомизированный первый подход показал хорошее улучшение в "прогнозировании" фактического порядка (или наоборот) точек V , то есть достаточно близко к этому.

Поэтому возник вопрос о предварительной оценке решения со средним значением для первого подхода к процедуре.

Вернемся к уравнению (14).

Пусть $c_{ij} = -2F^{-1}(\pi_{ij})$.

Тогда, верна следующая теорема.

Пусть $x_2 < x_1$ и $c_{ij} = (x_i + x_j) \text{sign}(x_i - x_j)$, $1 \leq i < j \leq 3$.

При этом а) $x_3 < x_2$ тогда и только тогда, когда $c_{23} < c_{13} < c_{12}$

б) $x_2 < x_3 < x_1$ тогда и только тогда, когда $-c_{23} < c_{12} < c_{13}$

в) $x_1 < x_3$ тогда и только тогда, когда $c_{12} < -c_{23} < -c_{13}$

Доказательство. Докажем для примера пункт а.

В результате работы процедуры V приобретут значения, соответствующие упорядочению по возрастанию, и теперь мы можем определить.

Получим:

$$V_1, \dots, V_n$$

$$a_{ij} = V_i + V_j, 1 \leq i < j \leq n \quad (19)$$

которую можно решать как задачу:

$$(a_{ij} - V_i - V_j)^2 \rightarrow \min \quad (20)$$

Нетрудно показать, что решение задачи (19), (20) дается следующей формулой:

$$V_i = (b_i - \frac{A}{n-1}) / (n-2) \quad \text{где} \quad b_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n a_{ij}, \quad A = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n b_i$$

В результате мы получили процедуру, состоящую из двух этапов. На первом этапе Б. их значения оцениваются, как описано выше. К полученным оценкам применяется средняя процедура, основанная на рекурсивном процессе (18), полученном из уравнений максимальной вероятности.

В табл. 1 приведены результаты тестирования описанной процедуры для $n = 5$, $m = 100$ и десяти тестов.

Таблица 1

Результаты тестирования процедуры для $n = 5$, $m = 100$ и десяти тестов

№ теста	x^2	r_D
1	3.10	0,970
2	1.20	0.989
3	2.10	0.961
4	5.07	0.992
5	29.46	0.379
6	0.60	0.996
7	1.99	0.945
8	61.44	0.155
9	2.60	0.984
10	9.06	0.401

Для сравнения приведем 1- и 5%-ные точки для модели различий число степеней свободы равно $n(n-1)/2 - n$ и r_d (последние — по данным [6] для коэффициента линейной корреляции между межточечными расстояниями независимых, нормально распределенных конфигураций): $\chi^2_{01}(5) = 15.086$, $\chi^2_{05}(5) = 11.070$, $r_d^2 = 0.845$, $\chi^2_3(5) = 0.614$. Можно видеть, что в большинстве случаев восстановление весьма убедительное.

Его можно улучшить, если усилить процедуру предварительного оценивания.

Той же программой были обработаны два классических эксперимента по использованию метода парных сравнений, которые ранее многократно обрабатывались методами, основанными на модели ошибок. Первый пример из [7]; в нем 30 экспертов сравнивали качество пяти объектов. Обработка дала согласие [4], с исходными данными: $x = 4.74$.

Критические значения $\chi^2_{01}(5) = 11.070$, $\chi^2_{05}(5) = 4.351$, $\chi^2_3(5) = 6.064$.

Обработка тех же данных методом, основанным на модели Брэдли - Терри -Льюиса, дала $\chi^2 = 5.17$ (при числе степеней свободы на единицу больше).

Заключение

Таким образом, обработка известных данных новым методом не дает более низкого результата, чем результаты, полученные ранее традиционными методами. Этот факт, с одной стороны, показывает работу новой модели и связанного с ней метода обработки парных сравнений, с другой-возникает новая проблема. Оказалось, что вполне удовлетворительное соглашение с исходными данными породило две принципиально разные модели, основанные на совершенно противоположных предположениях о деятельности экспертов. Это явление, конечно, можно объяснить небольшим количеством необработанных данных (небольшие значения ямы), но возможно, что истина, как это часто бывает, находится посередине и работает с двумя механизмами, обсуждаемыми в действии предпочтения. Очевидно, что в этом направлении можно увидеть, как математическую, так и экспериментальную перспективу предложенных решений.

Библиографический список

1. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. – М.: Наука, 1981.
2. Бурков В.Н., Данев Б., Еналеев А.К. и др. Большие системы: моделирование организационных механизмов. М.: Наука, 1989. - 245 с.
3. Белоусов В.Е. Алгоритм для оперативного определения состояний объектов в многоуровневых технических системах [Текст]/ Белоусов В.Е., Кончаков С.А.// Экономика и менеджмент систем управления. № 3.2 (17). 2015. - С. 227-232.
4. Белоусов В.Е. Алгоритм для анализа вариантов решений в многокритериальных задачах [Текст]/ Аксененко П.Ю., Белоусов В.Е., Кончаков С.А.// Системы управления и информационные технологии. №4(62), 2015. – С. 31-33.

MECHANISMS OF PAIRED COMPARISON OF OBJECTS IN THE COMPLEX SYSTEMS OF MANAGEMENT

V.E. Belousov, T.A. Averina, D.V. Dorofeyev

Belousov Vadim Evgenyevich, Voronezh state technical university, Candidate of Technical Sciences, associate professor, associate professor of management of construction
Russia, Voronezh, e-mail: belousov@vgasu.vrn.ru, ph.: +7-473-276-40-07

Averina Tatiana Aleksandrovna, Voronezh State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Management
Russia, Voronezh, e-mail: ta_averina@mail.ru, tel.: +7-910-349-89-53

Dorofeev Dmitry Valerievich, Voronezh state technical university, graduate student of department of management
Russia, Voronezh, e-mail: upr_stroy_kaf@vgasu.vrn.ru, ph.: +7-473-276-40-07

Abstract. This article discusses the task of forming a control and regulation program in a false system, which allows, unlike traditional approaches for control theory, using separate choice of regulator programs, to form joint plans, or control programs, and their regulator. The statement is based on the principle of the guaranteed result, which is used here: it is used not only to evaluate the criterion of quality of control, but also to meet the conditions of admissibility subject to disturbances. The problem of joint selection of the control program and the regulator is formalized in the form of a pair of maximum tasks nested in each other. It is shown that by means of the joint selection it is possible to improve (in general, do not degrade) the quality of control g to expand (do not narrow) the set of permissible uncertainty. Example of rigorous improvement and, expansion

Keywords: algorithm, task, class, models, the complex systems, preference functions, result.

References

1. Burkov V. N., Kondratyev V. V. Mechanisms of functioning of organizational systems. - M.: Science, 1981.
2. Burkov V. N., Danev B., Enaleev A. K., etc. Big systems: modeling of organizational mechanisms. M.: Science, 1989. - 245 pages.
3. Belousov V. E. An algorithm for expeditious definition of conditions of objects in multilevel technical systems [Text] / Belousov V.E., Konchakov S.A.//Economy and management of control systems. No. 3.2 (17). 2015. - C. 227-232.
4. Belousov V. E. An algorithm for the analysis of versions of decisions in multicriteria tasks of [Text] / Aksyonenko of Item Yu., Belousov V. E., Konchakov S.A.//Control systems and information technologies. No. 4(62), 2015. - Page 31-33.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА РЕГИОНА НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Ю.В. Бондаренко, О.В. Бондаренко

Бондаренко Юлия Валентиновна*, Воронежский государственный технический университет, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры управления, Воронежский государственный университет, профессор кафедры математических методов исследования операций

Россия, г. Воронеж, e-mail: bond.julia@mail.ru, тел.: +7-910-341-29-46

Бондаренко Олег Владимирович, Воронежский государственный университет, студент,

Россия, г. Воронеж, e-mail: oleg.bondarenko@list.ru, тел.: +7-903-850-45-40

Аннотация. Статья посвящена вопросам формирования информационного обеспечения оценки человеческого капитала в условиях цифровой трансформации. Исследование человеческого капитала происходит на разных уровнях (государство, регион, предприятие), поэтому решение поставленной задачи предлагается осуществлять на основе создания и визуализации баз данных, содержащих статистическую информацию и обработанные результаты опросов респондентов. Для визуализации статистических данных разработан программный продукт, основанный на ГИС-технологиях. При формировании базы данных результатов опросов населения предлагается применять методы машинного обучения, позволяющие выявить взаимосвязи между факторами и осуществить предиктивную аналитику.

Ключевые слова: человеческий капитал, информационное обеспечение, ГИС-технологии, искусственный интеллект, визуализация.

Цифровая трансформация экономики играет важную роль в ускорении темпов экономического развития регионов, создании новых отраслей и секторов, повышении производительности труда и качества результатов. Активное вовлечение новых информационных технологий в сферу бизнеса и управления требуют пересмотра традиционных подходов к источникам экономического роста. Решающим фактором в развитии инновационной экономики, его драйвером, становится человеческий капитал (ЧК) – общество в целом и каждый индивидуум с его знаниями, умениями, навыками, компетенциями. [1-3].

Концепция человеческого капитала, понимание его важнейшей роли в экономических процессах, наиболее активно начала развиваться с середины прошлого века – в работах Г. Беккера, впервые исследовавшего структуру человеческого капитала и раскрывшего его сущность; Т. Шульца, исследовавшего процессы воспроизводства ЧК Дж. Минцера, исследовавшие факторы, влияющие на доходы работников и мн др. [4-5]. Проблемы развития человеческого капитала в российском обществе исследовались в работах Р.М. Нуреева, В.С. Баженовой, Н.М. Плискевич, Р.Н. Капелюшникова и мн. др. [6-7]. При этом основное внимание уделялось общетеоретическим подходам к ЧК, изучению динамики движения ЧК на внешнем и внутреннем рынках труда, а также различным аспектам формирования и функционирования человеческого капитала на уровне государства, региона или отдельной организации.

Однако, несмотря на значительное количество научных работ, проблема человеческого капитала не исчерпала себя. Наоборот, в современных условиях изменения трудовых отношений, появления новых возможностей и ограничений в профессиональной деятельности, связанных, в том числе, с пандемией Covid-19, велико понимание того, что вопросы исследования феномена человеческого капитала находятся на начальном пути

развития. Многоаспектность феномена ЧК, его разнообразность, особенно в условиях цифровой трансформации, являются причиной того, что исследование человеческого капитала активно занимаются представители различных наук – экономисты, философы, психологи, географы, математики. При этом полноценное исследование такой сложной категории невозможно без анализа реальных данных. Подтверждением этому является принятая в 2019 г. национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», в состав которой входит целый ряд проектов, направленных на развитие информационной инфраструктуры и развитие системы цифрового государственного управления. Одним из приоритетных направлений программы является использование информационных технологий для улучшения качества жизни и оценки человеческого капитала. Поэтому разработка информационной системы, содержащей в удобной для пользователя форме весь спектр той доступной информации, которая может быть использована для современных исследований человеческого капитала, является актуальной задачей.

Решение поставленной задачи предлагается осуществлять на основе разработки тематической базы данных показателей, позволяющих оценить ЧК на уровне региона и отдельного предприятия. Как правило, оценка ЧК на уровне региона или государства осуществляется на основе официальной статистической информации. В этом направлении в настоящем исследовании сформирована тематическая база данных с визуализацией по регионам РФ на основе ГИС-технологий. Вместе с тем, в настоящее время рядом исследователей проводятся массовые анкетирования – опросы респондентов относительно удовлетворенность работой, желанием ее сменить, образования, состояния здоровья и т.п. Естественно, такая информация помогает воссоздать полноту представления о человеческом капитале в регионе и на предприятии, а достаточное количество данных позволит на основе методов машинного обучения осуществить предиктивную аналитику. Представленные выше особенности учитываются в разрабатываемом информационном обеспечении оценки человеческого капитала.

Перейдем к рассмотрению особенностей разработки предлагаемого информационного обеспечения.

Визуализации статистической информации по регионам России предлагается осуществлять на основе тематической ГИС. Создание тематических ГИС является основой региональных и муниципальных справочно-информационных систем, позволяющих получать доступ к информации большому количеству пользователей. Необходимо отметить, что существующие на сегодня разработки ГИС преимущественно предназначены для управления городским хозяйством, не содержат достаточной информации для проведения исследований по оценке ЧК и предназначены исключительно для служебного пользования.

Геоинформационный анализ социально-экономических показателей и определение трендов развития ЧК региона предполагают интеграцию больших объемов разнородной статистической информации и использование высокотехнологичных алгоритмов визуализации результатов расчетов. Основными инструментами разработки нашего программного продукта являются HTML, CSS и JavaScript. Набор этих инструментов очень удобен и широко используется при создании программных продуктов, интегрируемых в сеть интернет. Визуализация данных имеет очень высокий качественный уровень. Работа с данными удобна и надежна. Вся визуализация карты и интерактив осуществляется с помощью JavaScript, который работает прямо в браузере.

В ходе исследования были задействованы различные источники данных. На их основе была сформирована база данных с признаками по 85 регионам России. Для наполнения базы данных использовалась официальная статистическая информация ЕМИСС и Росстат. Информационные блоки соответствовали принятым в науке факторам оценки и развития ЧК региона [1]: образование; здоровье; доход; экология; уровень жизни.

На основе собранных данных возможен подсчет различных числовых показателей человеческого капитала, например, таких как индекс развития человеческого капитала

(ИЧК), представленный Всемирным банком, в число компонентов которого вошли показатель выживаемости, ожидаемая продолжительность обучения, состояние здоровья [8].

Статистическая информация хранится в виде таблицы Microsoft Excel – одной из самых популярных программ для работы с табличными данными и их анализом. Фрагмент базы данных с признаками для оценки ЧК региона представлена на рис. 1.

1		Ожидаемая продолжительность жизни при рождении	Денежные доходы (в среднем на душу) (рубль) 2020	Реальные располагаемые денежные доходы (значение показателя за год в процентах) 2020
2	Российская Федерация	81,66	35 676	97
3	Ненецкий автономный округ	81,52	83 976	100,8
4	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	82,4	53 886	99,1
5	Ямало-Ненецкий автономный округ	82,09	88 102	104
6	Алтайский край	80,9	23 860	94,9
7	Амурская область	79,72	35 020	99,9
8	Архангельская область	81,28	36 573	97,3
9	Астраханская область	81,94	25 150	96,2
10	Белгородская область	81,91	32 835	96,9
11	Брянская область	81,28	28 310	95,1
12	Владимирская область	81,04	25 803	96,3
13	Волгоградская область	81,9	25 268	98,9
14	Вологодская область	81,1	29 369	98,2
15	Воронежская область	81,87	31 997	94,7

Рис. 1. Фрагмент базы данных

Так как понятие человеческого капитала и возможности его исследования меняются в условиях непрерывной цифровизации, наша задача состоит в том, чтобы представить собранные данные в удобной для работы форме.

Перед нами представлена карта России разбитая на 85 регионов. В верхней части страницы можно выбрать признак, по которому будет отображаться информация по всем регионам России. При наведении мыши всплывает окно с названием региона и выбранным выше признаком (рис. 2)

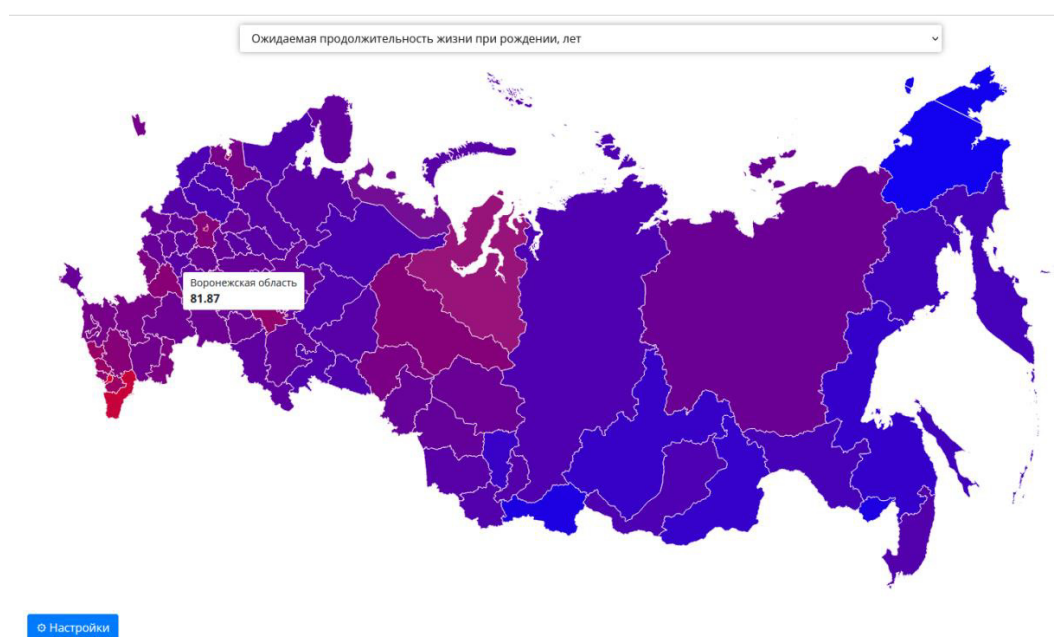


Рис. 2. Общий вид карты

При нажатии на регион, выводится информация по всем признакам для конкретного региона. Для удобства сравнения в соседнем столбце отображается информация по России в целом (рис. 3).

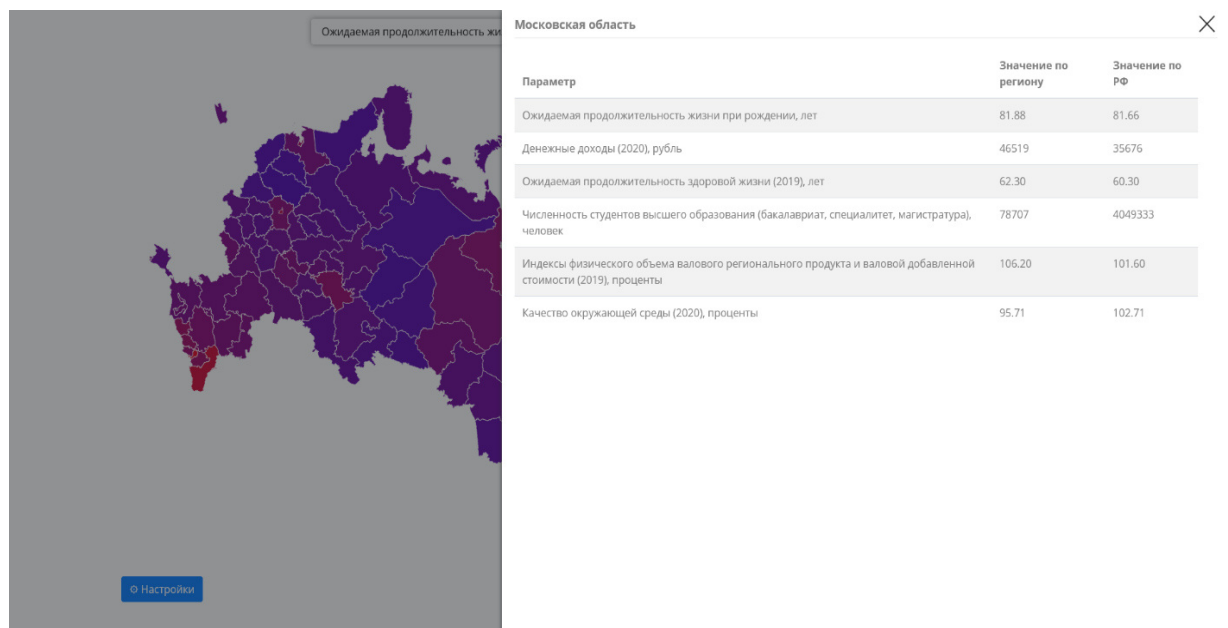


Рис. 3. Данные по региону

Если требуется выбрать по каким признакам отображать информацию, а по каким нет – есть кнопка настройки. В них можно поставить и убрать флажки напротив нужных параметров (рис. 4).

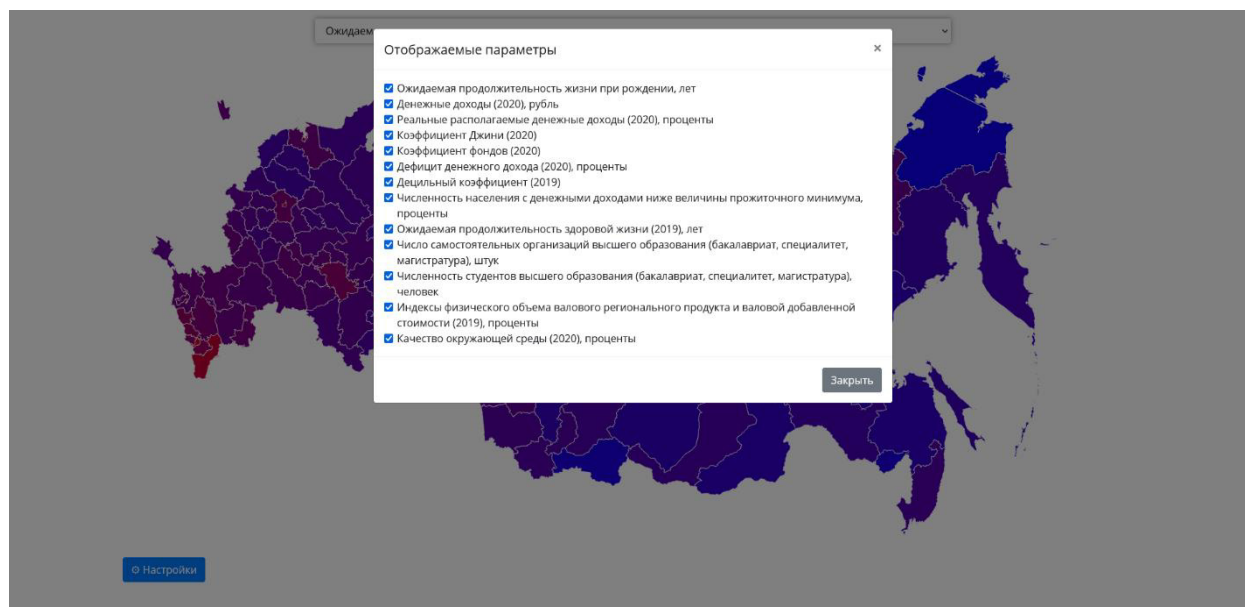


Рис. 4. Настройки отображения информации

Описанная первая компонента информационного обеспечения оценки ЧК представляет собой удобную визуализацию официальных статистических данных. Однако, как было отмечено выше, для всесторонней оценки человеческого капитала статистические данные должны быть дополнены современной информацией, получаемой в результате опроса самих носителей человеческого капитала – респондентов региона. Целью таких опросов является выявление особенностей жителей региона, их мотивов, стремлений,

удовлетворенности и т.п. Проведение анкетирования и обработка результатов является достаточно затратной задачей, ее целесообразность должна быть тщательно исследована, а предлагаемые вопросы анкеты тщательно спланированы и проработаны. Научным обоснованием определения той необходимой и достаточной информации, которая позволит при наименьшем количестве вопросов получить требуемый результат, служат современные методы интеллектуального анализа данных.

В настоящей статье для примера рассмотрим такой показатель, как уровень удовлетворенности человека работой в целом. Задача состоит в выявлении тех факторов, которые оказывают наибольшее влияние на удовлетворенность человека работой в целом. Информационной базой исследования послужили данные НИУ ВШЭ взятые за 1994-2019 годы.

Анализ выборки данных предлагается осуществлять с помощью методов машинного обучения с применением IBM SPSS® Statistics - платформы статистического анализа. Будем определять какие признаки имеют наибольшее влияние на степень удовлетворенности человека работой в целом. Для этого отберем из всех признаков те, которые, по нашему мнению, влияют на степень удовлетворенности работой, и построим по ним нейронную сеть и дерево решений. Будем добавлять и убирать признаки для достижения результата прогнозирования. Общий объем выборки составляет 352566 респондентов, в ходе исследования респонденты с пропущенными значениями данных о работе и отказавшиеся от ответа не учитываются. В конечном исследовании участие принимают 18685 респондентов.

В качестве предсказываемого был выбран следующий признак: «Скажите, пожалуйста, насколько Вы удовлетворены или не удовлетворены Вашей работой в целом?».

По лучшему из полученных результатов можно сделать следующий вывод о влиянии признаков на удовлетворенность человека работой в целом:

- наибольшее влияние оказывает удовлетворенность условиями труда, оплатой и возможностями профессионального роста;
- наименьшее влияние оказывает то сколько в среднем часов и минут продолжается рабочий день;
- Если сравнивать важность признаков кто является совладельцем предприятия, то наибольшее влияние на удовлетворенность оказывает то, что владельцами или совладельцами являются какие-то российские частные лица, коллектив предприятия или российские частные фирмы;
- менее влиятельны оказались владельцы или совладельцы - иностранные фирмы или иностранные частные лица;
- меньше всего, из этих трех критериев, оказывает влияние государство, как владелец или совладелец предприятия или организации;

На основе проведенного исследования мы выяснили, что респондентов, полностью удовлетворенных своей работой -21%; скорее удовлетворены – 57,9%; и да, и нет - 12,8%; скорее не удовлетворены – 7%; а совсем не удовлетворены – 1,2%.

Полученные данные исследования предоставляют руководству регионов информацию о существенных факторах, влияющих на миграцию в регионе и за его пределами. Наличие этих данных сокращает затраты на последующие опросы и позволяет сформировать анкеты для получения данных внутри региона.

Проведенное исследование показало широкие возможности использования методов интеллектуального анализа данных для формирования разносторонней современной оценки такой значимой категории как человеческий капитал. База данных личностных факторов, характеризующих ЧК региона в условиях цифровой трансформации общества, будет расширяться и обновляться в продолжении исследования. Представленный в настоящей работе программный продукт и базы данных активно используются в научных исследованиях ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет».

Исследование подготовлено при финансовой поддержке РФФИ, проект №19-29-07400 мк.

Библиографический список

1. Человеческий капитал как драйвер развития цифровой экономики региона: теоретические и инструментальные основы исследования: коллективная монография / кол. авт. под общ. ред. докт. геогр. наук Н.В. Яковенко. – Воронеж: «Цифровая полиграфия», 2020. – 234 с.
2. Хмелева Г.А. Человеческий капитал как условие формирования инновационной экономики региона / Г.А. Хмелева. – Самара: Самарская академия государственного и муниципального управления, 2012. – 170 с.
3. Bondarenko Y. Model for the development of an energy enterprise / Y. Bondarenko, T. Azarnova, I. Kashirina, E. Vasilchikova // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2021. – Т. 1258. – С. 566-577.
4. Schultz T. Investment in Human Capital. The Role of Education and of Research. New York, The Free Press, London, Collier-Macmillan Limited, 1971. – 272 p.
5. Mincer J. Investment in Human Capital and Personal Income Distribution / J. Mincer // *Journal of Political Economy*. – 1985. – Vol. 66. – No 4. – Pp. 281-302
6. Нуреев Р.М. Человеческий капитал и проблемы его развития в современной России / Р.М. Нуреев // *Общественные науки и современность*. – 2009. – № 4. – С5-2
7. Капелюшников Р.И. Трансформация человеческого капитала в российском обществе (на базе «Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения») / Р.И. Капелюшников, А.Л. Лукьянова. – М.: Фонд «Либеральная миссия», 2010. – 196 с
8. Methodology for a World Bank Human Capital Index, 2018. – Режим доступа: – URL: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documentsreports/documentdetail/300071537907028892/methodology-for-a-world-bank-human-capitalindex> (дата обращения: 17.11.2021).

MANAGEMENT OF CONSTRUCTION PROJECTS DEVELOPMENT OF INFORMATION SUPPORT FOR THE ASSESSMENT OF HUMAN CAPITAL OF THE REGION BASED ON GIS TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Yu. V. Bondarenko, O.V. Bondarenko

Bondarenko Yulia Valentinovna*, Voronezh State Technical University, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Management, Voronezh State University, Professor of the Department of Mathematical Methods for Operations Research. Russia, Voronezh, e-mail: bond.julia@mail.ru, tel.: +7-910-341-29-46
Bondarenko Oleg Vladimirovich, Voronezh State University, student
Russia, Voronezh, e-mail: oleg.bondarenko@list.ru, phone: +7-903-850-45-40

Abstract. The article is devoted to the formation of information support for assessing human capital in the context of digital transformation. The study of human capital takes place at different levels (state, region, enterprise), therefore, it is proposed to solve the problem on the basis of creating and visualizing databases containing statistical information and processed results of interviews with respondents. For the visualization of statistical data, a software product based on GIS technologies has been developed. When forming a database of population survey results, it is proposed to use machine learning methods that allow to identify the relationships between factors and carry out predictive analytics.

Keywords: human capital, information support, GIS technologies, artificial intelligence, visualization.

References

1. Human capital as a driver of the development of the digital economy of the region: theoretical and instrumental foundations of the study: collective monograph [Chelovecheskij kapital kak drajver razvitija cifrovoj jekonomiki regiona: teoreticheskie i instrumental'nye osnovy issledovaniya: kollektivnaja monografija] / count. ed. under total. ed. doct. geographic sciences N.V. Yakovenko. - Voronezh: "Digital Printing", 2020. - 234 p.
2. Khmeleva G.A. Human capital as a condition for the formation of the innovative economy of the region [Chelovecheskij kapital kak uslovie formirovaniya innovacionnoj jekonomiki regiona] / G.A. Khmeleva. - Samara: Samara Academy of State and Municipal Administration, 2012. -- 170 p.
3. Bondarenko Y. Model for the development of an energy enterprise / Y. Bondarenko, T. Azarnova, I. Kashirina, E. Vasilchikova // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. –T. 1258.- S. 566-577.
4. Schultz T. Investment in Human Capital. The Role of Education and of Research. New York, The Free Press, London, Collier-Macmillan Limited, 1971. - 272 p.
5. Mincer J. Investment in Human Capital and Personal Income Distribution / J. Mincer // Journal of Political Economy. - 1985. - Vol. 66. - No 4. - Pp. 281-302
6. Nureyev R.M. Human capital and the problems of its development in modern Russia [Chelovecheskij kapital i problemy ego razvitija v sovremennoj Rossii]/ R.M. Nureyev // Social Sciences and Modernity. - 2009. - No. 4.- C5-2
7. Kapelyushnikov R.I. Transformation of human capital in Russian society (based on the "Russian monitoring of the economic situation and health of the population") [Transformacija chelovecheskogo kapitala v rossijskom obshhestve (na baze «Rossijskogo monitoringa jekonomicheskogo polozhenija i zdorov'ja naselenija»)] / R.I. Kapelyushnikov, A.L. Lukyanov. –M.: Liberal Mission Foundation, 2010. - 196 p.
8. Methodology for a World Bank Human Capital Index, 2018. - Access mode: - URL: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documentsreports/documentdetail/300071537907028892/methodology-for-a-world-bank-human-capitalindex> (date accessed: 17.11.2021).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

УДК 005.52

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.А. Тимофеева

Баркалов Сергей Алексеевич*, Воронежский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: barkalov@vgsu.vrn.ru, тел.: +7-473-2-76-40-07

Моисеев Сергей Игоревич, Воронежский государственный технический университет, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: mail@moiseevs.ru, тел.: +7-920-229-92-81

Тимофеева Виктория Алексеевна, Воронежский государственный технический университет, магистрант кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: Vika.stativkina@mail.ru, тел.: +7-952-545-97-30

Аннотация. В данной работе описана методология управления сложными системами на основе модели Раша оценивания латентных переменных. Основная идея, лежащая в основе данного исследования, заключается в том, что в современных условиях на поведение сложных систем оказывает влияние большое количество факторов, наблюдение за которыми создают объемные массивы информации, обработать которую непросто. В связи с этим для эффективного управления сложными системами необходимо обобщать информацию, получая интегральные показатели объектов системы, отражающие их свойства. Для этих целей предложено использовать модель Раша, которая в отличие от других математических моделей обобщения информации, позволяет получать интегральные оценки по линейной шкале, которые не зависят от информационных потоков и множества объектов, образующих систему. Приведена структурная схема управления сложными системами по представленной модели. Даны методические рекомендации по использованию системы управления на практике. Показано, что оценки объектов системы адекватные и хорошо отображают исследуемые свойства объектов системы, что приводит к эффективному управлению.

Ключевые слова: сложные системы, управление, свертка информации, латентные переменные, модель Раша.

Введение

На сегодняшний день наблюдается значительное ускорение всех процессов в экономике и социальной сфере, технические процессы значительно усложняются, растет большими темпами информационная сфера и другие отрасли и направления. Управлять многими системами становится все сложнее, методы анализа и прогнозирования уже не могут решать с достаточной точностью многие задачи управления на долгосрочные периоды времени.

Во многом усложнение и уменьшение эффективности для управления сложными системами связано с тем, что значительно выросло количество информации, поступающей из различных источников, которая необходима для принятия оптимальных и эффективных решений, на основе которых и производится управление системами. Конечно, развитие информационных технологий, которое также происходит большими темпами, а также разработка систем поддержки принятия решений, в какой-то мере нивелирует проблему управления сложными системами. Однако, для эффективного ее решения требуется также разработка совершенно новых методов, моделей и методик, которые позволили бы кардинально ускорить обработку информации, что приведет к более эффективному управлению [1].

Таким образом, разработка новых, и усовершенствование существующих моделей обработки информации на данный момент времени является очень актуально и важно [2]. Это позволит осуществить более эффективное управление сложными системами во многих сферах человеческой деятельности.

1. Цели и задачи работы

В данной работе поставлена цель предложить методику обобщения или интеграции множества потоков информации, поступающих из разных источников, которая в своей основе будет опираться на математическую модель Раша оценивания латентных переменных.

Применение модели Раша, которая в общем и была создана для свертки числовой информации в некоторый обобщающий показатель, характеризующий общие свойства системы, позволит получать интегральные показатели, описывающие свойства объектов системы, что значительно упростит ее управление.

Для достижения цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть математические аспекты модели Раша и оценить возможности ее применения для управления сложными системами.
2. Разработать общую схему управления сложными системами на основе обобщения информации по модели Раша.
3. Дать практические рекомендации по проведению процедуры обобщения информации по модели Раша.

Начнем с краткого описания математических основ проведения свертки данных по модели Раша.

2. Математические основы свертки данных на основе модели Раша

Модель Раша [3, 4] является одной из моделей, которая позволяет оценивать латентные переменные, то есть некоторые показатели, которые невозможно измерить прямыми методами. Это также позволяет уменьшить размерность исходных данных, обобщив их путем вычисления некоторого интегрального показателя.

Предположим, что имеется N объектов сложной системы, для управления которыми используется L информационных потоков. Обозначим через U_{ij} числовую характеристика объекта системы с номером i взятого из j -ого информационного потока. Применение модели Раша предполагает, что данные характеристики должны находиться в числовом диапазоне от 0 до 1, поэтому, если это условие не выполняется, необходимо провести их нормирование с помощью линейных преобразований. Обозначим нормированные характеристики объектов через u_{ij} .

Проводим свертку двумерного массива u_{ij} . Для этого определяем одномерный массив θ_i обобщенных характеристик каждого объекта, которые интегрируют в себе основные оценки этого объекта из каждого информационного потока. Наряду с этим модель Раша предполагает введение еще одного вспомогательного одномерного массива β_j , который характеризует свойства информационных потоков, а именно степень их влияния на интегральную характеристику объектов.

Согласно модели Раша, вероятность P_{ij} того, что объект исследования с номером i будет описан информационным потоком с номером j по величине u_{ij} будет определяться выражением вида:

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (1)$$

Искомые характеристики θ_i и β_j будут находиться в результате приближения по вероятности значений теоретического массива (1) к полученным на опыте данным, характеризующим объекты системы u_{ij} . Это приближение лучше всего осуществлять на основании метода максимального правдоподобия (МП-метод) или метода наименьших квадратов (МНК).

Если использовать метод максимального правдоподобия, то необходимо решать систему уравнений вида [3]:

$$\begin{cases} \frac{\partial Lp(\theta_i, \beta_j)}{\partial \theta_i} = X_i - \sum_{j=1}^L \frac{\exp(\theta_i - \beta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \beta_j)} = X_i - \sum_{j=1}^L P_{ij} = 0, \\ \frac{\partial Lp(\theta_i, \beta_j)}{\partial \beta_j} = -Y_j + \sum_{i=1}^N \frac{\exp(\theta_i - \beta_j)}{1 + \exp(\theta_i - \beta_j)} = -Y_j + \sum_{i=1}^N P_{ij} = 0. \end{cases}, \quad (2)$$

где

$$Lp(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^N X_i \theta_i - \sum_{j=1}^L Y_j \beta_j - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L \ln[1 + \exp(\theta_i - \beta_j)],$$

функция правдоподобия, а

$$\sum_{j=1}^L x_{ij} = X_i, \quad \sum_{i=1}^N x_{ij} = Y_j.$$

Если использовать метод наименьших квадратов, то решение сводится к оптимизационной задаче [5, 6]:

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L (x_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^L \left(x_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

с системой ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \theta_i = 0; \\ \sum_{j=1}^L \beta_j = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Ограничения (4) не являются обязательными, вместо них можно использовать любые другие, которые соответствуют сути обобщения информации, или не использовать их вообще, проведя позже необходимое нормирование.

Таким образом, поведя указанные вычисления, удастся осуществить свертку информации на один порядок по размерности.

Модель Раша, в отличие от других моделей вычисления интегральных показателей объектов, позволяет получать интегральные оценки объектов по линейной шкале и эти оценки не будут зависеть от набора, количества и качества информационных потоков, а также от множества объектов системы [7, 8]. Это позволяет сделать вывод, что представленные модели наилучшим образом подходят для обобщения информации в сложных системах, что позволит повысить качество их управления.

3. Схема управления сложными системами по модели Раша

Как было сказано ранее, основная идея управления сложными системами, которая раскрыта в данной работе, состоит в интеграции информации, поступающей из различных источников и различных информационных потоков. При обобщении информации по модели Раша, на каждом этапе производится свертка информации, в результате чего ее размерность уменьшается на единицу, однако интегральные показатели, получаемые на каждом этапе, достаточно объективно отображают свойства объектов системы, полученные на основании данных, полученных до их обобщения.

Предположим, что для n объектов, составляющих сложную систему, собирается информация из m информационных потоков, причем в каждый поток информация собирается из r источников. На основании этого, можно описать структурную схему обобщения информации по модели Раша, которая представлена на рис. 1. Данная схема показывает, как можно обобщать информацию на основании двукратной свертки.

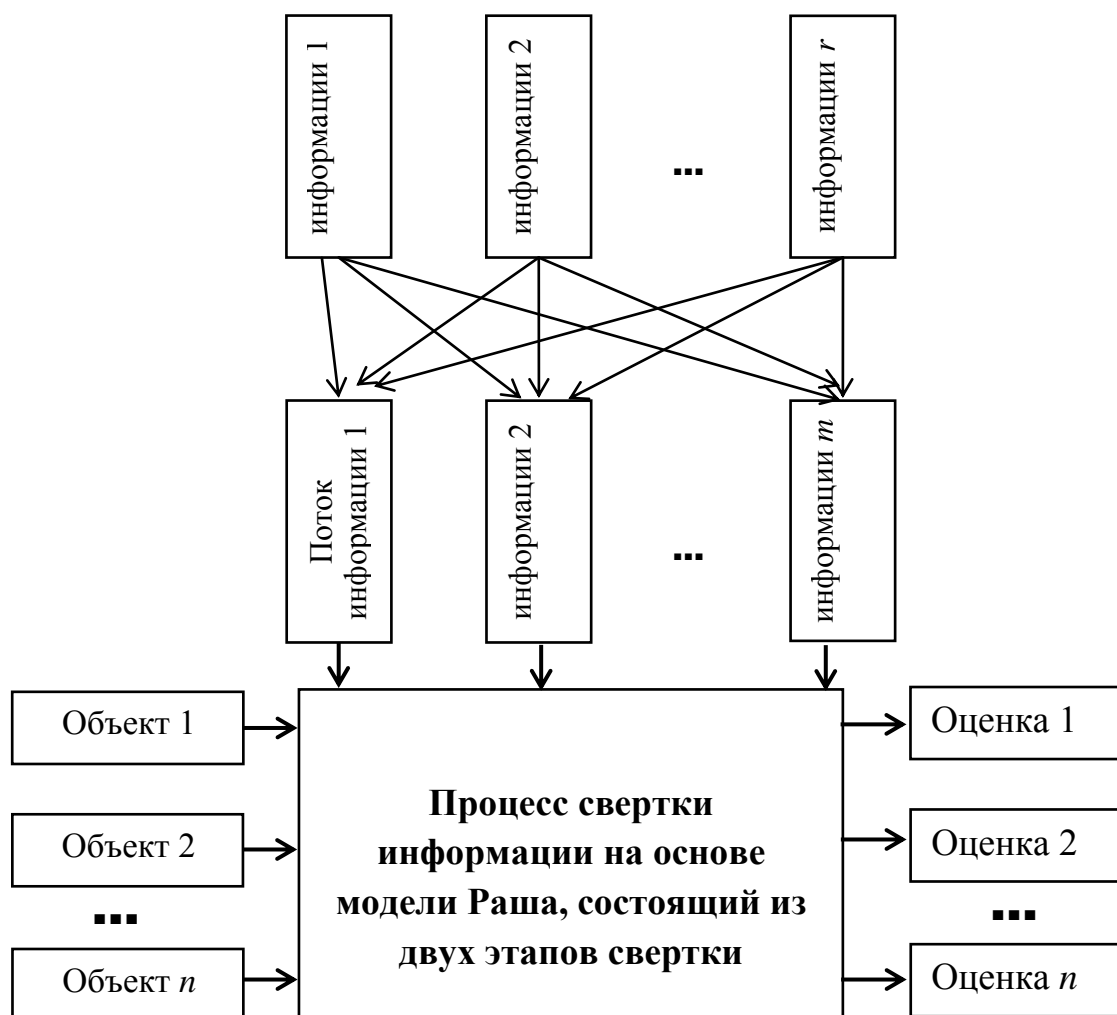


Рис. 1. Схема двукратной свертки информации, по потокам информации и по их источникам по модели Раша

Таким образом, трехмерный массив данных (Источники-Потоки-Объекты) интегрируются в одномерный вектор «Оценки объектов системы по заданным качествам», что приводит к наглядной интерпретации свойств этих объектов и возможности эффективного управления системой. Общая система управления сложными системами на основе модели Раша приведена в виде структурной схемы, которая приведена на рис. 2.



Рис. 2. Схема управления сложными системами по модели Раша

Схема управления, изображенная на рис. 2 показывает, что в управлении учувствуют не только интегральные оценки объектов системы, которая управляется, но и свойства информации, то есть качество информации, полученное по источникам управления и по потокам информации, которые создают эти источники. Таким образом, модель Раша дает более полную информацию для организации системы управления, чем традиционные методы интеграции информационных массивов.

4. Пример практической реализации схемы управления

Приведем методические рекомендации по практической реализации описанной системы обобщения данных для управления сложными системами.

Предположим, как и ранее, что для n объектов, которые обозначим через $O_1, O_2, \dots, O_n$, составляющих сложную систему, собирается информация из m информационных потоков, которые обозначим через $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m$. При этом информация в каждый поток собирается из r источников, которые обозначим как $I_1, I_2, \dots, I_r$.

Предполагается произвести двукратную свертку информации, сначала по источникам информации, в результате чего мы получим интегральные показатели каждого потока по всем объектам для всего множества всех источников. Структурная схема такого оценивания представлена на рис. 3.

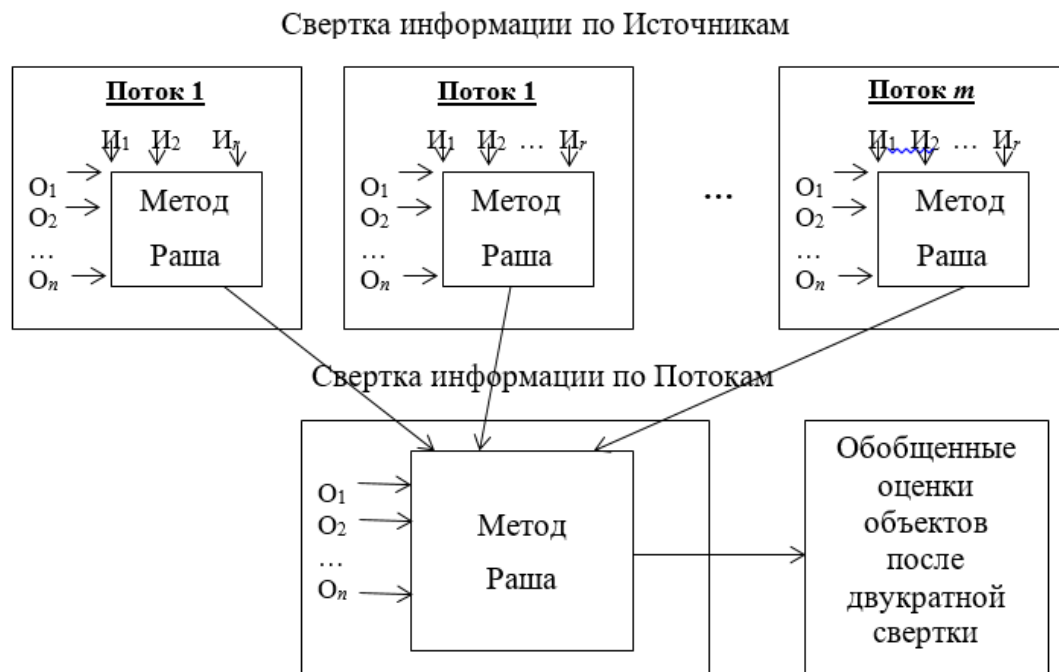
Однако, данная схема, которая указана на рис. 3, не является обязательной к исполнению. Она предполагает, что расчет характеристик объектов производится в логической последовательности, то есть сначала собирается информация, которая формируется по потокам на основании источников информации, а затем с помощью модели Раша источники информации интегрируются в обобщенные оценки, которые позже принимают участие в получении интегральных характеристик по всем потокам.

Однако, возможная обратная свертка информации, которая заключается в обобщении данных сначала по источникам информации, а в последствии по потокам. Схема такого обобщения информации приведена на рис. 4.

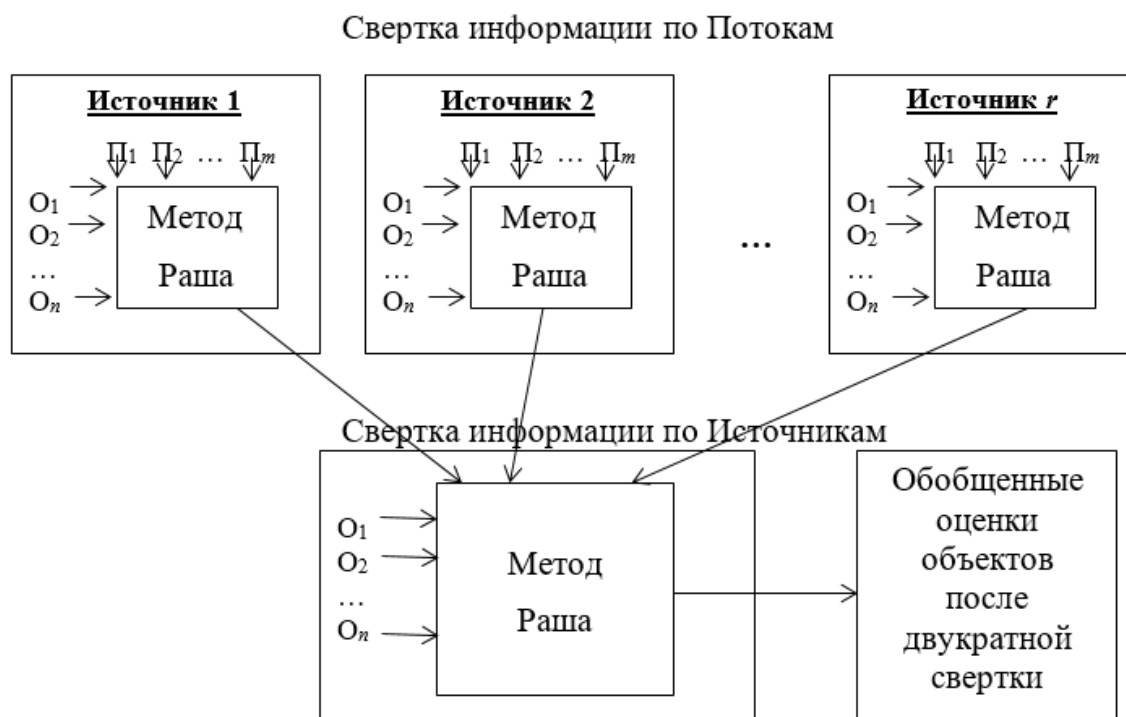
Далее, приведем пример использования методики свертки информации на конкретном примере.

Рассмотрим трехмерную задачу нахождения характеристик некоторых объектов, которую предоставляют систему управления, в которой учувствуют семи источников информации, которыми являются субъекты, люди, лица, принимающие решения или

эксперты. Они оценивают семь объектов системы по различным критериям, которые являются информационными потоками, служащими базой для оценки объектов.



**Рис. 3. Схема двукратной свертки информации
«Источники информации – Потоки информации»**



**Рис. 4. Схема двукратной свертки информации
«Потоки информации – Источники информации»**

Сразу оговоримся, что одним из условий применения модели Раша для свертки входящей информации является нормирование на единичную шкалу исходных данных для оценки объектов системы. Число критериев оценивания или потоков информации определим в количестве восьми.

В табл. 1 указаны частные оценки, которые дали эксперты или источники информации по критериям, или потокам информации для каждого объекта, которые составляют систему, которая подлежит эффективному управлению.

Таблица 1

Нормализованные характеристики 7 объектов системы по 8 информационным потокам, полученные на основании 6 источников информации.

Объект	Источник 1								Источник 2							
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈
O ₁	0,62	0,17	0,28	0,18	0,36	0,43	0,93	0,15	0,60	0,33	0,89	0,49	0,32	0,43	0,68	0,69
O ₂	0,20	0,80	0,81	0,20	0,05	0,24	0,02	0,96	0,13	0,01	0,66	0,72	0,59	0,75	0,43	0,62
O ₃	0,01	0,79	0,08	0,64	0,96	0,42	0,82	0,10	0,49	0,65	0,32	0,48	0,75	0,80	0,45	0,18
O ₄	0,91	0,46	0,73	0,36	0,16	0,84	0,88	0,40	0,95	0,40	0,22	0,65	0,07	0,31	0,16	0,46
O ₅	0,35	0,05	0,21	0,88	0,50	0,38	0,51	0,10	0,33	0,06	0,57	0,90	0,34	0,02	0,10	0,45
O ₆	0,08	0,97	0,89	0,10	0,95	0,14	0,47	0,87	0,32	0,07	0,79	0,74	0,95	0,48	0,54	0,00
O ₇	0,39	0,10	0,57	0,33	0,10	0,56	0,10	0,65	0,66	0,48	0,17	0,40	0,94	0,77	0,84	0,04
Объект	Источник 3								Источник 4							
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈
O ₁	0,11	0,02	0,45	0,41	0,08	0,04	0,16	0,75	0,34	0,97	0,06	0,12	0,19	0,03	0,65	0,08
O ₂	0,85	0,52	0,48	0,31	0,86	0,37	0,56	0,20	0,01	0,28	0,02	0,36	0,01	0,27	0,06	0,47
O ₃	0,13	0,61	0,93	0,36	0,04	0,31	0,63	0,04	0,47	0,85	0,71	0,87	0,95	0,79	0,20	0,53
O ₄	0,58	0,89	0,27	0,77	0,20	0,95	0,50	0,80	0,15	0,42	0,37	0,14	0,90	0,03	0,40	0,52
O ₅	0,17	0,42	0,42	0,80	0,66	0,58	0,58	0,19	0,47	0,47	0,39	0,99	0,32	0,42	0,37	0,20
O ₆	0,56	0,13	0,75	0,54	0,99	0,54	0,17	0,27	0,25	0,57	0,60	0,76	0,88	0,37	0,32	0,86
O ₇	0,98	0,66	0,61	0,35	0,55	0,30	0,83	0,17	0,14	0,85	0,05	0,29	0,32	0,84	0,60	0,36
Объект	Источник 5								Источник 6							
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈
O ₁	0,25	0,35	0,67	0,77	0,45	0,90	0,57	0,40	0,40	0,96	0,77	0,36	0,02	0,82	0,82	0,33
O ₂	0,10	0,56	0,77	0,63	0,26	0,35	0,96	0,38	0,93	0,49	0,52	0,56	0,55	0,77	0,23	0,66
O ₃	0,56	0,77	0,87	0,16	0,34	0,32	0,12	0,40	0,49	0,07	0,02	0,55	0,83	0,21	0,49	0,56
O ₄	0,80	0,77	0,12	0,59	0,43	0,60	0,06	0,74	0,10	0,19	0,57	0,45	0,64	0,17	0,98	0,64
O ₅	0,28	0,26	0,68	0,27	0,80	0,98	0,74	0,75	0,76	0,81	0,29	0,91	0,39	0,56	0,99	0,56
O ₆	0,34	0,28	0,54	0,81	0,45	0,79	0,21	0,86	0,49	0,28	0,27	0,10	0,61	0,32	0,33	0,07
O ₇	0,69	0,87	0,56	0,62	0,45	0,16	0,47	0,03	0,19	0,46	0,63	1,00	0,02	0,87	0,35	0,45

Тут следует отметить, что исходные трехмерные данные были получены в результате имитационного моделирования, то есть сгенерированы случайным образом. Подобным методом были сгенерированы данные для более чем 50 вычислительных экспериментов, которые показали адекватность, валидность и состоятельность оценок объектов при двукратной их свертке по модели Раша, что может служить основанием для рекомендации данной методики управления сложными системами в практической деятельности.

Для обоснования адекватности полученных интегральных оценок проводилось сравнение итоговых характеристик, полученных по модели Раша с оценками по существующему и хорошо апробированному методу получения итогового показателя, который получил название аддитивного метода, когда этот интегральный показатель просто равнялся среднеарифметическому частных оценок, иногда с учетом весов, то есть интегральный показатель по аддитивному методу должен рассчитываться по формуле:

$$\theta_n = \sum_{j=1}^L u_{nj}.$$

Для обработки информации из источников и потоков проведем двукратную свертку информации по модели Раша. Для этого был разработан вычислительный алгоритм, который был реализован на базе программного продукта MS Excel с подключенной надстройкой Solver.

На рис. 5 приведен вид вычислительного листа Excel с данными для одного из вычислительных экспериментов, а в табл. 2 приведены результаты свертки по информационным потокам.

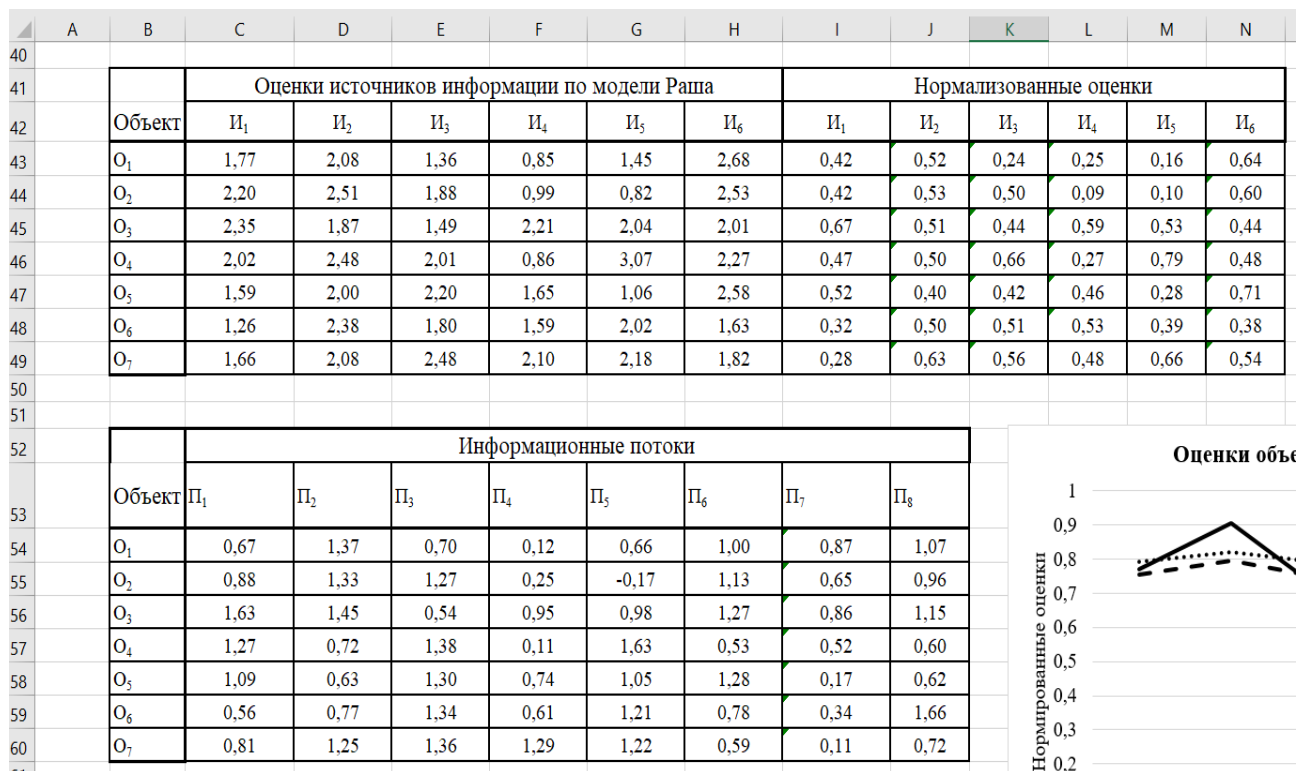


Рис. 5. Результаты расчета в MS Excel

Таблица 2

Обобщенные оценки объектов при свертке по информационным потокам

Объекты	Оценки по модели Раша						Нормализованные оценки					
	И ₁	И ₂	И ₃	И ₄	И ₅	И ₆	И ₁	И ₂	И ₃	И ₄	И ₅	И ₆
O ₁	1,76	2,26	1,98	1,52	1,75	2,10	0,35	0,47	0,35	0,31	0,27	0,58
O ₂	1,84	2,46	1,88	1,32	0,41	2,16	0,48	0,51	0,60	0,24	0,13	0,58
O ₃	2,41	2,08	1,36	2,24	1,71	1,70	0,62	0,61	0,38	0,59	0,52	0,46
O ₄	2,45	1,67	2,72	1,02	3,45	2,10	0,52	0,42	0,71	0,33	0,90	0,44
O ₅	1,74	1,51	2,12	2,44	1,97	3,07	0,39	0,28	0,39	0,54	0,33	0,71
O ₆	2,08	2,39	1,75	2,57	1,69	0,77	0,51	0,49	0,41	0,55	0,38	0,25
O ₇	1,74	2,06	1,90	0,89	2,15	1,99	0,40	0,54	0,52	0,17	0,68	0,48

На следующем шаге, по модели Раша проводилась свертка по источникам информации, результат которой позволял получить интегральные оценки объектов сложной системы. Результаты такой свертки по данным из табл. 1, приведены в табл. 3

Таблица 3

Интегральные оценки объектов θ_i , рассчитанные по трем методам

Оценки объектов	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇
Аддитивный метод	0,723	0,659	0,955	0,952	0,760	1,103	0,795
МП модель Раша	0,708	0,639	0,934	1,017	0,664	1,141	0,801
МНК модель Раша	0,681	0,676	0,957	1,030	0,659	1,164	0,787

Для наглядности, на рис. 6 приведены графики интегральных оценок объектов, полученные тремя методами

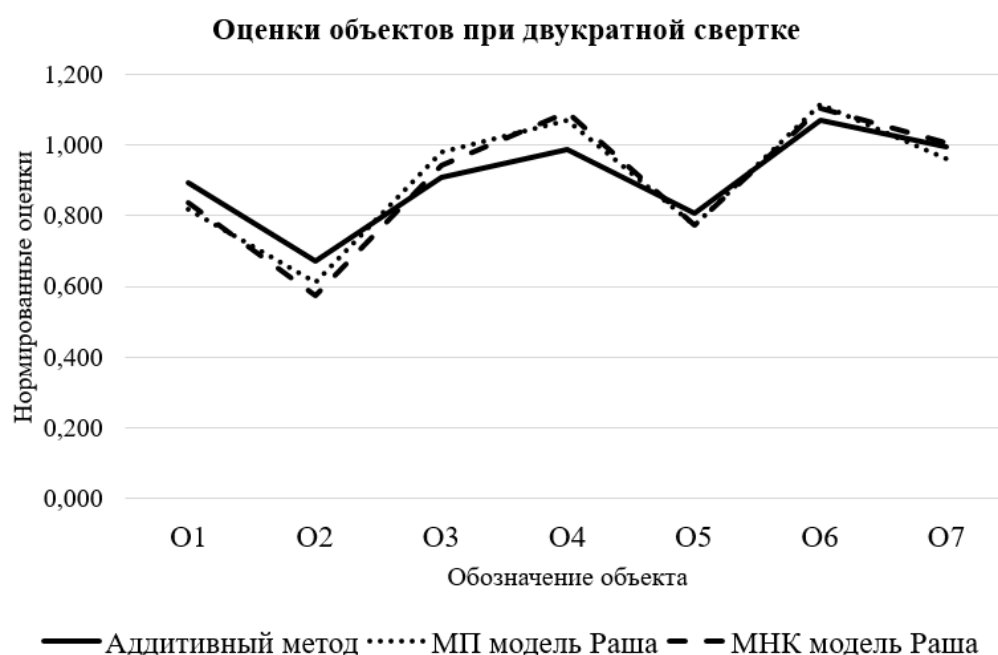


Рис. 6. Интегральные оценки объектов сложных систем

Как уже было сказано, модель Раша позволяет проводить не только обобщение данных для объектов сложных систем, но и оценивать свойства источников поступления этих данных с точки зрения их влияния на итоговые оценки объектов [8]. Эти свойства заключаются в оценки степени влияния данных на интегральные оценки объектов: чем выше влияние, тем меньше оценка данного канала информации.

В табл. 4 приведены оценки β степени влияния (а если точнее, то не влияния) информационных потоков на итоговые оценки объектов сложных систем, которые позволят выделить наиболее важные каналы получения информации о качестве получаемой информации из информационных потоков, а именно, данные оценки позволяют выяснить вопрос о степени влияния информационных потоков на итоговые оценки объектов сложных систем.

По аналогии, можно определить оценки влияния источников информации на оценки объектов сложных систем, которые могут быть получены по свертке, представлены в табл. 4. Такие оценки невыполнимости критериев, представленных источниками информации, представлены в табл. 5.

Таблица 4

Оценки свойств информационных потоков

Объект	Информационный поток							
	П ₁	П ₂	П ₃	П ₄	П ₅	П ₆	П ₇	П ₈
O ₁	0,44	0,42	0,16	0,55	0,92	0,23	0,39	0,24
O ₂	0,27	0,30	0,25	0,24	0,41	0,85	0,08	0,12
O ₃	0,83	0,90	0,40	0,81	0,12	0,68	0,77	0,94
O ₄	0,92	0,31	0,29	0,45	0,17	0,20	0,24	0,57
O ₅	0,74	0,18	0,23	0,60	0,36	0,16	0,99	0,40
O ₆	0,97	0,14	0,94	0,72	0,33	0,39	0,85	0,45
O ₇	0,05	0,55	0,76	0,47	0,76	0,87	0,49	0,06

Таблица 5

Оценки свойств источников информации

Объект	Источники информации						
	И ₁	И ₂	И ₃	И ₄	И ₅	И ₆	И ₇
O ₁	0,43	0,84	0,47	0,73	0,59	0,86	0,84
O ₂	0,30	0,12	0,06	0,10	0,32	0,00	0,12
O ₃	0,31	0,55	0,50	0,67	0,29	0,33	0,55
O ₄	0,93	0,10	0,33	0,77	0,04	0,37	0,10
O ₅	0,27	0,52	0,69	0,42	0,21	0,71	0,52
O ₆	0,04	0,89	0,04	0,81	0,75	0,34	0,89
O ₇	0,74	0,75	0,95	0,96	0,68	0,50	0,75

Таким образом, полученные оценки объектов сложных систем позволяют получать более объемные и объективные оценки свойств объектов сложных систем, которые включают в себя дополнительно еще и оценки качества или степени влияния потоков информации и источников информации, которые формируют интегральные оценки объектов сложных систем.

Заключение

Полученные по представленной модели результаты хорошо коррелируют с классическими методами многокритериального обобщения информации [9, 10], в частности, с аддитивным методом. В табл. 6 приведены коэффициенты корреляции Пирсона оценок, полученных по модели Раша, рассчитанные по МП-методу и по МНК, а также приведено их сравнение, рассчитанное по аддитивному методу. Корреляция позволит оценить связи или согласованность между характеристиками объектов сложных систем, полученные разными методами [11].

Таблица 6

Корреляционная матрица между оценками объектов сложных систем, рассчитанные разными методами при оценивании группой экспертов

<i>Коэффициенты корреляции Пирсона</i>	Оценки объектов		
	<i>Аддитивный метод</i>	<i>МП модель Раша</i>	<i>МНК модель Раша</i>
<i>Аддитивный метод</i>	1,000	0,903	0,933
<i>МП модель Раша</i>	0,903	1,000	0,985
<i>МНК модель Раша</i>	0,933	0,985	1,000

Как показывает корреляционная матрица, представленная в табл. 6, между оценками существует высокая корреляционная зависимость, что подтверждает то, что оценки, полученные сверткой исходной информации для объектов по модели Раша, согласуются с оценками, полученными по широко применяемому на практике аддитивным методом, и приведенные методики обобщения информации, могут применяться на практике для обобщения информации, принятия решений, и, как следствие, для совершенствования системы управления сложными системами.

Библиографический список

1. БРАВЕРМАН Э.М. Математические модели планирования и управления в экономических системах. Учебное пособие. - М.: Наука. 2007. 368 с.
2. БАРКАЛОВ С.А. Математические методы и модели в управлении и их реализация в MS Excel / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. - Воронежский ГАСУ. Воронеж, 2015. 265 с.
3. RASCH G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch.- Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960. - 160 p.
4. МАСЛАК А.А. Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства. Монография / А.А. Маслак, С.И. Моисеев. – Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. – 177 с.
5. МОИСЕЕВ С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов / Моисеев С.И. // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. № 2.1 (16), 2015.- С. 166-172
6. МОИСЕЕВ С.И. Методы принятия решений, основанные на модели Раша оценки латентных переменных / С.И. Моисеев, А. Ю. Зенин // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. - №2.3 (16). - С. 368-375

7. МАСЛАК А.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов / А.А. Маслак, С.И. Моисеев, С.А. Осипов // Проблемы управления, № 5, 2015. — С. 58-66.
8. MASLAK A A, MOISEEV S I, OSIPOV S A AND POZDNYAKOV S A 2017 Investigation of Measurement Precision of Latent Variable Depending on the Range of Variation of Indicators Set Radio Electronics, Computer Science, Control **1** p 40
9. МОИСЕЕВ С.И. Математические методы и модели в экономике. Учебное пособие / С. И. Моисеев, А. В. Обуховский. – Воронеж: АОНО ВПО "Ин-т менеджмента, маркетинга и финансов". - Изд. 2-е, испр., 2009.-160 с.
10. БАРЛАКОВ С.А. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий / С.А. Барлаков, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. - СПб.: Интермедия, 2017.— 264 с.
11. БАРКАЛОВ С.А. Модель оценивания профессиональной пригодности работников, основанная на теории латентных переменных / С.А. Баркалов, Н.Ю. Калинина, С.И. Моисеев, Т.В. Насонова — Экономика и менеджмент систем управления. № 1.1 (23), 2017. — С. 140-150.

CONTROL METHODS FOR COMPLEX SYSTEMS BASED ON THE THEORY OF LATENT VARIABLES

S.A. Barkalov, S.I. Moiseev, V.A. Timofeeva

Barkalov Sergey Alekseevich, Voronezh State Technical University, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: barkalov@vgasu.vrn.ru, tel.: +7-473-2-76-40-07

Moiseev Sergey Igorevich, Voronezh State Technical University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: mail@moiseevs.ru, tel.: +7-920-229-92-81

Timofeeva Victoria Alekseevna, Voronezh State Technical University, Master's student of the Department of Management,

Russia, Voronezh, e-mail: Vika.stativkina@mail.ru, тел.: +7-952-545-97-30

Abstract. This paper describes a methodology for managing complex systems based on the Rush model for estimating latent variables. The main idea underlying this study is that in modern conditions the behavior of complex systems is influenced by a large number of factors, the observation of which is created by voluminous arrays of information, which is not easy to process. In this regard, for effective management of complex systems, it is necessary to generalize information, obtaining integral indicators of system objects that reflect their properties. For these purposes, it is proposed to use the Rush model, which, unlike other mathematical models for generalizing information, allows one to obtain integral estimates on a linear scale that do not depend on information flows and the set of objects that form the system. The block diagram of complex systems control according to the presented model is given. Methodical recommendations on the use of the control system in practice are given. It is shown that the assessments of the system objects are adequate and reflect well the investigated properties of the system objects, which leads to effective control.

Keywords: complex systems, management, convolution of information, latent variables, Rush's model.

References

1. Braverman E. M. Matematicheskiye modeli planirovaniya i upravleniya v ekonomicheskikh sistemakh. Uchebnoye posobiye. - M.: Nauka. 2007. 368 pp.

2. Barkalov S.A. [Formirovaniye upravlencheskogo resheniya na osnove postroyeniya kompleksnykh otsenok] / Barkalov S.A., Kurochka P.N. FES: Finansy. Ekonomika.. 2017. № 6. P. 30-36.
3. Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch.- Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960. - 160 p.
4. Maslak A.A., Moiseev S.I. The Rasch model of estimation of latent variables and its properties. Monograp. [Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i yeye svoystva. Monografiya]. - Voronezh: NPTS «Nauchnaya kniga». 2016. 177 p.
5. Moiseev, S.I. Rasch model for estimating latent variables, based on the least squares method [Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh, osnovannaya na metode naimen'shikh kvadratov]. - Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. Nauchno-prakticheskiy zhurnal. N 2.1 (16). 2015.- P. 166-172
6. Moiseev, S. I. Methods of decision-making based on the Rasch model of latent variables estimation [Metody prinyatiya resheniy, osnovannyye na modeli Rasha otsenki latentnykh peremennykh]. S.I. Moiseev, A. Yu. Zenin. Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. 2015. N 2.3 (16). P. 368-375
7. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. Comparative analysis of the estimates of the parameters of the Rasch model obtained by the methods of maximum likelihood and least squares [Sravnitel'nyy analiz otsenok parametrov modeli Rasha, poluchennykh metodami maksimal'nogo pravdopodobiya i naimen'shikh kvadratov]. - Management problems [Problemy upravleniya], N 5, 2015. - P. 58-66.
8. Maslak A A, Moiseev S I, Osipov S A and Pozdnyakov S A 2017 Investigation of Measurement Precision of Latent Variable Depending on the Range of Variation of Indicators Set Radio Electronics, Computer Science, Control 1 p 40
9. Moiseev S. I. Mathematical methods and models in economics. Textbook [Matematicheskiye metody i modeli v ekonomike. Uchebnoye posobiye] / S. I. Moiseev, A. V. Obukhovskiy. - Voronezh: AONO VPO "Institute of Management, Marketing and Finance". - Ed. 2nd, rev., 2009.-160 pp.
10. Barlakov S.A., Moiseev S.I., Poryadina V.L. Models and methods in management and economics with the use of information technologies: textbook [Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniym informatsionnykh tekhnologiy]. – SPb.: Intermedia, 2017. 264 pp.
11. Barkalov, S. A. The model for assessing the professional suitability of employees, based on the theory of latent variables [Model' otsenivaniya professional'noy prigodnosti rabotnikov, osnovannaya na teorii latentnykh peremennykh]/ S. A. Barkalov, N. Yu. Kalinin, S. I. Moiseev, T. V. Nasonova. Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. N. 1.1 (23). 2017. P. 140-150.

МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ АНАЛИЗЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.А. Тимофеева

Баркалов Сергей Алексеевич*, Воронежский государственный технический университет,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: barkalov@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-473-2-76-40-07

Моисеев Сергей Игоревич, Воронежский государственный технический университет,
кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: mail@moiseevs.ru, тел.: +7-920-229-92-81

Тимофеева Виктория Алексеевна, Воронежский государственный технический
университет, магистрант кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: Vika.stativkina@mail.ru, тел.: +7-952-545-97-30

Аннотация. В данной работе описана математическая модель, которая позволяет проводить оценки качественных показателей при системном анализе. Модель основана на теории латентных переменных и позволяет получать независимые от оценочных критериев оценки. На основании вычислительных экспериментов показано, что оценки адекватные и согласуются с результатами оценивания, полученными другими методами.

Ключевые слова: качественные показатели, оценка, сложные системы, латентные переменные, модель Раша.

Введение

Системный анализ - это направление научного исследования с одной стороны очень актуальное, с другой стороны достаточно сложное. С одной стороны, методами системного анализа можно решить многие задачи, связанные с аналитическим планированием, прогнозированием и анализом сложных систем. С другой стороны, системный анализ – это очень широкое направление математического моделирования, которое включает в себя не только математический анализ, но и разделы линейной алгебры, теории вероятностей и математической статистики, методы оптимизации, элементы теории принятия решений и многие иные разделы математического моделирования.

Проблем исследования систем аналитическими методами в настоящее время достаточно много, они в какой-то мере решаются с использованием различных, в том числе новых методов математического моделирования, которые основаны на использовании оптимизационном моделировании и стохастических методах. В данной работе хотелось осветить одну из таких проблем, а именно методику оценивания объектов системы по количественным критериям.

Любая система представляет из себя некоторый набор объектов – элементов системы, которые связаны между собой некоторой сетью отношений или связей. Для анализа таких систем рационально изучить как сами объекты и их сущности, так и связи, в которых эти объекты и формируют систему.

Одна из проблем использования математического моделирования в системном анализе заключается в том, что для описания свойств объектов необходимо использовать числовые характеристики их параметров или показателей. Однако, большинство показателей или характеристик элементов системы являются качественными, которые невозможно напрямую измерить объективно, а можно лишь оценить на основании некоторых вспомогательных средств измерения. Такие показатели в теории измерений называются

латентными переменными, а индикаторы, которые позволяют их оценивать получили название индикаторных переменных.

1. Цели и задачи работы

В данной работе поставлена цель предложить методику оценивания неявных или латентных показателей систем с целью выявления их свойств. В качестве математической модели получения числовых оценок качественных показателей, будет лежать математическая модель Раша оценки латентных переменных. Данная модель была разработана для оценки неявных показателей на основании набора объективных наблюдений за этим показателем, то есть на основании индикаторных переменных.

Для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Рассмотреть возможность применения модели Раша для оценки качественных показателей систем с возможностью проведения их дальнейшего анализа.
2. Описать процесс реализации вычислительных процедур вычисления числовых характеристик качественных показателей элементов системы.
3. Обосновать адекватность количественных оценок качественных параметров системы, которые основаны на модели Раша.

Математический аппарат количественного оценивания качественных показателей по математическим методам, основанным на модели Раша, приведем в следующем разделе.

2. Математические основы применения модели Раша для количественного оценивания качественных характеристик элементов систем

Теория латентных переменных подготовила хороший математический аппарат, который можно использовать в системном анализе. Этот математический аппарат позволит оценивать латентные переменные, то есть некоторые показатели, которые невозможно измерить прямыми методами.

Существует несколько подходов к оцениванию латентных переменных, однако наиболее прогрессивной является модель Раша [1, 2], которая наилучшим образом подходит к оценке качественных показателей по тому или иному критерию.

Пусть имеется возможность оценивания N различных объектов системы, которые являются качественными. Обозначим эти объекты через $A_1, A_2, \dots, A_N$. Очевидно, что данные объекты должны быть оценены с помощью некоторых инструментов или критериев, количество которых обозначим через L и дадим им обозначения в виде: $K_1, K_2, \dots, K_L$.

Для оценивания качественных показателей на основе предложенных критериев необходимо использовать частные критериальные оценки U_{ij} , которые несут смысл частной оценки i -ого показателя по j -му оценочному критерию.

Тут может возникнуть проблема, связанная с тем, что оценки объектов системы могут измеряться по разным оценочным шкалам и иметь различную размерность. Однако, на основании линейных преобразований, эти оценки могут быть подвергнуты алгоритму нормализации [3], в результате которой мы получим оценки объектов системы по всем критериям u_{ij} по одной и той же шкале, и они все примут значения из единичного интервала размерностью $[0; 1]$.

Самым простым методом получить оценки объектов системы на основании оценочных критериев, которые мы ранее обозначили через u_{nj} , при этом учитывается тот факт, что эти оценки нормализованы на единичную шкалу, то есть измеряются в интервале от 0 до 1, является метод, когда итоговые оценки параметров системы, которые оцениваются количественно при их качественной сути, вычисляются как сумма частных оценок, иногда умноженные на веса или важности критериев оценивания объектов системы.

Если веса критериев принять равными единицы, то оценки параметром системы, индексом i и имеющих описанные качественный характер. Тогда простейшим образом общий итоговый показатель оценки данного объекта системы X_i можно рассчитать по формуле:

$$X_i = \sum_{j=1}^L u_{ij} . \quad (1)$$

Для использования модели Раши и его обоснования, используем подход, основанный на теории вероятностей и математической статистике.

Предположим, что рассматриваются два объекта сложных систем с номерами n и m , которые участвуют в сравнении по некоторому качественному показателю. Введем в виде вероятностной переменной, некоторую величину P_{ij} - вероятность или меру того, что i -ый объект рассматриваемой системы удовлетворяет свойствам этой системы j -му критерию. Необходимо пояснить, что значит применяемый термин «удовлетворяет». Это означает, что рассматриваемый объект будет скорее всего повышать исследуемые свойства системы по приведенному критерию, то есть его роль в функционировании системы будет скорее положительной, чем отрицательной

Тогда вероятность: P_{ij} – можно рассматривать как вероятность положительной оценки включения объекта, который подвергается анализу, в общую систему требований к этому объекту, то есть критерий K_j который оценивает объект системы оценивает этот объект положительно. По аналогии, можно выделить критерии, которые оценивают элементы системы, которые подвергаются оценки, как отрицательные, вероятностным методом, их вероятности равны: $(1-P_{ij})$.

Для объекта системы с номером m можно записать аналогичное выражение. А именно,

Если обозначить через: N_{11} – количество критериев, по которым объект системы удовлетворяет требованиям критерия; через переменную N_{10} обозначим количество критериев, которые признают, что объект системы с номером m удовлетворяет по данному критерию, а тот, что с номером n не удовлетворяет; кроме этого обозначим через N_{01} количество критериев, которые обозначают обратную ситуацию, то есть второй объект системы более подходит для данной системы. В данной модели, последний вариант равен количеству оценок, когда оба объекта не подходят по привлекательности по данному качественному объекту оценивания, его обозначим через N_{00} .

Очевидно, что для оценки качества объектов системы, необходимо использовать только показатели N_{10} и N_{01} , которые показывают степень превосходства одного объекта перед другим с точки зрения используемых критериев оценивания. В свою очередь показатели N_{11} и N_{00} оказываются не информативными и не дадут представления о том, насколько один объект по качеству превосходит другой.

На основании данного подхода можно использовать формулы обрванной вероятности, и записать формулу, которая опишет вероятность того, что первый объект системы будет иметь предпочтение перед вторым (то есть первый лучше, а второй хуже по критерию), эта вероятность равна $P_{mj}(1-P_{nj})$. Точно также определим степень оценки второго объекта перед первым: $(1-P_{mj})P_{nj}$. Получив отношение вероятностных оценок, получим соотношение вида:

$$\frac{N_{10}}{N_{01}} \sim \frac{P_{mj}(1-P_{nj})}{P_{nj}(1-P_{mj})} . \quad (2)$$

Количество критериев L по условию задачи не определено, оно может быть бесконечно большим. Сделав перенумерацию индексов переменных, и обозначив элементы

сложной системы через индексы n и m , их можно сравнить с некоторым объектом системы, номер которого обозначим через k . В итоге, отношение (1) запишется в виде пропорции:

$$\frac{P_{mj}(1-P_{nj})}{P_{nj}(1-P_{mj})} = \frac{P_{mk}(1-P_{nk})}{P_{nk}(1-P_{mk})}. \quad (3)$$

Из пропорции (3) можно выделить соотношение вида:

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{P_{nk}}{1-P_{nk}} \cdot \frac{1-P_{mk}}{P_{mk}} \cdot \frac{P_{mj}}{1-P_{mj}}. \quad (4)$$

Возьмем некоторый объект системы со средним качеством, индекс которого обозначим через ноль, а также выделим некоторый средний критерий, у которого также индекс будет нулевым. Тогда оценки эталонного объекта системы (с нулевым индексом) по критерию оценивания с нулевым индексом должны по данной шкале быть нейтральными друг другу, то есть вероятность положительной оценки эталонного объекта по эталонному критерию будут $\frac{1}{2}$. Учитывая данный факт, можно записать выражение вида:

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} \cdot \frac{1-P_{00}}{P_{00}} \cdot \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} \cdot \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}}. \quad (5)$$

В данной записи по формуле (4) величина $\left(\frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} \right) = d_n$ – это числовая оценка n -ого

объекта сложной системы по качественному показателю, а выражение $\frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \frac{1}{b_j}$

показывает свойства оценочного критерия, то есть это обратная величина выполнимости j -ого критерия на всем множестве объектов, которые оцениваются по модели Раша:

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = \frac{d_n}{b_j}. \quad (6)$$

Исходя из этого, можно вычислить вероятность или степень того, что j -я ценная бумага устраивает инвестора по n -му критерию. Эта вероятность будет определяться соотношением уровня привлекательности ценной бумаги к степени важности, выполнимости критерия.

На основании выражения (6), с помощью взятия логарифмов от его правой и левой части, можно записать окончательную формулу:

$$\ln \frac{P_{nj}}{(1-P_{nj})} = \ln \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} + \ln \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \ln(d_n) - \ln(b_j).$$

Если ввести переобозначения вида $\ln d_n = \ln \frac{P_{n0}}{1-P_{n0}} = \theta$, или $\ln \frac{P_{0j}}{1-P_{0j}} = \ln b_j = \beta_j$

находим:

$$\ln \frac{P_{nj}}{(1-P_{nj})} = \theta_n - \beta_j.$$

Отсюда, окончательно получаем

$$\frac{P_{nj}}{1-P_{nj}} = e^{\theta_n - \beta_j}.$$

Возвращаясь к исходной индексации, получаем выражение, позволяющее найти вероятности P_{ij} :

$$P_{ij} = \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}}. \quad (7)$$

Таким образом, удалось получить с помощью модели Раша, частные оценки объектов по качественным критериям, которые согласуются с теорией латентных переменных [4].

3. Методы получения оценок объектов систем по качественным показателям

Остается открытым вопрос: а как на практике получать оценки объектов системы по качественным критериям θ_i и оценивать свойства критериев, таких как их степень выполнимости β_j на основании частных оценок объектов по критериям u_{ij} , которые, как было сказано ранее нормированы на единичную шкалу.

Для получения числовых оценок указанных параметров системы, традиционно применяется аддитивный метод, который изложен ранее и суть его заключается в определении некоторой функции полезности для каждого объекта системы, который приведен и описан формулой (1).

Модель Раша оценивания латентных переменных, позволит улучшить качество оценок объектов системы. Для ее применения необходимо использовать вычислительное ядро, которое основано на методе наименьших квадратов, которое описано в работах [4, 5]. Суть данного метода заключается в том, что латентные переменные θ_i и β_j должны быть выбраны таким образом, чтобы сумма квадратов отклонений эмпирических данных u_{ij} от расчетных вероятностей (7) была наименьшей. Для этого необходимо решить оптимизационную задачу следующего вида:

$$S(\theta_i, \beta_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (u_{ij} - P_{ij})^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left(u_{ij} - \frac{e^{\theta_i - \beta_j}}{1 + e^{\theta_i - \beta_j}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (8)$$

Для нахождения переменных, необходимым условием для получения оценок объектов системы и оценок критериев θ_i и β_j , необходимо требование не отрицательности этих оценок, что позволяет сформулировать следующее условие, которое дополняет оптимизационную задачу (8) дополнительным ограничением:

$$\theta_i \geq 0; \beta_j \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (9)$$

Для нормировки латентных переменных можно использовать и применять и иные методы нормировочных алгоритмов, например, нормирование на единичную сумму, среднюю нулевую оценку, нормирование на единичную шкалу и другие.

Решение задачи оптимизации (8) и (9) можно проводить с использованием надстройки «Поиск решений» MS Excel. Покажем это на примере.

4. Обоснование адекватности оценивания показателей

Для того, чтобы использовать формулу (6) для практических целей, были проведены вычислительные эксперименты, суть которых заключалась в том, чтобы генерировать частные оценки показателей и находить их интегральные оценки разными методами, то есть по формулам (1) и (8), (9). Если оценки полученными методами будут хорошо коррелировать, то это даст основание считать, что модель Раша дает адекватные оценки показателей, так как они близки с оценками по аддитивному методу, который хорошо апробировал себя на практике. Результаты одного из таких вычислительных экспериментов приведем ниже.

Предположим, что имеется 10 показателей системы, для оценки которых используется 8 критериев. Частные нормированные на единичную шкалу оценки показателей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нормированные оценки показателей по критериям

Показатели	Критерии							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,038	0,419	0,250	0,604	0,761	0,621	0,526	0,897
2	0,157	0,385	0,974	0,355	0,702	0,933	0,092	0,041
3	0,416	0,463	0,676	0,585	0,700	0,161	0,792	0,870
4	0,823	0,431	0,857	0,297	0,821	0,451	0,529	0,059
5	0,059	0,975	0,893	0,560	0,748	0,636	0,099	0,504
6	0,504	0,190	0,338	0,232	0,978	0,118	0,043	0,977
7	0,620	0,424	0,005	0,172	0,136	0,874	0,943	0,409
8	0,427	0,988	0,196	0,259	0,465	0,326	0,818	0,804
9	0,556	0,477	0,725	0,091	0,199	0,150	0,064	0,610
10	0,209	0,442	0,151	0,776	0,767	0,490	0,410	0,047

На основании этих данных, по формулам (1), (8) и (9) произведен расчет итоговых оценок показателей, результаты которого приведены в табл. 2, а в табл. 3 приведены итоговые оценки критериев, полученные по модели Раша.

Таблица 2

Интегральные оценки показателей

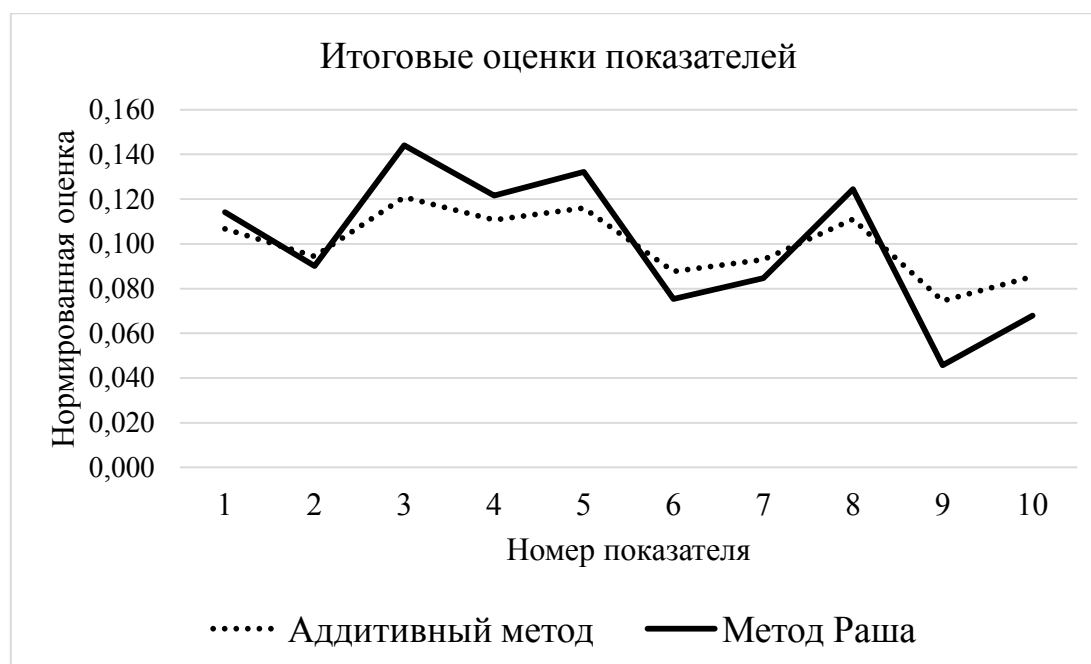
Показатель	Аддитивный метод		Метод Раша	
	Абсолютная	Нормированная	Абсолютная	Нормированная
1	4,115	0,107	1,102	0,114
2	3,640	0,094	0,869	0,090
3	4,663	0,121	1,390	0,144
4	4,268	0,111	1,173	0,122
5	4,473	0,116	1,276	0,132
6	3,380	0,088	0,727	0,075
7	3,583	0,093	0,817	0,085
8	4,282	0,111	1,201	0,124
9	2,872	0,074	0,441	0,046
10	3,293	0,085	0,655	0,068

Таблица 3

Интегральные оценки критериев

Критерий	1	2	3	4	5	6	7	8
Оценка строгости	1,499	0,891	0,948	1,407	0,433	1,054	1,231	0,885
Нормированная оценка	0,180	0,107	0,114	0,169	0,052	0,126	0,147	0,106

На рис. 1 приведены графики сравнения оценок, которые получены по аддитивному методу и методу Раша.



**Рис. 1 Оценки показателей
по аддитивному методу и методу Раша**

Из рис. 1 видно, что результаты оценивания показателей хорошо согласуются друг с другом. Аналогичные результаты показали и другие вычислительные эксперименты, что подтверждает адекватность оценок, полученных по модели Раша

Таким образом, полученные оценки качественных показателей в сложных системах, полученные по модели Раша позволяют объективные интегральные оценки показателей [6], которые включают в себя дополнительно оценки самих критериев, на основании которых проводится оценивание.

Библиографический список

1. Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch.- Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960. - 160 p.
2. Маслак А.А. Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства. Монография / А.А. Маслак, С.И. Моисеев. – Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. – 177 с.
3. Баркалов С.А. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий / С.А. Барлаков, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. - СПб.: Интермедия, 2017.— 264 с.
4. МОИСЕЕВ С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов / Моисеев С.И. // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. № 2.1 (16), 2015.- С. 166-172
5. МОИСЕЕВ С.И. Методы принятия решений, основанные на модели Раша оценки латентных переменных / С.И. Моисеев, А. Ю. Зенин // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. - №2.3 (16). - С. 368-375
6. МАСЛАК А.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов / А.А. Маслак, С.И. Моисеев, С.А. Осипов // Проблемы управления, № 5, 2015. — С. 58-66.

METHODS FOR EVALUATING QUALITATIVE INDICATORS IN ANALYSIS OF COMPLEX SYSTEMS

S.A. Barkalov, S.I. Moiseev, V.A. Timofeeva

Barkalov Sergey Alekseevich, Voronezh State Technical University, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: barkalov@vgsu.vrn.ru, tel.: +7-473-2-76-40-07

Moiseev Sergey Igorevich, Voronezh State Technical University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: mail@moiseevs.ru, tel.: +7-920-229-92-81

Timofeeva Victoria Alekseevna, Voronezh State Technical University, Master's student of the Department of Management,

Russia, Voronezh, e-mail: Vika.stativkina@mail.ru, тел.: +7-952-545-97-30

Abstract. This paper describes a mathematical model that allows assessing quality indicators in system analysis. The model is based on the theory of latent variables and allows one to obtain estimates independent of the evaluation criteria. On the basis of computational experiments, it is shown that the estimates are adequate and agree with the estimation results obtained by other methods.

Keywords: qualitative indicators, assessment, complex systems, latent variables, Rasch model.

References

1. Rasch G. Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch.- Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960. - 160 p.
2. Maslak A.A., Moiseev S.I. The Rasch model of estimation of latent variables and its properties. Monograp. [Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i yeye svoystva. Monografiya]. - Voronezh: NPTS «Nauchnaya kniga». 2016. 177 p.
3. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Poryadina V.L. Models and methods in management and economics with the use of information technologies: textbook [Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniym informatsionnykh tekhnologiy]. – SPb.: Intermedia, 2017. 264 pp.
4. Moiseev, S.I. Rasch model for estimating latent variables, based on the least squares method [Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh, osnovannaya na metode naimen'shikh kvadratov]. - Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. Nauchno-prakticheskiy zhurnal. N 2.1 (16). 2015.- P. 166-172
5. Moiseev, S. I. Methods of decision-making based on the Rasch model of latent variables estimation [Metody prinyatiya resheniy, osnovannyye na modeli Rasha otsenki latentnykh peremennykh]. S.I. Moiseev, A. Yu. Zenin. Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya. 2015. N 2.3 (16). P. 368-375
6. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. Comparative analysis of the estimates of the parameters of the Rasch model obtained by the methods of maximum likelihood and least squares [Sravnitel'nyy analiz otsenok parametrov modeli Rasha, poluchennykh metodami maksimal'nogo pravdopodobiya i naimen'shikh kvadratov]. - Management problems [Problemy upravleniya], N 5, 2015. - P. 58-66.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТИНГЕНТА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

В.Л. Порядина, Т.Г. Лихачева

Порядина Вера Леонидовна*, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: porjadina_vl@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-903-8-52-84-53
Лихачева Татьяна Геннадиевна, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления
Россия, г. Воронеж, e-mail: tlihacheva@vgasu.vrn.ru, тел.: +7-910-344-30-83

Аннотация. В работе представлена математическая модель, которая позволит в динамике проанализировать формирование контингента потребителей при выпуске нового товара или предоставлении новой услуги. Учитывается значительное ускорение темпов формирования контингента потребителей, связанное с развитием цифровых технологий. Предполагается, что в условиях конкуренции спрос формируется поэтапно. На начальном этапе создается некоторый контингент потребителей, который на последующих этапах может меняться вследствие конкурентной борьбы. Модель основана на теории марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретным состоянием. Проанализированы временные зависимости вероятностных характеристик случайного процесса.

Ключевые слова: потребление, конкуренция, спрос, математическое моделирование, марковские случайные процессы.

Введение

В современное время кардинально меняется система реализации благ, на ведущее место выходят цифровые технологии продаж товаров и услуг. Это, конечно, связано как с изменением экономической жизни практически всех государств в условиях пандемии, так и с интенсивным развитием цифровых технологий. Цифровые технологии приводят к тому, что перераспределение контингента потребителей значительно ускоряется и динамика их распределения возрастает.

Рост продаж товаров через Интернет-магазины с использованием безналичной оплаты и дистанционным получением благ в 2021 году намного опережает показатели предыдущего года. Для многих организаций, Интернет-продажи являются единственным выходом из начавшегося экономического кризиса. Важную роль в переходе на электронные продажи, конечно оказала пандемия COVID-19, которая заставила многих потребителей осуществлять покупки on-line.

Ввиду этого, одной из самых актуальных задач организации продаж товаров и услуг в сегодняшних условиях является разработка математической модели, позволяющей осуществлять моделирование и прогнозирование состояния потребительского спроса в условиях цифровой экономики и организации дистанционного продвижения представляемых благ.

Цели и задачи исследования

Целью данного исследования является разработка математической модели формирования спроса на произвольное благо, предоставляемое некоторой кампанией в информационном пространстве, связанное с мероприятиями, направленными на продвижение товаров и услуг и формированием контингента возможных потребителей.

Ведение маркетинговых исследований по продвижению и реализации товаров и услуг с использованием дистанционных технологий предполагает, что это очень быстрый по

времени процесс, намного более динамичный, чем при традиционных методах торговли, на который оказывает влияние большое количество случайных или просто неучтенных факторов, приводящих к мгновенной смене конкурентных позиций в условиях рынка. Для математического моделирования процессов продвижения товаров и услуг в условиях онлайн торговли, удобно использовать вероятностные подходы, а учитывая динамику процесса, среди них наиболее подходящими являются математические модели, основанные на теории случайных процессов [1-3], а именно, основанные на методах и моделях марковских случайных процессов с непрерывным временем и дискретным состоянием [2, 4].

Математическая модель задачи

Рассмотрим наиболее общую ситуацию продвижения нового блага в условиях Интернет-продаж [5, 6]. Некоторая организация A и ее конкурент (или конкуренты), которую условно назовем компанией B , разрабатывает новый вид блага к выпуску на рынок. На первом этапе проводится разработка продвижения блага в интернет-пространстве как для стороны A , так и для конкурента B , однако товар еще на рынке не выпущен или выпущен в тестовом режиме.

Затем рассматриваем этап, заключающийся в том, что сторона A выпустила свой товар на рынок, и, возможно конкурент B также выпустил товар.

На этой стадии идет борьба за потенциальных клиентов и стороне A целесообразно разработать маркетинговые мероприятия, связанные с рекламой и условиями продаж, которые позволят перевести потребителей от конкурента B , на сторону A . В итоге, формируется разделение потребителей, когда какая-то их часть останется у стороны A , а оставшиеся у конкурента B .

В соответствии с описанной системой формирования контингента потребителей, случайный процесс можно задать в виде множества следующих состояний:

S_0 – начало ведения конкурентной борьбы, разработка стратегии его продвижения, но товар или услуга на рынок еще не поступил;

S_1 – конкурент B выпустил товар на рынок, планирует осуществлять его продвижение, формируется контингент потребителей для конкурента;

S_2 – сторона A выпустила товар на рынок, планирует осуществлять его продвижение, формируется контингент потребителей для этой стороны, разрабатываются мероприятия по перехвату потребителей у конкурента;

S_3 – конкурент B сформировал свой контингент потребителей;

S_4 – сторона A сформировала свой контингент потребителей, состояние соответствует стабильному формированию объема потребления для стороны A .

Марковский случайный процесс будет описываться рядом параметров, среди которых были выделены 3 временных и 2 вероятностных. К временным параметрам относятся:

T_1 – среднее время до вывода товара или услуги на рынок, либо стороной A , либо конкурентом B . Это время можно оценить, используя среднее время подготовки блага к выпуску его на рынок.

T_2 – среднее время для стороны A от момента вывода блага на рынок, до окончания мероприятий по формированию контингента потребителей (например, время рекламных мероприятий);

T_3 – среднее время для конкурента B , от момента вывода блага на рынок, до окончания мероприятий по формированию контингента потребителей;

К вероятностным параметрам относятся:

p_1 – вероятность того, что сторона A выпустит на рынок благо быстрее, чем конкурент B ;

p_2 – вероятность привлечения случайного потребителя к использованию услуг стороны A , если сначала он был готов использовать услуги конкурента B – результат проведения конкурентной политики.

С учетом возможных состояний функционирования случайного процесса и расчета интенсивностей переходных потоков, можно составить граф состояний случайного процесса, который изображен на рис. 1.

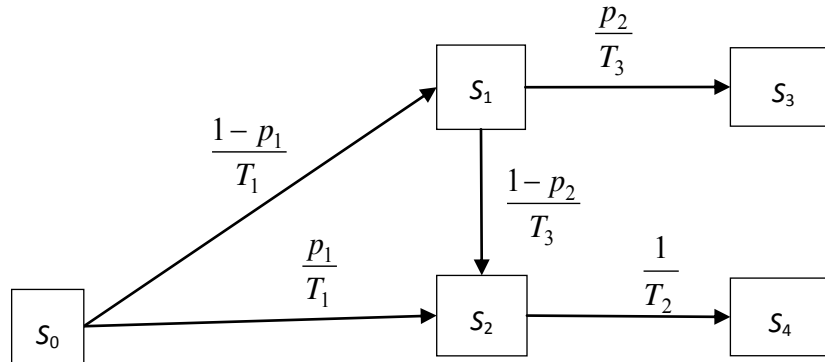


Рис. 1. Граф состояний случайного процесса

Для расчета вероятностных характеристик случайного процесса и динамического анализа показателей эффективности ведения боевых действий, необходимо рассчитать временные зависимости вероятностей каждого состояния $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$, которые показывают вероятность того, что в любой момент времени t случайный процесс будет находиться в соответствующем состоянии.

Отталкиваясь от графа состояний, который изображен на рис. 1, для нахождения вероятностей состояний составляем систему дифференциальных уравнений Колмогорова [1] вида:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\frac{P_0(t)}{T_1}; \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \frac{(1-p_1) \cdot P_0(t)}{T_1} - \frac{P_1(t)}{T_3}; \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \frac{(1-p_2) \cdot P_1(t)}{T_3} + \frac{p_1 \cdot P_0(t)}{T_1} - \frac{P_2(t)}{T_2}; \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\frac{p_2 \cdot P_1(t)}{T_3}; \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\frac{P_2(t)}{T_2}. \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) является вырожденной, так как составляющие ее уравнения линейно зависимы. Необходимо любое одно уравнение системы заменить на условие нормировки вида [2]:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1, \quad (2)$$

сделаем это с третьим уравнением. В итоге получим систему дифференциальных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\frac{P_0(t)}{T_1}; \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \frac{(1-p_1) \cdot P_0(t)}{T_1} - \frac{P_1(t)}{T_3}; \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = -\frac{p_2 \cdot P_1(t)}{T_3}; \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = -\frac{P_2(t)}{T_2}; \\ P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) = 1. \end{array} \right. \quad (3)$$

Для получения частного решения системы (3) применим начальные условия вида:

$$P_0(0)=1; P_1(0)=0; P_2(0)=0; P_3(0)=0; P_4(0)=0, \quad (4)$$

которые показывают то, что в начальный момент времени случайный процесс находился в состоянии S_0 .

Анализ результатов решения задачи

Выражения (3) и (4) являются системой линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Такую систему можно аналитически решить методом собственных значений и собственных векторов [7], однако, учитывая большое число уравнений, рационально использовать численные методы. При решении будем использовать алгоритм Адамса – Бэшфорта решения системы дифференциальных уравнений.

Проведем анализ численного решения этой задачи в общем виде [8]. Для наглядности, и учитывая то, что аналитическое решение сильно зависит от параметров задачи, сделаем это графически.

На рис. 2 приведены временные зависимости вероятностей каждого состояния $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$ от времени.

Как видно из рис. 2, вероятность успешного продвижения блага для стороны А с течением времени приближаются к некоторой постоянной величине, а остальные вероятности динамически меняются во времени.

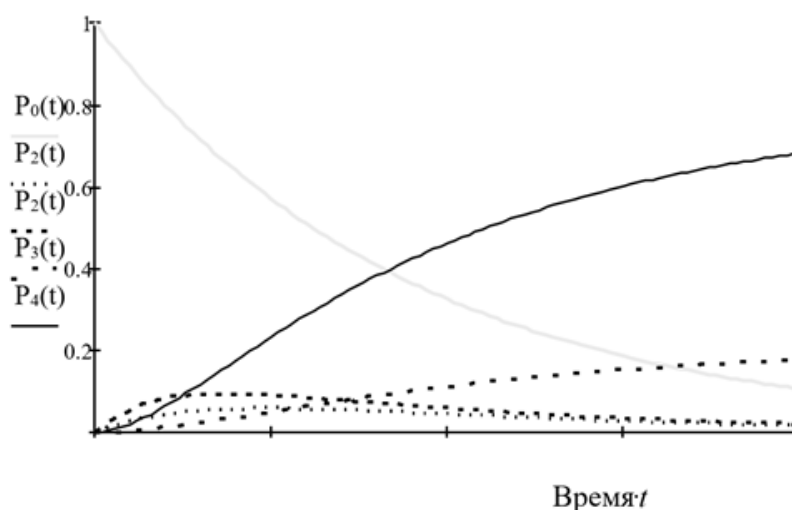


Рис. 2. Вероятности состояний случайного процесса

Из рис. 2 видно, что вероятности состояний $P_3(t)$ и $P_4(t)$ со временем выходят на некоторые ненулевые значения, причем $\lim_{t \rightarrow \infty} (P_3(t) + P_4(t)) = 1$, а вероятности $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$ имеют максимум и в пределе по времени стремятся к нулю. Это соответствует ситуации, что процесс перераспределения потребителей с течением времени приведет к формированию стабильного контингента потребителей для каждой из сторон. Однако, изменение условий на рынке и влияние внешних факторов может значительно повлиять на распределение контингента потребителей [9].

Заключение

Таким образом, представленная модель позволяет оценивать вероятности выполнения как всего цикла формирования контингента потребителей, так и отдельных ее этапов для разных временных интервалов, что позволит планировать проведение маркетинговых исследований. Путем планирования маркетинговых мероприятий, можно изменять среднюю продолжительность этапов формирования контингента потребителей и добиваться более высокого качества при продвижении товаров и услуг в условиях цифровой экономики. Анализ временных зависимостей вероятностей состояний от внешних параметров позволит подобрать такие условия продвижения товаров или услуг, которые позволят собрать максимальный контингент потребителей.

Библиографический список

1. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров.- М.: Высш. шк., 2000.- 383 с.
2. Карлин, С. Основы теории случайных процессов: пер. с англ. / С. Карлин.- М.: Мир, 1971.- 536 с.
3. Порядина В.Л. Основы научных исследований в управлении социально-экономическими системами: учеб. пособие / В.Л. Порядина, С.А. Баркалов, Т.Г. Лихачева / Воронежский ГАСУ. — Воронеж, 2015. — 262 с.
4. Баркалов, С.А. Математические методы и модели в управлении и их реализация в MS Excel / С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. - Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015.- 265 с.
5. Порядина В.Л., Лихачева Т.Г. Методы оценки качества и эффективности производственных систем // Научный вестник Воронежского государственного университета. Серия: Управление строительством. 2016. № 1.С. 106-111
6. Анализ динамической устойчивости конкурентных отношений в рыночных экономических системах / В.Л. Порядина, Т.Г. Лихачева, М.В. Толкач. Вестник Воронежского института экономики и социального управления. 2015. № 4. С. 99-102.
7. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1981. — 512 с.
8. Баркалов, С.А. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий [Электронный ресурс]: учебное пособие/ С.А. Баркалов, С.И. Моисеев, В.Л. Порядина. — СПб.: Интермедия, 2017. 264 с.
9. Порядина В.Л. Управление социально-экономическими проектами: конкурсный подход: монография. — Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2015. — 230 с.

MATHEMATICAL MODEL OF FORMATION OF A CONSUMER CONTINGENT IN THE CONDITIONS OF THE DIGITAL ECONOMY

V.L. Poryadina, T.G. Likhacheva

Poryadina Vera Leonidovna*, Voronezh State Technical University, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: poryadina_vl@vgasu.vrn.ru, tel.: +7-903-8-52-84-53

Likhacheva Tatiana Gennadiyevna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: tliacheva@vgasu.vrn.ru, tel.: +7-910-344-30-83

Abstract. The paper presents a mathematical model that will allow to analyze in dynamics the formation of a contingent of consumers when a new product is released or a new service is provided. A significant acceleration in the rate of formation of the consumer contingent associated with the development of digital technologies is taken into account. It is assumed that in a competitive environment, demand is formed in stages. At the initial stage, a certain contingent of consumers is created, which at subsequent stages can change as a result of competition. The model is based on the theory of Markov random processes with continuous time and discrete state. The time dependences of the probabilistic characteristics of a random process are analyzed.

Keywords: consumption, competition, demand, mathematical modeling, Markov random processes.

References

1. Wentzel, E.S. Theory of random processes and its engineering applications [Teoriya sluchaynykh protsessov i yeye inzhenernyye prilozheniya] / E.S. Wentzel, L.A. Ovcharov. - M.: Higher. shk., 2000.- 383 pp.
2. Karlin, S. Foundations of the theory of random processes: trans. from English [Osnovy teorii sluchaynykh protsessov: per. s angl.] / S. Karlin. - M.: Mir, 1971. - 536 pp.
3. Poryadina V.L. Fundamentals of research in the management of socio-economic systems: studies. allowance [Osnovy nauchnykh issledovaniy v upravlenii social'no-ekonomicheskimi sistemami: ucheb. posobie] / V.L. Poryadina, S.A. Barkalov, T.G. Likhachev / Voronezh GASU. - Voronezh, 2015. - 262 p.
4. Barkalov, S.A. Mathematical methods and models in management and their implementation in MS Excel [Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii i ikh realizatsiya v MS Excel] / S.A. Barkalov, S.I. Moiseev, V.L. Poryadina. - Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. - Voronezh, 2015.- 265 pp.
5. Poryadina V.L., Likhacheva T.G. Methods for assessing the quality and efficiency of production systems [Metody ocenki kachestva i effektivnosti proizvodstvennykh sistem] // Scientific Bulletin of the Voronezh State University. Series: Construction Management. 2016. № 1.S. 106-111
6. Analysis of the dynamic stability of competitive relations in market economic systems [Analiz dinamicheskoy ustojchivosti konkurentnykh otnoshenij v rynochnykh ekonomicheskikh sistemah] / V.L. Poryadina, T.G. Likhachev, M.V. Pusher. Bulletin of the Voronezh Institute of Economics and Social Management. 2015. No. 4. P. 99-102.
7. Vladimirov V.S. Equations of mathematical physics [Uravneniya matematicheskoy fiziki]. M.: Nauka, 1981. — 512 p.
8. Barkalov, S.A. Mathematical methods and models in management and their implementation in MS Excel [Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniym informatsionnykh tekhnologiy: uchebnoye posobiye] [Elektronnyy resurs] / S.A. Barkalov, S.I. Moiseyev, V.L. Poryadina. — SPb.: Intermediya, 2017. 264 pp.
9. Poryadina V.L. Management of social and economic projects: a competitive approach: a monograph. [Upravlenie social'no-ekonomicheskimi proektami: konkursnyj podhod: monografiya] - Voronezh: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2015. - 230 p.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ И МАГИСТРАНТОВ

УДК 334.7

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ В ПОЛЬЗУ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ

Е.А. Авдеева, В.Е. Сычёва

*Авдеева Елена Александровна**, Воронежский государственный технический университет, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры цифровой и отраслевой экономики Россия, г.Воронеж, e-mail: avdeeva_ea@mail.ru, тел.: +7-473-2-36-23-03

Сычёва Виктория Евгеньевна, Воронежский государственный технический университет, студент Россия, г. Воронеж, e-mail: svictoriasvs@mail.ru, тел.: +7-910-738-46-78

Аннотация. В статье представлен анализ двух основных типов структур управления: централизованного и децентрализованного, выделены достоинства и недостатки каждого. Рассмотрены составляющие эффективности децентрализованных компаний: общий язык руководителей, лидеры с собственническим мышлением и прогрессивная культура, и централизованных – стандартизация, контроль, высококвалифицированные менеджеры широкого и узкого профиля. Выделены факторы, влияющие на принятие решения о том, какие полномочия делегировать всей организации: размер организации, скорость изменений в ее среде, готовность менеджеров отказаться от полномочий, готовность сотрудников принять больше полномочий и географическая разбросанность организации. Подчёркнуто, что оптимальный диапазон контроля зависит от количества рабочих мест, сложности задач, умения менеджеров делегировать полномочия, количества взаимодействий между работниками и менеджером, уровня мотивации работников. Выбор также зависит от отрасли и типа рынков, на которых она работает, от навыков и возможностей ее руководителей и сотрудников.

Ключевые слова: централизация, децентрализация, делегирование, организационная структура, степень концентрации полномочий и ответственности.

Каждая компания должна решить, как подходить к управлению и принятию решений. Изменения в технологиях, ожиданиях клиентов и ожиданиях сотрудников делают решение более важным, чем когда-либо.

Возьмет ли на себя управление высшее руководство или менеджеры среднего и низшего звена будут лидировать? Будут ли члены команды низкого уровня высказывать свое мнение? Кто будет нести ответственность за принятие решений и новые идеи?

Как правило, компании выбирают между двумя основными типами структур управления: централизованное управление и децентрализованное управление, хотя они могут выбрать комбинацию из двух. Правильный ответ для компании зависит от рынков, на которых она работает, а также от навыков и возможностей ее руководителей и сотрудников [1].

Децентрализация в бизнесе - это когда повседневные операции и полномочия по принятию решений делегируются высшим руководством менеджерам среднего и

нижнего уровня, а иногда даже членам команды. Организации с децентрализованной структурой позволяют высшему руководству уделять больше внимания возможностям роста и важным решениям, а не повседневным обязанностям. Традиционные децентрализованные подходы могут по-прежнему применять жесткие рамки с проверками и контролем, в то время как радикальные типы децентрализации расширяют возможности принятия решений.

Ключевая идея децентрализованного подхода заключается в предоставлении полномочий и ответственности тем, кто знает лучше всего, поскольку они ближе к заинтересованным сторонам и имеют доступную для них соответствующую информацию. Например, личный банкир, который заказывает дебетовые карты каждый день для своих клиентов, сможет обнаружить проблемы с дебетовой картой быстрее, чем высшее руководство [2].

Децентрализация - это организационная структура, которая поддерживает независимые бизнес-единицы (насколько это возможно) под единым корпоративным зонтиком. Каждое бизнес-подразделение функционирует как отдельная компания с президентом, который действует очень похоже на генерального директора, а бизнесы максимально независимы.

Управляющие промышленных компаний называют три основных движущих силы эффективности децентрализованных компаний: общий язык, лидеры с собственническим мышлением и культура, которая отвергает статус-кво.

Децентрализованные компании говорят о проблемах и возможностях одинаково - независимо от того, насколько не похожи их предприятия. Это означает, что если лидер управляет бизнесом в сфере здравоохранения, а другой руководитель - производственным, они могут понимать проблемы друг друга и учиться друг у друга благодаря общему языку. Часто из общего языка вытекает общая бизнес-система - инструменты и процессы, используемые всеми, независимо от того, где они работают в компании.

Децентрализованные компании привлекают лидеров определенного типа, особенно тех, кто думает о собственности. «Вот тест: выберите PowerPoint или Excel. Если вы выберете PowerPoint, интервью окончено», - пошутил президент компании, - «мы ищем аналитических и конкурентоспособных людей, которые могут засучить рукава и перейти из зала заседаний в цех».

Децентрализованной компании нужны лидеры, которым комфортно быть тренерами, учителями и тестирующими, те, кто верит в операционную систему и никогда не прекращает ее практиковать. Такой тип приверженности фактам и деталям создает культуру, которая больше основана на фактах, меньше на мнениях и проверяет достоверность деталей, заставляя интеллектуальную честность [3].

В организации также существует высокий уровень доверия, что дает лидерам свободу идти на риск и совершать ошибки, хотя то, как они сообщают о проблемах и решениях, имеет значение. Если вы делитесь информацией, то вы добиваетесь успеха и вместе терпите поражение; если вы скрываете важные данные, вы потерпите неудачу в одиночку. «Доверие - это основа успеха», - считают руководители предприятий. Как говорит И.Адизес: «Чем меньше взаимного доверия и уважения, тем выше внутренняя дезинтеграция, а чем она выше, тем менее вы успешны» [4].

Преимущества децентрализации могут включать более быстрое принятие решений, повышенный уровень инноваций и творчества, большую организационную гибкость, более быстрое развитие менеджеров нижнего уровня, а также повышенный уровень удовлетворенности работой и приверженности сотрудников. Но децентрализация также может быть рискованной. Если у персонала более низкого уровня нет необходимых навыков и подготовки для эффективной работы, они могут совершить дорогостоящие ошибки. Кроме того, децентрализация может увеличить вероятность неэффективных линий связи, конкурирующих целей и дублирования усилий (рис.1) [5].

Централизация - это степень концентрации официальных полномочий в одной области или уровне организации. В высокоцентрализованной структуре высшее руководство принимает большинство ключевых решений в организации при очень небольшом участии сотрудников нижнего уровня. Централизация позволяет топ-менеджерам получить широкое представление об операциях и осуществлять жесткий финансовый контроль. Это также может помочь снизить затраты за счет устранения избыточности в организации. Но централизация может также означать, что персонал нижнего уровня не имеет возможности развивать свои навыки принятия решений и лидерства, и что организация менее способна быстро реагировать на запросы клиентов [6].

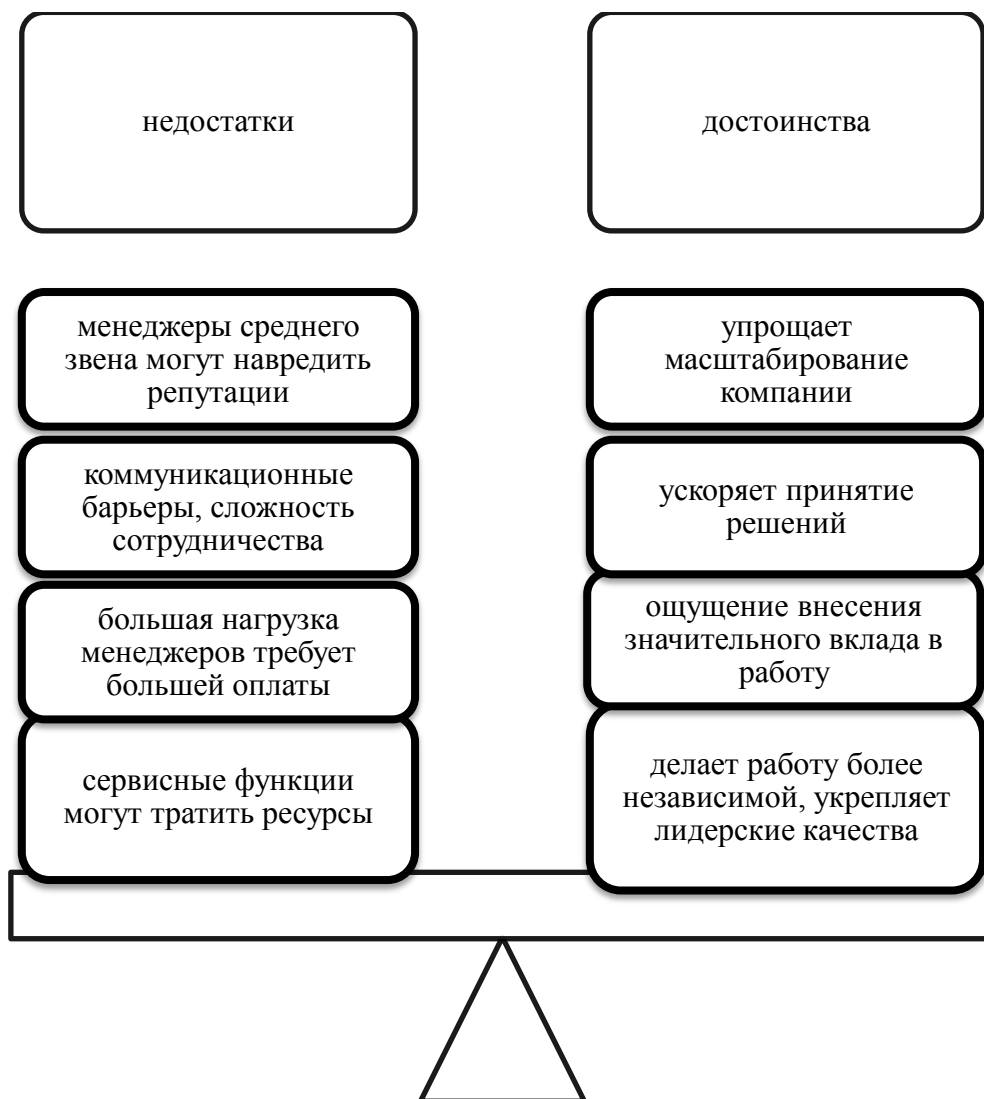


Рис. 1. Достоинства и недостатки децентрализации

Централизованная модель - это когда небольшая группа людей принимает большинство решений за компанию. Например, семейная компания, вероятно, использует централизованное управление. Семья решает, кого нанять, что предложить в их меню питания, и они, вероятно, заказывают свой собственный инвентарь.

Положительные и отрицательные стороны децентрализации представлены на рис. 2.

При принятии решения о том, какие полномочия по принятию решений делегировать всей организации, необходимо учитывать несколько факторов. К этим факторам относятся размер организации, скорость изменений в ее среде, готовность менеджеров отказаться от

полномочий, готовность сотрудников принять больше полномочий и географическая разбросанность организации.

Децентрализация обычно желательна при соблюдении следующих условий:

- Организация очень большая, как Ford или General Electric .
- Фирма находится в динамичной среде, где необходимо быстро принимать решения на местном уровне, как во многих высокотехнологичных отраслях.
- Менеджеры готовы делиться властью со своими подчиненными.
- Сотрудники хотят и могут брать на себя больше ответственности.
- Компания разбросана географически, например, Nordstrom, Caterpillar или Ford

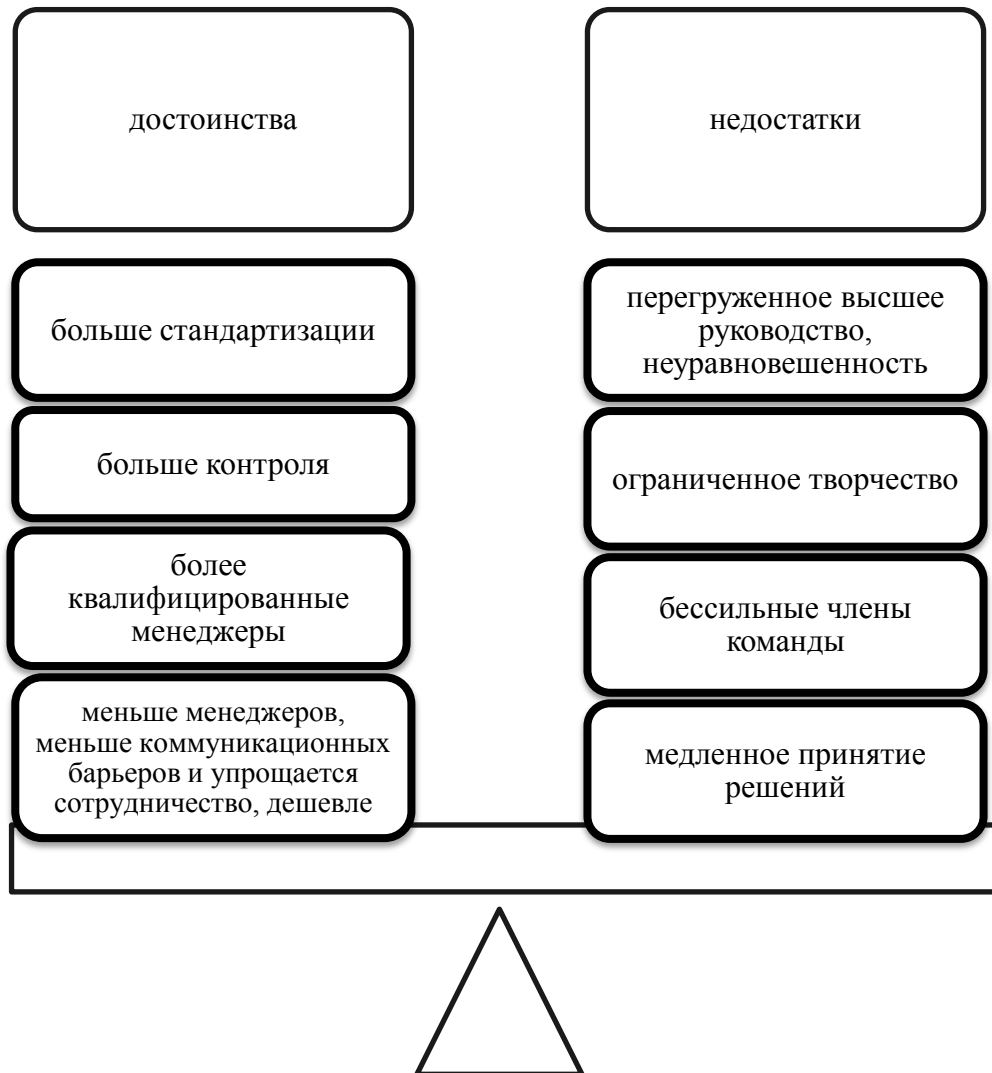


Рис. 2. Достоинства и недостатки централизации

По мере роста и изменения организаций они постоянно пересматривают свою структуру, чтобы определить, помогает ли она компании в достижении ее целей.

Руководители постоянно ищут ответ на вопрос: Как можно изменить степень централизации или децентрализации, чтобы сделать организацию более успешной?

Оптимальный диапазон контроля определяется следующими пятью факторами:

1. Характер задачи. Чем сложнее задача, тем уже диапазон контроля.
2. Расположение рабочих. Чем больше мест, тем уже диапазон контроля.
3. Умение менеджера делегировать ответственность. Чем выше способность делегировать полномочия, тем шире диапазон контроля.

4. Объем взаимодействия и обратной связи между работниками и менеджером. Чем больше требуется обратной связи и взаимодействия, тем уже диапазон контроля.

5. Уровень квалификации и мотивация рабочих. Чем выше уровень навыков и мотивация, тем шире диапазон контроля.

Старший вице-президент промышленного конгломерата использовал аналогию с водителем гоночного автомобиля, чтобы подытожить различия между централизованными и децентрализованными лидерами: «В централизованной компании вы звезда и водите машину. В децентрализованной компании вы не просто водитель; вы отвечаете за всю пит-команду. Вы должны построить машину и поддерживать ее» [7].

Руководители отметили, что когда они находят людей, жаждущих большей ответственности, децентрализованная структура часто оказывается тем, о чем они мечтают. «Когда мы идем набирать по этой модели, люди умирают от желания сделать это. Им надоело сидеть в залах заседаний с 15 людьми, и никто в зале не может полностью принять решение», - сказал президент производственной компании [7].

Некоторые промышленные конгломераты делают шаги в направлении децентрализации, разделяясь на более мелкие, отдельные предприятия, такие как General Electric Co., United Technologies Corp. и Ingersoll Rand Inc. приобретения и продажи намного проще. Вы можете добавлять компании и легче сокращать свои убытки, когда они являются самостоятельными предприятиями и не связаны с другими бизнес-единицами.

Однако децентрализация подходит не для всех компаний. Более капиталоемкие бизнес-модели, как правило, имеют меньше потребности или возможностей для этого типа модели, и централизация также дает ключевые преимущества. Лидеры централизованных компаний обладают глубокими и узкими знаниями, умеют добиваться консенсуса и согласованности между своими коллегами и могут разрабатывать проницательные стратегии для конкретных областей. Кроме того, могут быть отрасли, рынки и ситуации, в которых централизация имеет наибольший смысл.

Библиографический список

1. Баркалов С.А., Авдеева Е.А., Аверина Т.А. Инновационное управление социальной системой / С.А. Баркалов, Е.А. Авдеева, Т.А. Аверина // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем (АМУР-2020). XIV Всероссийская с международным участием школа-симпозиум: сборник научных трудов. Симферополь, 2020. С. 31-36.

2. Давыдова Т.Е., Баркалов С.А., Чекамазов А.Н. Направления совершенствования трудовых ресурсов Воронежской области: экономический аспект // Экономика и менеджмент систем управления. 2014. №4.2 (14). С.253-260.

3. Аверина Т.А. Мероприятия по повышению кадрового потенциала для обеспечения экономической безопасности коммерческого банка / Т.А. Аверина, Е.С. Кунова / Управление строительством. 2018. - № 2 (11).- С. 116-126.

4. Адизес И.К. Идеальный руководитель. Почему им нельзя стать и что из этого следует. - The Adizes Institute Publications, издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина Паблишер», 2014. - 360 с.

5. Зыкова Д.А., Давыдова Т.Е. Концепция «умного города» в системе муниципального развития // Цифровая и отраслевая экономика. 2021. 1(22). С.9-15.

6. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Перевалова О.С., Аверина Т.А. Механизмы принятия решений в цифровой экономике // В сборнике: Тенденции развития интернет и цифровой экономики. Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2020. С. 12-16.

7. Левина И. Что ограничивает децентрализацию на российских фирмах? // Экономическая политика. 2017. Т. 12. № 5. С. 1–18.

FACTORS INFLUENCING DECISION-MAKING FOR CENTRALIZED AND DECENTRALIZED GOVERNANCE STRUCTURES

E.A. Avdeeva, V.E. Sycheva

Avdeeva Elena Aleksandrovna*, Voronezh State Technical University, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Digital and Industrial Economics

Russia, Voronezh, e-mail avdeeva_ea@mail.ru, tel.: +7-473-2-36-23-03

Sycheva Victoria Evgenievna, Voronezh State Technical University, student

Russia, Voronezh, e-mail: svictoriasvs@mail.ru, тел.: +7-910-738-46-78

Abstract. The article presents an analysis of two main types of management structures: centralized and decentralized, highlighted the advantages and disadvantages of each. The components of the effectiveness of decentralized companies are considered: the common language of managers, leaders with proprietary thinking and a progressive culture, and centralized ones - standardization, control, highly qualified managers of a wide and narrow profile. The factors influencing the decision of what powers to delegate to the entire organization are highlighted: the size of the organization, the speed of changes in its environment, the willingness of managers to relinquish powers, the willingness of employees to accept more powers and the geographical dispersion of the organization. It is emphasized that the optimal range of control depends on the number of jobs, the complexity of tasks, the ability of managers to delegate authority, the number of interactions between employees and the manager, and the level of employee motivation. The choice also depends on the industry and the type of markets in which it operates, the skills and capabilities of its leaders and employees.

Keywords: centralization, decentralization, delegation, organizational structure, degree of concentration of powers and responsibilities.

References

1. Barkalov S.A., Avdeeva E.A., Averina T.A. Innovative management of the social system / S.A. Barkalov, E.A. Avdeeva, T.A. Averina // Analysis, modeling, management, development of socio-economic systems (AMUR-2020). XIV All-Russian School-Symposium with International Participation: Collection of Scientific Papers. Simferopol, 2020.S. 31-36.
2. Davydova T.E., Barkalov S.A., Chekamazov A.N. Directions of improving the workforce of the Voronezh region: the economic aspect // Economics and management of control systems. 2014. No. 4.2 (14). S.253-260.
3. Averina T.A. Measures to increase human resources to ensure the economic security of a commercial bank / T.A. Averina, E.S. Kunova / Construction Management. 2018. - No. 2 (11) .- S. 116-126.
4. Adizes I.K. The ideal leader. Why they cannot become and what follows from this. - The Adizes Institute Publications, Russian edition, translation, design. LLC Alpina Publisher, 2014. - 360 p.
5. Zykova D.A., Davydova T.E. The concept of a "smart city" in the system of municipal development // Digital and sectoral economics. 2021.1 (22). S.9-15.
6. Barkalov S.A., Burkov V.N., Perevalova O.S., Averina T.A. Decision-making mechanisms in the digital economy // In the collection: Trends in the development of the Internet and the digital economy Proceedings of the III All-Russian scientific and practical conference with international participation. 2020.S. 12-16.
7. Levina I. What limits decentralization in Russian firms? // Economic policy. 2017.Vol. 12.No. 5.P. 1-18.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Е.В. Баутина, Ю.А. Стукальская, Л.М. Бочарникова

Баутина Елена Владимировна*, Воронежский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры управления

Россия, г. Воронеж, e-mail: bautina_ev@vgasu.vrn.ru, тел.: 8- (910)-249-22-93

Стукальская Юлия Александровна, Воронежский государственный технический университет, магистрант кафедры управления

Россия, г. Воронеж, e-mail: byulia97@yandex.ru, тел.: 8-960-101-36-57

Бочарникова Людмила Михайловна, Воронежский государственный технический университет, магистрант кафедры техносферная и пожарная безопасность

Россия, г. Воронеж, e-mail: voronezhelena@yandex.ru, тел.: 8-906-675-06-88

Аннотация. В статье изучены экологические проблемы, связанные с деятельностью организаций строительной отрасли, рассмотрены существующие способы решения этих проблем, представлена экономико-математическая модель транспортной задачи поставки «зеленого» цемента на строительные объекты г. Воронежа, г. Москвы и Московской области, приведены жордановские преобразования и решение при помощи симплекс-таблиц.

Ключевые слова: экологизация строительных проектов, «зеленые» технологии, экономико-математическая модель, транспортная задача, симплекс-метод.

Строительный комплекс России в настоящее время имеет достаточно твердую нормативно-правовую основу и осуществляет возведение зданий и сооружений в геометрической прогрессии с соблюдением нормативных требований охраны окружающей среды. В XXI веке окружающая среда оказалась на грани экологического кризиса. И, чтобы не допустить дальнейшего ухудшения данной ситуации и попытаться ее исправить, необходимо задействовать все процессы и механизмы по совершенствованию работ, которые могут улучшить природную среду в целом. Для этого необходимо обратить более строгое внимание на экологические аспекты строительства.

Строительный рынок характеризуется высоким уровнем конкуренции, поэтому для сохранения своей конкурентоспособности организации должны улучшать качество возводимых объектов. Экологическое качество строительства определяется не только внутренними факторами, определяемыми самой строительной организацией, но и внешними, такими как качество строительных материалов. Отметим, что применяемые материалы и их экологические требования частично прописаны в ГОСТ и иных стандартах. Но для совершенствования процессов должен быть применен глобальный подход к экологизации, который берет свое начало с выбора материалов с учетом экологичных технологий, например, применение строительной продукции вторичной переработки или материалов, изготовленных по «зеленым» технологиям. При этом достижение высоких экологических показателей может быть реализовано и достигнуто только при обеспечении общих свойств: долговечность, надежность, прочность, безопасность. Требования же экологизации должны реализовываться не только в процессе эксплуатации, но и на этапе производства.

Предприятия строительной сферы в процессе осуществления своей производственной деятельности оказывают неблагоприятное воздействие на экологию. Особенности и несовершенства строительных технологий приводят к деградации почвенных слоев, загрязнению наземных и подземных вод, атмосферного воздуха.

Указанные аспекты в совокупности создают угрозы естественной экосистеме, а в долгосрочной перспективе могут привести к деградации природного комплекса в целом.

Наглядно результаты использования природных ресурсов и воздействия производственной деятельности предприятий, оказывающих влияние на экологическую обстановку, представлены на рис. 1 [1].

Воздействия деятельности обрабатывающих предприятий на окружающую среду

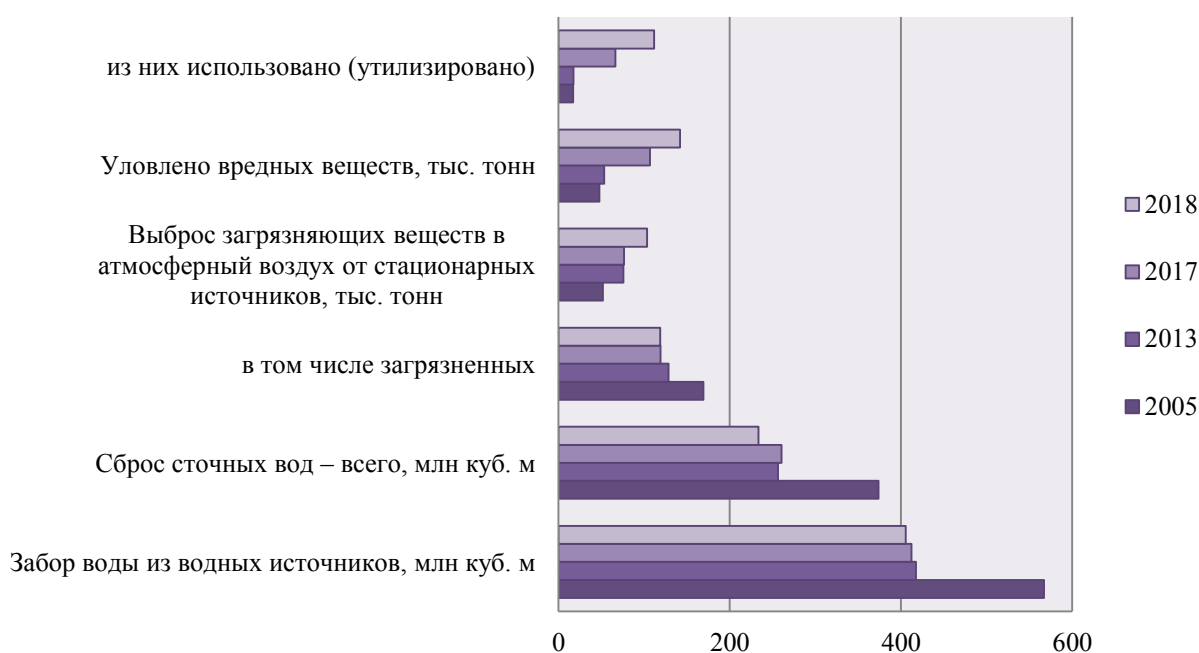


Рис. 1. Влияние производственной деятельности на экологическую обстановку

Анализ представленных результатов показывает тенденцию снижения негативного влияния на состояние окружающей среды. В частности, можно отметить величины забора воды из природных источников и объемов сбросов сточных вод существенно снизились в последнее десятилетие. Однако, эти улучшения связаны не только с применением экологических технологий, но и остановкой или прекращением деятельности различных производств. Согласно статистическим данным, в 2019 году количество функционирующих промышленных предприятий составляло 127,7% (относительно 2018 года), а в 2020 году – 109,4% [2]. Однако, приведенные на рис. 1 данные показывают, что выбросы загрязняющих веществ в атмосферу постоянно растут.

Для регулирования экологической ситуации в РФ принят Федеральный закон от 10.01.2002 N7-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об охране окружающей среды», в котором указаны предельно допустимые выбросы (предельно допустимой концентрации (ПДК)) в атмосферный воздух, и уровни одного и того же вещества для различных зон и мест имеют разные величины. Все нормы закреплены в СанПиН 2.1.6.1032-01 и ГОСТ 17.2.3.02-2014.

В табл. 1 представлены ПДК, установленные для населенных мест.

Оценивая сложившуюся ситуацию по увеличению выбросов и превышению их предельно допустимой концентрации в атмосферу, экологи приходят к неутешительным выводам о том, что игнорирование проблемы повышает вероятность полного загрязнения биосферы. И одним из выходов из сложившегося положения является необходимость сосредоточения внимания на развитии деятельности по управлению экологическими проектами. При этом в практику общественной деятельности необходимо внедрять

принципы эколого-экономической модели развития. Поэтому развитие и применение экологических инноваций становятся все более актуальными.

Таблица 1

ПДК воздуха населенных мест [3]

Величина ПДК	Загрязняющие вещества (мг/м ³)				
	Пыль	NO ₂	SO ₂	CO, CO ₂	Pb и его неорганические соединения
максимально разовые	0,5	0,2	0,5	5	0,001
среднесуточные	0,15	0,04	0,005	3	0,0003

Известно, что инновации, в том числе экологические, являются дополнительным источником повышения устойчивости развития регионов. И одним из приоритетных направлений такого развития становится «зеленое» предпринимательство.

Разработка и внедрение экологических инноваций в строительстве позволяет решить следующие проблемы:

1. снижение нагрузки на окружающую среду;
2. минимизация или ликвидация ранее накопленного ущерба природной среде;
3. повышение качества территорий, а, следовательно, и качества жизни населения;
4. снижение потребления медленно восполняемых ресурсов [4].

В последнее время особое внимание уделяется относительно новому виду строительства и эксплуатации зданий, которое называют экодевелопментом или экологическим строительством, характеризующимся минимальным воздействием на природную среду. Ключевой целью такого строительства является ресурсосбережение (снижение потребления различных видов ресурсов) на протяжении всего жизненного цикла здания и снижение общего влияния объекта на окружающую среду и здоровье человека. Достижение цели осуществляется на основе решения задач эффективного использования материальных, энергетических и других ресурсов, сокращения величины выбросов и технологических отходов в окружающую среду, а основным путем решения этих задач является создание и применение новых промышленных продуктов, то есть реализация инновационного процесса [5].

Рассмотрим практический подход применения «зеленых» технологий для обеспечения экологизации строительных проектов и объектов.

В России подобные технологии пока применяются локально. На бытовом уровне подход к возможности использования вторсырья в производственной деятельности основан на раздельном сборе мусора. В строительной отрасли одним из распространенных является подход к экономии энергетических ресурсов. Например, создаются комплексы, обеспечивающие энергосбережение на основе сбора солнечной энергии. Один из крупнейших комплексов, использующий такой вид энергии, находится в Оренбурге. Комплекс обеспечивает энергией 10 тысяч частных домов в радиусе 10 км и несколько строительных площадок. При этом генерация энергии происходит даже в пасмурные дни, а экономия ресурсов составляет около 40 тысяч условного топлива (около 500 цистерн мазута).

Другими примерами ресурсосбережения можно назвать строительство «умных» домов, концепция которых основана на использовании IT-технологий (счетчики электропотребления сами фиксируют показания и отправляют в управляющую компанию) а также использование «зеленых» технологий при эксплуатации строительных объектов (в частности, освещение дворовой территории осуществляется с использованием солнечных

батареи, установленных на крыше домов). Один из экспериментальных подобных домов возведен в г. Нижний Новгород.

Кроме того, в последние годы значительное внимание обращается на обеспечение теплоэффективности как вновь возводимых, так и эксплуатирующихся зданий на основе применения современных материалов, изделий и конструкций с улучшенными теплотехническими характеристиками. В то же время процессы производства многих строительных материалов являются источниками выбросов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду.

Для подтверждения этого приведем данные по выбросам в атмосферу предприятий строительных материалов [1] (рис. 2).



Рис. 2. Выбросы в атмосферу предприятий строительных материалов

Как можно видеть, наибольшее количество выбросов в атмосферу осуществляет цементная промышленность. При этом цемент – один из самых востребованных и часто используемых материалов в строительстве, занимающий 5 место в лидерах по строительным материалам, а цементная промышленность представляет собой фактор системы строительного производства, который может охарактеризовать один из потенциалов страны – экономический.

Приведем некоторые статистические данные, составленные на конец 2020 года. Производство цемента в Российской Федерации составляет 43 214,9 тыс. тонн; производство каменных изделий и конструкций для сборных зданий и сооружений на основе цемента – 15 738 тыс. м³. За 2020 год РФ введено в эксплуатацию 203 123 зданий жилого и нежилого назначения общей площадью 81 333,2 тыс. м² и общим строительным объемом 360 244,0 тыс. м³. Из них 192 073 жилых зданий общей площадью 62 728,6 тыс. м² и общим строительным объемом 230 093,9 тыс. м³.

Отметим, что экологические проблемы при производстве цемента отмечаются на всех этапах технологии, начиная с момента добычи ресурсов. На рис. 3 отражены экологические проблемы, которые возникают при производстве цемента.

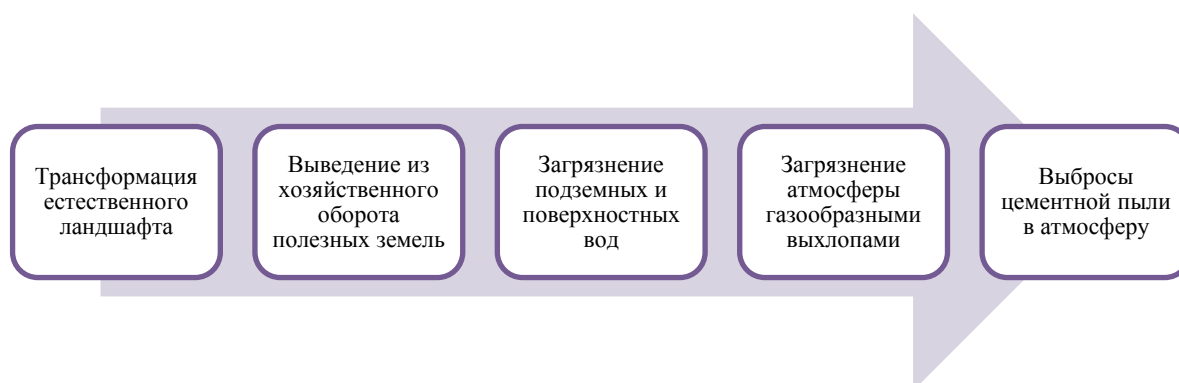


Рис. 3. Экологические проблемы при производстве цемента

Значимой проблемой при производстве цемента является выбросы вредных веществ в атмосферу в процессе обжига сырьевых материалов (в них присутствуют диоксид серы, оксид азота, углекислый газ и множество иных вредных компонентов), а также помола и транспортировки цемента (экотоксикологическая и цементная пыль).

Для улучшения экологической обстановки, в частности, сокращения выбросов необходимо внедрение модернизированных экологически сопутствующих технологий, которые включают в себе технологические и технические инновации. Среди них можно отметить:

- модернизацию технологического процесса производства (например, применение эффективных пылеулавливающих установок и устройств, использование отходящих газов для других технологических процессов);
- использование в производстве побочных продуктов и отходов других отраслей (например, шлака – побочного продукта металлургических производств, золы – побочного продукта функционирования электростанций, работающих на угле, применение углеводородных отходов в качестве топлива при обжиге сырья);
- применение «зеленых» технологий и т.п.

В последнее время значительный интерес представляют «зеленые» технологии, в строительном обороте часто применяется понятие «зеленого» цемента. «Технология зеленого цемента» позволяет одновременно минимизировать выбросы в атмосферу углекислого газа (5% всей эмиссии CO_2 в мире происходит по вине цементных заводов) и попутно искусственно получать известь и ее аналоги, которые находят дальнейшее применение в строительстве.

На основании вышесказанного, необходимо отметить, что для обеспечения экологических требований в строительных проектах необходимо не только учитывать нормативные требования, но и ориентироваться на использование экологически чистых материалов, в частности, цемента, при планировании материально-технического снабжения строительства.

Для возможности использования зеленых технологий в строительном проекте необходимо грамотно подходить к выбору поставщиков, эффективных, «выгодных», надежных, а также соответствующих экологическим требованиям. Как правило, компании имеют перечень возможных контрагентов, анализ которых проводится по специальным критериям. Количество критериев не регламентируется, но в основном варьируется от трех до нескольких десятков.

В настоящей работе в качестве критериев оценки поставщиков были предложены:

- удаленность поставщика от потребителя;
- периодичность поставок;
- экологичность;
- снижение вредных выбросов в процессе производства;
- финансовое состояние поставщика.

Как показывает статистика, «зеленый» цемент в России производится в ограниченном объеме, на рынке присутствует ограниченный объем поставщиков. Одними из крупных производителей такого материала, которые отвечают указанным критериям, являются LafargeHolcim (Лафарж Холсим, Саратов), Хейделбер (Тула), Мордовцемент (Мордовия).

В работе была поставлена задача оптимизации поставки «зеленого» цемента на строительные объекты, расположенные в г. Воронеже, г. Москва и Московской области. Выбор потребителей обоснован темпами и объемами строительства. Отметим, что целью решения транспортной задачи будет минимизация сроков перевозки от производителя до строительного объекта при заданных стоимостях продукции.

Экономико-математическая модель поставки цемента, полученного по экологичной технологии (транспортная задача)

Обозначим пункты производства цемента через m , а пункты его потребления – через n . Примем, что объемы производства в пунктах i и объемы потребления в пунктах j положительны, то есть $a_i > 0, i = 1, 2, \dots, m$ и $b_j > 0, j = 1, 2, \dots, n$. Известна матрица $(c_{ij})_{m \times n}$ – матрица транспортных расходов, отражающая стоимость доставки единицы продукции из пункта i в пункт j [6].

Требуется составить такой план перевозок, при котором суммарные затраты минимальны, все потребители полностью удовлетворены, а общие потребности и объемы потребления не выходят за пределы объема производства. То есть предполагается, что

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (1)$$

т.е. потребление и производство сбалансированы. Это условие является необходимым и достаточным условием разрешимости транспортной задачи.

Обозначим через $x_{ij} \geq 0$ – объем перевозок из i в j тогда суммарные затраты имеют вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Условия удовлетворения спроса:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Условия вывоза всего продукта:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Условия неотрицательности объемов перевозок:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Полученная задача называется замкнутой транспортной задачей в матричной постановке и представляет собой задачу линейного программирования. Если нарушено условие (1), т.е.

$$\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j, \quad (6)$$

то соответствующая задача называется открытой. Рассмотрим открытые задачи и сведем их к замкнутым.

А) $\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j$, (суммарный объем производства больше суммарного объема потребления). Введем фиктивный пункт потребления с $(n+1)$ и объемом $b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j$; введем также в матрицу транспортных расходов $(c_{ij})_{m \times n}$ нулевой столбец $n+1$:

$$c_{i,n+1} = 0, i = 1, 2, \dots, m.$$

Получим замкнутую задачу. В ее оптимальном решении $(x_{ij})_{m \times (n+1)}$ отбросим столбец $n+1$, получим решение исходной задачи.

В этом случае вместо условия (4) необходимо записать условие:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, i = 1, 2, \dots, m.$$

это соответствует тому, что из каждого пункта производства не может быть вывезено больше продуктов, чем в нём имеется.

Б) $\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$, (суммарный объем производства меньше суммарного объема потребления).

Рассмотрим фиктивный пункт производства с номером $m+1$ и с объёмом $a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i$. Введем в матрице транспортных расходов $(c_{ij})_{m \times n}$ нулевую строку $m+1$.

$$c_{m+1,j} = 0, j = 1, 2, \dots, n.$$

Получим замкнутую задачу в ее оптимальном решении $(x_{ij})_{(m+1) \times n}$ отбросим строку $m+1$, получим решение исходной задачи, при этом:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, j = 1, 2, \dots, n.$$

Отсюда видим, что спрос не может быть реализован полностью.

В обоих рассмотренных случаях можно вводить величины штрафа (ущерба) за невывоз произведенной продукции $c_{i,n+1}$ и (или) за неудовлетворение спроса $c_{m+1,j}$. Такую величину неудовлетворения запросов пункта j на одну единицу продукта обозначим через r_j .

Понятно, что полное обеспечение всех пунктов потребления невозможно при превышении суммарного объема потребления суммарного объема производства. Поэтому требуется оценить приоритет потребителей, а перевозки организовать так, чтобы у наиболее важных потребителей были полностью удовлетворены производственные потребности, а суммарные затраты на транспортировку продукции к ним были бы минимальными.

Исходя из вышесказанного, суммарные затраты на транспортировку продукции с учетом возможного ущерба должны стремиться к минимуму [5]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n r_j y_j \rightarrow \min \quad (7)$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

$$y_j = b_j - \sum_{i=1}^m x_{ij}, j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Последнее равенство (11) означает разность между потребностями пункта j и поставками в этот пункт.

Путем введения фиктивного пункта производства задачи (7)-(11) можно свести к классической (замкнутой) транспортной задаче, как это было описано выше, при этом $c_{m+1,j}$ следует положить равными r_j [7].

Рассмотрим практическое применение транспортной задачи на основе приведенных выше формул, перейдем к математическому методу решения.

Решение будет следующее: составим математическую модель задачи.

Пусть x_1 – характеристики завода в г. Саратов, x_2 – характеристики завода в г. Тула, x_3 – характеристика завода в респ. Мордовия, На заводах имеется продукция, в количестве a_1, a_2, a_3 единиц соответственно. Потребителями данной продукции являются строительные объекты, расположенные в городах Воронеж, Москва и Московская область. Потребителей обозначим b_1, b_2, b_3 . Примем, что каждый из потребителей подал заявку на поставку нескольких единиц продукции, причем суммы всех заявок потребителей и имеющихся запасов у производителей равны. Тогда можно записать [7]:

$$\sum_{i=1}^3 a_i = \sum_{j=1}^5 b_j$$

Также примем, что стоимость перевозки единицы груза от каждого пункта отправления a_i до каждого пункта назначения b_j известна и составляет c_{ij} денежных единиц (табл. 2).

Таблица 2

Стоимость цемента (перевозка и отпускная цена), тыс. руб.

Пункт отправления	Пункт назначения		
	г. Воронеж	г. Москва	Московская область
г. Саратов	$C_{11}=3$	$C_{12}=7$	$C_{13}=6,7$
г. Тула	$C_{21}=2,5$	$C_{22}=2$	$C_{23}=1,5$
респ. Мордовия	$C_{31}=5$	$C_{32}=6,5$	$C_{33}=6$

Помимо стоимости транспортировки необходимо уточнить расстояние от начального пункта до конечного. Данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расстояние для перевозки груза

Пункт отправления	Пункт назначения		
	г. Воронеж	г. Москва	Московская область
г. Саратов	470 км	725 км	700 км
г. Тула	300 км	173 км	158 км
респ. Мордовия	638 км	512 км	487 км

Необходимо смоделировать план перевозок, который поможет определить пункты назначения, отправления, а также количество груза для перевозок, с целью удовлетворения всех заявок при минимальной суммарной стоимости перевозки всех грузов.

Продукцию возможно доставлять любым путем, но уточним, что чем больше расстояние, тем и больше стоимость перевозки. Так же отметим, что чем больше расстояние перевозки, то целесообразнее использовать не автомобильные перевозки, а железнодорожные. Помимо этого, важно не забывать и о нарушении сроков доставки продукции на объект. Требуется определить такие объемы перевозок от каждого завода к каждому строительному объекту с учетом потребностей в работе и производственных

возможностей производителей, при которых транспортные расходы были бы минимальными.

Для построения математической модели задачи обозначим через x_{ij} количество единиц продукции, отправляемой из i -го пункта производства в j -й пункт потребления (табл. 4).

Таблица 4

Исходная матрица x_{ij} перевозимой продукции

Пункт производства	Пункт потребления		
	г. Воронеж	г. Москва	Московская область
г. Саратов	x_{11}	x_{12}	x_{13}
г. Тула	x_{21}	x_{22}	x_{23}
респ. Мордовия	x_{31}	x_{32}	x_{33}

Уточним, что совокупность x_{ij} называют планом перевозок, а их величины – перевозками. При этом должны быть соблюдены условия:

1. Суммарное количество продукции, отгружаемое из каждого пункта отправления во все пункты назначения, не может превышать величину запаса продукции в данном пункте. Это условие можно записать в виде неравенств:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} \leq a_1; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} \leq a_2; \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} \leq a_3. \end{cases}$$

2. Суммарное количество продукции, доставляемой в каждый пункт назначения, не может быть меньше указанного в заявке:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} \geq b_1; \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} \geq b_2; \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq b_3. \end{cases}$$

3. Суммарная стоимость всех перевозок должна быть минимальной:

$$L = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

Отметим, что знак двойной суммы предполагает, что суммирование производится по всем комбинациям индексов i и j , что означает следующие параметры: пункт отправления – пункт назначения.

Решение задачи состоит в нахождении таких неотрицательных значений переменных x_{ij} , при которых бы соблюдались указанные выше ограничения-неравенства, а линейная функция данных переменных была бы минимальна.

В рассматриваемом примере, с точки зрения теории принятия решений, операцию перевозки продукции из пунктов производства в пункты потребления можно охарактеризовать:

- целью – обеспечение минимальной стоимости перевозок;
- переменными x_{ij} , представляющими собой элементы решения;
- ограничениями, описывающими условия осуществления операции [8].

На основании этого перейдем к математическому методу решения данной задачи.

Пусть x_1 – характеристики завода в г. Саратов, x_2 – характеристики завода в г. Тула, x_3 – характеристика завода в респ. Мордовия. B – переменные x_1, x_2, x_3 – должны удовлетворять следующей системе:

$$\begin{cases} 3x_1 + 7x_2 + 6,7x_3 \leq 16,7 \\ 2,5x_1 + 2x_2 + 1,5x_3 \leq 6 \\ 5x_1 + 6,5x_2 + 6x_3 \leq 17,5 \end{cases}$$

Тогда общая стоимость произведенной перевозки продукции при условии x_1 завода г. Саратов, x_2 завода г. Тула, x_3 завода респ. Мордовия, может быть записана в виде функции:

$$F(x) = 10,5x_1 + 15,5x_2 + 14,2x_3$$

Переменные x_1, x_2, x_3 могут принимать только неотрицательные значения, то есть:

$$x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0$$

Решаемая задача принимает вид:

$$\begin{cases} F(x) = 10,5x_1 + 15,5x_2 + 14,2x_3 \rightarrow \max \\ 3x_1 + 7x_2 + 6,7x_3 \leq 16,7 \\ 2,5x_1 + 2x_2 + 1,5x_3 \leq 6 \\ 5x_1 + 6,5x_2 + 6x_3 \leq 17,5 \\ x_1 \geq 0 \\ x_2 \geq 0 \\ x_3 \geq 0 \end{cases}$$

Для записи задачи в канонической форме введем базисные переменные в представленных выше неравенствах смысла ($\leq$): в 1-м – x_4 ; во 2-м – x_5 и, соответственно, в 3-м – x_6 ; в неравенствах смысла ($\geq$): в 4-м – x_7 со знаком минус; аналогично в 5-м неравенстве – x_8 , в 6-м – x_9 .

$$\begin{cases} F(x) = 10,5x_1 + 15,5x_2 + 14,2x_3 \rightarrow \min \\ 3x_1 + 7x_2 + 6,7x_3 + x_4 = 16,7 \\ 2,5x_1 + 2x_2 + 1,5x_3 + x_5 = 6 \\ 5x_1 + 6,5x_2 + 6x_3 + x_6 = 17,5 \\ x_1 - x_7 = 0 \\ x_2 - x_8 = 0 \\ x_3 - x_9 = 0 \end{cases}$$

Расширенная матрица системы ограничений-равенств данной задачи представлена в табл. 5.

Таблица 5

Расширенная матрица системы ограничений-равенств задачи

	Базис	C_0	$\bar{x}$	10,5	15,5	14,2	0	0	0	0	0	0
				A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
1	x_4	0	16,7	3	7	6,7	1	0	0	0	0	0
2	x_5	0	6	2,5	2	1,5	0	1	0	0	0	0
3	x_6	0	17,5	5	6,5	6	0	0	1	0	0	0
4	x_7	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0
5	x_8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0
6	x_9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1
	Δ_j		0	-10,5	-15,5	-14,2	0	0	0	0	0	0

C_6 – вектор при переменных целевой функции, базис – значения коэффициентов базисных переменных:

$$\Delta_j = C_6 * \bar{x}$$

Для принятия базисного столбца, находим наибольший коэффициент по модулю. Таким столбцом является A_2 . Далее по строкам вычисляем значения Δ_i (как частное между $\bar{x}$ и A_2), из которых выберем наименьшее.

Поскольку наименьшее Δ_i находится в строке 1, она и будет ведущей, а ее элемент (разрешающий) равен 7.

Таблица 6

Решение задачи симплекс-методом (план 0)

№ п/п	Базис	$\bar{x}$	Коэффициенты (по модулю)									Δ_i
			10,5	15,5	14,2	0	0	0	0	0	0	
			A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	
1	X_4	16,7	3	7	6,7	1	0	0	0	0	0	2,39
2	X_5	6	2,5	2	1,5	0	1	0	0	0	0	3
3	X_6	17,5	5	6,5	6	0	0	1	0	0	0	3,69
4	X_7	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-
5	X_8	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	-
6	X_9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	-
	Δ_j	0	- 10,5	- 15,5	- 14,2	0	0	0	0	0	0	0

Далее необходимо сформировать следующую часть симплекс-таблицы, в которой переменная x_2 войдет в план 1 вместо переменной x_4 .

В плане 1 соответствующая переменной x_2 строка получена делением всех элементов строки x_4 плана 0 на разрешающий элемент. Соответственно, в ячейке разрешающего элемента запишем 1, в остальных ячейках столбца – 0.

В новом плане 1 можно заполнить строку x_2 и столбец A_2 , остальные элементы нового плана 1, включая элементы индексной строки, можно определить по правилу прямоугольника. Для этого из старого плана нужно выбрать 4 числа, расположенные в вершинах прямоугольника и включающие разрешающий элемент.

$$HЭ = ЭСП - (A*B) / PЭ \quad (12)$$

где ЭСП – элемент старого плана,

PЭ – разрешающий элемент (7),

A и B – элементы старого плана, образующие прямоугольник с элементами ЭСП и PЭ.

Для нахождения оптимального значения потребуется просчитать симплекс-таблицы нарастающим итогом (в рассматриваемом примере их пять). Пересчеты, которые не указаны в данной статье, производились на основании полученных отрицательных значений в строке Δ_j .

Заключительная таблица 7, представленная ниже, содержит оптимальный план, так как после определения критерия оптимальности среди значений индексной строки отсутствуют отрицательные.

Таблица 7

Оптимальный план

	Базис	$\bar{x}$	10,5	15,5	14,2	0	0	0	0	0	0
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	A ₉
1	X ₂	1	0	1	0	1,94	4	-3,16	0	0	0
2	X ₁	1	1	0	0	-0,58	-0,4	0,75	0	0	0
3	X ₃	1	0	0	1	-1,61	-4	2,97	0	0	0
4	X ₇	1	0	0	0	-0,58	-0,4	0,75	1	0	0
5	X ₈	1	0	0	0	1,94	4	-3,16	0	1	0
6	X ₉	1	0	0	0	-1,61	-4	2,97	0	0	1
	F(x ₃)	40,2	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Таким образом, оптимальный план задачи может быть записан в следующем виде:

$$x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1$$

$$F(x) = 10.5 * 1 + 15.5 * 1 + 14.2 * 1 = 40.2.$$

Заметим, что пересчет симплекс-таблиц производится по правилу треугольника (или методу жордановских преобразований). При этом выбор максимального значения из индексной строки для преобразований не является обязательным условием, но нужно учитывать, что алгоритм может замкнуться при выборе других значений.

Нулевые значения в индексной строке n-ого столбца соответствуют вошедшим в базис переменным. Если же в симплексной таблице оптимального плана у не вошедшей в базис свободной переменной в индексной строке получен 0, а в столбце, содержащем этот 0, имеется хотя бы один положительный элемент, то задача имеет множество оптимальных планов. Кроме того, при условии выполнения соответствующих этапов алгоритма свободная переменная, соответствующая указанному столбцу, может быть внесена в базис, в результате чего можно получить другой оптимальный план с иным набором базисных переменных.

Выводы:

1. Строительная отрасль является источником негативного влияния на окружающую среду, поэтому ее деятельность становится объектом внимания с точки зрения обеспечения экологических требований.

2. В реализуемых строительных проектах на этапе планирования необходимо предусматривать не только соблюдение нормативных требований по охране окружающей среды, но и применение экологичных «зеленых» технологий и материалов.

3. Одним из основных и востребованных строительных материалов является цемент. Для экологизации строительства рекомендуется использовать цемент, произведенный по какой-либо «зеленой» технологии.

4. Для совершенствования проектных решений и расширения экологических требований и аспектов, а также обоснования экономической целесообразности применения «зеленых» технологий (в данной статье «зеленого» цемента) представляется необходимым применение оптимизационных задач в строительстве, в частности, транспортной задачи.

5. При решении задачи оптимизации поставок строительных продуктов на объекты можно не только сократить сроки поставки, но и добиться существенной экономии денежных средств.

Библиографический список

1. Баутина Е.В., Стукальская Ю.А. Анализ влияния производственных предприятий на экологическую обстановку Воронежской области // Воронеж: ВГТУ. Проектное управление в строительстве. – 2020 г. – №2. – С. 138-146.

2. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб. / Росстат. – М., 2020 – 700 с.
3. Истомин, Б.С. Экология в строительстве: монография / Б.С. Истомин, Н.А. Гаряев, Т.А. Барабанова. – М.: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2010. – 154 с.
4. Аверина Т.А. Анализ экологических инноваций в строительной сфере в России / Аверина Т.А., Стукальская Ю.А. // Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов; Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: [сб. ст.] XIII Всерос. науч.-практ. конф. / Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. Акад. Наук, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева; гл. ред. Д. А. Новиков – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2020. – С. 100-107.
5. Коробко В.И. Экологический менеджмент. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Менеджмент организации», «Государственное и муниципальное управление». / В.И. Коробко. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 303 с.
6. Иванов Б.Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы. Полный курс. / Б.Н. Иванов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 408 с.
7. Математическое программирование: [учебное пособие] / В.Г. Карманов. – Изд. 6-е, испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 263 с.
8. Головинский П.А. Математические методы принятия управленческих решений в строительстве: учеб. пособие / П.А. Головинский, В.Я. Мищенко. – Воронеж: ВГАСУ [б. и.], 2008. – 91 с.

PROBLEMS OF GREENING CONSTRUCTION PROJECTS AND WAYS TO SOLVE THEM

E.V. Bautina, Y.A. Stukalskaya, L.M. Bocharnikova

Bautina Elena Vladimirovna*, Voronezh State Technical University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: bautina_ev@vgasu.vrn.ru, tel.: 8- 910-249-22-93

Stukalskaya Yulia Alexandrovna, Voronezh State Technical University, Master's student of the Department of Management

Russia, Voronezh, e-mail: byulia97@yandex.ru , tel.: 8-960-101-36-57

Bocharnikova Lyudmila Mikhailovna, Voronezh State Technical University, Master's student of the Department of Technosphere and Fire Safety

Russia, Voronezh, e-mail: voronezhelena@yandex.ru, tel: 8-906-675-06-88

Abstract: the article studies environmental problems associated with the activities of organizations in the construction industry, examines existing ways to solve these problems, presents an economic and mathematical model of the transport problem of supplying "green" cement to construction sites in Voronezh, Moscow and the Moscow region, presents Jordan transformations and solutions using simplex tables.

Keywords: greening of construction projects, "green" technologies, economic and mathematical model, transport problem, simplex method.

References

1. Bautina E.V., Stukalskaya Yu.A. Analysis of the impact of industrial enterprises on the environmental situation of the Voronezh region [Analiz vliyaniya proizvodstvennykh predpriyatiy na ekologicheskuyu obstanovku Voronezhskoy oblasti]. E.V. Bautina, Yu.A. Stukalskaya. Voronezh/ VGTU. Proektnoe upravlenie v stroitelstve. 2020. P. 138-146.
2. Russian Statistical Yearbook. 2020 [Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik. 2020]/ Rosstat/ 2020. 700 p.

3. Istomin, B.S. Ecology in construction: monograph [Ekologiya v stroitelstve: monografiya]. B.S. Istomin, N.A. Goryaev, T.A. Barabanova. Moskovskiy gosudarstvennyy stroitelnyy universitet, EBS ASV. 2010. 154 p.
4. Averina T.A. Analysis of environmental innovations in the construction sector in Russia [Analiz ekologicheskikh innovatsiy v stroitelnoy sfere v Rossii]. T.A. Averina, Yu.A. Stukalskaya. Samara. Izdatelstvo SamNTS RAN. 2020. – p. 100-107.
5. Korobko V.I. Environmental management. Textbook for university students studying in the specialty "Organization management", "State and municipal management" [Ekologicheskiy menedzhment. Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov]. V.I. Korobko. Moskva: UNITY-DANA. 2012. 303 p.
6. Ivanov B.N. Discrete mathematics. Algorithms and programs. Full course [Diskretnaya matematika. Algoritmy i programmy. Polnyy kurs]. B.N. Ivanov. Moskva: FIZMATLIT. 2007. 408 p.
7. Mathematical programming: [textbook] [Matematicheskoe programmirovaniye: uchebnoe posobie]. V.G. Karmanov. Moskva: FIZMATLIT. 2008. 263 p.
8. Golovinsky P.A. Mathematical methods of managerial decision-making. solutions in construction: [textbook] [Matematicheskie metody prinyatiya upravlencheskikh resheniy v stroitelstve: uchebnoe posobie]. P. Golovinsky, V. Mishchenko. Voronezh.: VGASU. 2008. 91 p.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Материалы принимаются в электронном виде на адрес редакции или на электронный адрес ответственного секретаря nilga.os_vpn@mail.ru с пометкой «Статья в Научный Журнал «Проектное управление в строительстве»» в теме письма. Отправляются: файл текста статьи, отсканированная рецензия с подписью специалиста и печатью организации по месту работы рецензента.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Статья выполняется в редакторе Microsoft Word. Везде используется шрифт Times New Roman, 12 пт (если нет других указаний). Межстрочный интервал везде одинарный. Номера страниц не вставляются. Параметры страницы: правое поле – 2 см, левое – 2 см, верхнее – 2 см, нижнее – 2 см. Выравнивание абзацев – по ширине. Отступ первой строки абзаца – 1,25 см. Следует отключить режим автоматического переноса слов.

Статья содержит (на первой странице):

- **УДК** (выравнивание по левому краю);
- двойной интервал
- **название статьи** (не более 12–15 слов) на русском языке (шрифт - полужирный, все буквы прописные, выравнивание по центру);
- двойной интервал
- **Ф.И.О. авторов** (например, И.И. Иванов, А.А. Петров) (шрифт - полужирный, выравнивание по центру). Ставится постраничная ссылка на авторский знак (например, © Иванов И.И., 2017 - шрифт ссылки Times New Roman, 9 пт);
- двойной интервал
- **далее приводится информация об авторах: Ф.И.О. полностью** (шрифт - полужирный курсив), после Ф.И.О. ответственного за подготовку рукописи ставится звездочка (*), **место работы полностью, ученая степень, ученое звание, должность, адрес** (страна, город), **адрес электронной почты** (e-mail:), **телефон** (например, тел.: +7-111-111-11-11) - шрифт - курсив, выравнивание по ширине, без отступа первой строки;
- двойной интервал
- **аннотация** до 1000 знаков на русском языке (например, «Аннотация. В статье...») - шрифт Times New Roman, 10 пт выравнивание по ширине, отступ слева – 1,5 см, дополнительный отступ первой строки – 1 см;
- двойной интервал
- **список ключевых слов на русском языке** (например, «Ключевые слова: управление, ...») - шрифт Times New Roman, 10 пт, курсив выравнивание по ширине, отступ слева – 1,5 см, дополнительный отступ первой строки – 1 см;
- двойной интервал
- текст статьи

В тексте статьи

- **все ссылки в тексте на авторов и исследователей должны соответствовать конкретным источникам в списке и помещаться в квадратных скобках.**
 - **формулы** рекомендуется набирать в редакторе формул и нумеровать следующим образом - (1), (2) и т.д.;
 - **оформление таблиц:** таблицы располагаются по тексту, нумеруются и имеют названия. Номер таблицы (**Таблица 1**) выравнивается по правому краю, название выравнивается по центру – все полужирным шрифтом;
 - **оформление рисунков:** номер рисунка (напр., Рис.1.) и его название набираются полужирным шрифтом под рисунком, выравниваются по центру.
- Если в тексте один рисунок или одна таблица, то номер не проставляется.

В конце статьи приводится раздел «Библиографический список» на русском языке

Название раздела «Библиографический список» - выравнивание по центру, шрифт полужирный – перед и после двойной интервал. Далее список литературы составляется в порядке цитирования в работе, все указанные источники нумеруются. Выравнивание – по ширине. Оформление по ГОСТ 7.1-2003.

Затем приводится информация на английском языке:

- **название статьи** на английском языке (не более 12–15 слов) (шрифт - полужирный, все буквы прописные, выравнивание по центру);
- двойной интервал
- **Ф.И.О. авторов на английском языке** (например, I.I. Ivanov, A.A.Petrov) (шрифт - полужирный, выравнивание по центру).
- двойной интервал
- **далее приводится информация об авторах на английском языке : Ф.И.О. полностью** (шрифт - полужирный курсив) с указанием звездочкой (*после Ф.И.О. ответственного за подготовку рукописи), **место работы полностью, ученая степень, ученое звание, должность, адрес** (страна, город), **адрес электронной почты** (e-mail:), **телефон** (например, tel.: +7-111-111-11-11) - шрифт - курсив, выравнивание по ширине, без отступа первой строки)
- двойной интервал
- **аннотация** на английском языке (например, «Abstract. ...») - шрифт Times New Roman, 10 пт выравнивание по ширине, отступ слева – 1,5 см, дополнительный отступ первой строки – 1 см.);
- двойной интервал
- **список ключевых слов на английском языке** (например, «Keywords: ...») - шрифт Times New Roman, 10, курсив, выравнивание по ширине, отступ слева – 1,5 см, дополнительный отступ первой строки – 1 см.);
- **библиографический список на английском языке (References)** выравнивание по центру, шрифт полужирный – перед и после двойной интервал.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ПРОЕКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЫПУСК 4 (25), 2021

Дата выхода в свет 24.12.2021.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага писчая. Уч.-изд. л. 7,4. Усл. печ. л. 9,8.

Тираж 200 экз. Заказ №

Цена свободная

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства ВГТУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84