

DOI: 10.15838/esc/2017.6.54.10

УДК 332.14, ББК 65.9(2Рос) -5

© Рожко О.Н., Шихалёв А.М.

## Оценка вариантов размещения логистических объектов на территории региона методом многокритериальной оптимизации (на примере Республики Татарстан)



**Оксана Николаевна  
РОЖКО**

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева  
Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420111,  
ул. К. Маркса, д. 10  
E-mail: oxana.rozhcko@yandex.ru



**Анатолий Михайлович  
ШИХАЛЁВ**

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация, 420012,  
ул. Бутлерова, д. 4  
E-mail: shihalev\_48@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложен научно-практический подход решения задачи оптимизации региональной транспортно-логистической структуры путем создания опорной сети логистических объектов различных классов и назначения на основе критериальной оценки логистического потенциала каждого из районов региона. Применяемые большинством исследователей методики позволяют объективно оценить логистический потенциал региона либо на уровне макросистем, либо микросистем, оценивающих логистический потенциал на уровне перевозок с определенным числом участников и стабильным грузооборотом. Предлагаемый авторами метод

**Для цитирования:** Рожко, О.Н. Оценка вариантов размещения логистических объектов на территории региона методом многокритериальной оптимизации (на примере Республики Татарстан) / О.Н. Рожко, А.М. Шихалёв // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2017. – Т. 10. – № 6. – С. 153–169. DOI: 10.15838/esc/2017.6.54.10

**For citation:** Rozhko O.N., Shikhalev A.M. Assessment of Options for Logistics Objects in the Region Using Multi-Criteria Optimization (Case Study of the Republic of Tatarstan). *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2017, vol. 10, no. 6, pp. 153–169. DOI: 10.15838/esc/2017.6.54.10

многокритериальной оптимизации позволяет не только выявить возможности логистических ресурсов каждой административно-территориальной единицы региона, но и будет способствовать активной его интеграции как субъекта РФ в систему внутренних и международных транспортных коридоров, создавая новые возможности для стратегии его экономического развития. Наиболее часто применяемые математические методы выбора места размещения логистических центров (анализ иерархий, «центр тяжести», теории графов и потоков в сетях и другие), безусловно, применимы, когда необходимо определить месторасположение объектов с определенным числом потребителей и поставщиков, стабильными входящими и выходящими потоками, но в случае динамичных, нестабильных во времени и объеме грузопотоков разнородной структуры они не дают достоверных результатов. Предложенный авторами расчет комплексной рейтинговой оценки каждого района основан на реализации многокритериальной задачи принятия решений, учитывающей как качественные критерии, так и количественные статистические и расчетные показатели через сформированные списки альтернатив (управленческих решений – районов республики) и структурированных взвешенных критериев, которые учитываются в вычислении комплексного рейтинга каждого управленческого решения (конкретного района региона). При определении места расположения логистического объекта, на финальной стадии проекта, предусмотрено участие лиц, заинтересованных в его размещении: администрации региона, района, представителей бизнес-структур. Предлагаемый авторами комплекс программного обеспечения предполагает ускоренный выбор вариантов размещения через влияние на ряд критериальных показателей. Проект находится на финальной стадии разработки, заполняются программные базы, позволяющие наглядно отображать предлагаемые к размещению логистические объекты на географической карте с учетом их вида.

**Ключевые слова:** логистический потенциал, логистический центр, комплексная рейтинговая оценка, многокритериальная задача принятия решений.

Представляемые результаты научно-практического исследования получены в рамках разработки крупного научного проекта, целью которого является совершенствование транспортно-логистического каркаса Республики Татарстан (РТ). В случае когда требуется разместить логистические центры в крупных экономических зонах, на практике часто приходится сталкиваться со множеством сравнимых вариантов, число которых возрастает не только по причине наличия большого количества потенциальных пунктов размещения логистических объектов, но и за счет возможности многовариантной рационализации управления материальными потоками, которые в свою очередь зависят от уровня экономической активности территорий, поэтому за основу комплексной критериальной оценки был выбран логистический потенциал каждого из муниципальных районов республики.

В ходе исследования были поставлены следующие задачи:

- выявить основные показатели оценки логистического потенциала административно-территориальных единиц региона, собрать по

ним объективные количественные статистические данные и обосновать выбор и оценку качественных показателей;

- на основании собранных данных, используя пакет авторских и прикладных компьютерных программ, путем реализации многокритериальной задачи принятия решений составить комплексный рейтинг районов региона, обладающих наиболее высоким логистическим потенциалом;

- разработать и адаптировать под Windows пакет программ, позволяющих оперативно принимать проектные решения при участии администрации региона (на всех уровнях) и заинтересованных бизнес-структур, с отображением предлагаемых к размещению объектов на географической карте в интерактивном режиме.

При выборе методического подхода к решению поставленных задач мы выявили, что имеющиеся многочисленные методики позволяют объективно оценить логистический потенциал региона либо на уровне макросистем, определяя его роль в национальной и международной транспортно-логистической системе (ТЛС),

либо систем, оценивающих логистический потенциал на отраслевом уровне [16; 8; 10] или на уровне унимодальных перевозок [21; 22]; при этом крайне незначительном количестве публикаций представлены методики, учитывающие интеграционный подход к организации транспортно-логистических систем внутри самого субъекта федерации [7; 9]. Подробный анализ имеющихся методических подходов к оценке логистического потенциала региона представлен в [12]. Для большей объективности оценки логистического потенциала административно-территориальных единиц (АТЕ) региона применено комбинаторное экономико-математическое моделирование, согласно которому первоначально были собраны статистические данные и выполнены необходимые расчеты относительно всей совокупности критериев каждого из 43 районов региона, в число которых вошли:

1. Качественные бинарные лингвистические критерии (348 показателей), получившие экспертные оценки на принципе – выгодно/невыгодно; наличие/отсутствие, в том числе:

- центральность положения относительно регионального центра;
- позиция относительно международных транспортных коридоров;
- позиция относительно пересечения федеральных трасс;
- позиция относительно крупных региональных трасс;
- дефицит складских площадей;
- близость речных портов;
- близость аэропортов;
- близость железнодорожных станций и терминалов.

Статистические и расчетные количественные критерии (645 значений), выраженные в соответствующих единицах изменения, в том числе:

- площадь территории района;
- производственный потенциал района;
- общая протяжённость и густота наземных путей сообщения;
- протяжённость железнодорожных путей;
- протяжённость автомобильных дорог и автодорог с твердым покрытием;
- наличие уже построенных логистических центров, в том числе корпоративных;

- грузооборот транзитных перевозок грузов по территории районов;
- объемы грузоперевозок и грузооборот всеми видами транспорта;
- объемы грузоперевозок и грузооборот автотранспортом;
- объемы грузоперевозок и грузооборот железнодорожным транспортом;
- объемы грузоперевозок и грузооборот речным транспортом;
- объем уже имеющихся складских площадей;
- индекс плотности грузовых потоков;
- индекс грузовой активности.

На следующем этапе проекта была поставлена задача – определить районы РТ, обладающие наибольшим логистическим потенциалом, согласно предъявляемым к ним требованиям в виде списка критериев R. Для ее решения разработана авторская методика расчета рейтинговой оценки каждого района, в основе которой реализация многокритериальной задачи принятия решений (МК ЗПР), лежащей в основе последующих расчетов и их интерпретаций.

Актуальность применения авторского подхода к решению многокритериальной задачи данного типа продиктована тем, что существующие математические методы и модели выбора места размещения логистических мощностей, такие как метод «центра тяжести», простейшие модели линейного программирования [2], модели систем массового обслуживания, методы теории графов и потоков в сетях [5], позволяют получить оптимальные достоверные результаты, когда необходимо определить месторасположение ЛЦ для единичного объекта с ограниченным числом известных потребителей и поставщиков, с известными статичными входящими и выходящими материальными потоками. Эти методы традиционно эффективно применимы при создании корпоративных централизованных логистических сетей производственных предприятий и торговых компаний.

При выборе мест расположения логистических объектов с большим числом участников в разветвленных логистических цепях, со сложно отслеживаемыми связями перечисленные методы становятся неэффективными ввиду большой размерности задачи и большого количества объективных экономических, географических,

производственных и ряда других факторов, влияющих на принятие оптимального решения. В этом случае целесообразно прибегнуть к методам многокритериального выбора, к которым традиционно относятся: методы, основанные на количественных измерениях (многокритериальная теория полезности); методы, основанные на качественных измерениях, результаты которых переводятся в количественный вид (методы анализа иерархии (МАИ), и методы, основанные на теории нечетких множеств); методы, основанные на количественных измерениях, но использующие несколько индикаторов при сравнении альтернатив (группа методов Электра); методы, основанные непосредственно на качественных измерениях, без перехода к количественным переменным на момент измерения и регистрации (вербальный анализ решений).

Из всех перечисленных методов при выборе мест размещения логистических центров применяется в основном МАИ [8, 10, 16], когда уровень привлекательности региона можно оценить, сопоставляя оценку конкурентоспособности исследуемого региона с оценкой конкурентоспособности региона-эталона (реального или условного), обладающего наилучшими характеристиками. Недостатком данного метода является: обязательное наличие эталона оценивания и работа лишь с качественными показателями интегрированной оценки, предоставляемой экспертом, что уже достаточно субъективно. Для перевода качественной информации в интервальную шкалу в МАИ используется вербально-числовая шкала отношений, которая позволяет ставить в соответствие степеням предпочтения одного показателя над другим определенные числа. Однако перевод вербальных измерений в числа не имеет достаточного обоснования, так как попарные сравнения факторов ведутся в терминах доминирования одного показателя над другим, и какой из них наиболее значим, устанавливается в процессе решения экспертом по результатам обработки его обратно-симметричных экспертных матриц с обязательной проверкой их содержания требованиям транзитивности.

Предлагаемый нами методический подход позволяет работать как с количественными, так

и с качественными объективными измерениями, оценивая одновременно и реальные качественные показатели (в удобной для эксперта бинарной лингвистической шкале), и объективные количественные статистические данные, приведенные в традиционной интервальной шкале. Поскольку абсолютное большинство МК ЗПР ориентировано на учет множества целей (показателей, критериев), используем «развернутую» модель МК ЗПР, которую можно представить следующим кортежем [3; 19]:

$$\langle t, X, R, A, F, G, D \rangle . \quad (1)$$

где  $t$  – постановка (тип) задачи;  $X$  – множество допустимых альтернатив (управленческих решений, вариантов действий);  $R$  – множество критериев оценки степени достижения поставленных целей;  $A$  – множество шкал критериев (шкалы наименований, порядковой, интервальной, отношений);  $F$  – отображение множества допустимых альтернатив в множество критериальных оценок их последствий (исходов);  $G$  – система предпочтений лица, принимающего решение (ЛПР);  $D$  – решающее правило, отражающее систему предпочтений ЛПР. Отметим также, что в случае группового принятия решений (тип системы  $G$  – отражает предпочтения одного лица или группы лиц-экспертов) модель (1) необходимо дополнить следующими элементами:  $E(f)$  – функцией группового предпочтения и  $L$  – принципом согласования индивидуальных предпочтений, наиболее естественной формой которого может выступать метод экспертного оценивания с последующей верификацией исходных оценок известными непараметрическими статистическими методами, которые заключаются в расчете соответствующих параметров и сравнении их с известными граничными значениями.

Конкретизацией «развернутой» модели МК ЗПР вида (1) могут быть получены модели для реальных проблемных ситуаций и перемещением ее в нечеткую среду, когда  $X$ ,  $R$ ,  $F$  и  $G$  являются нечеткими. Подготовка предполагает отбор статистических показателей в соответствии с целями исследования по определенным критериальным показателям,  $R$  (согласно списку

критериев). Также составляется список управленческих решений (исследуемых альтернатив)  $X$  – районов региона как административно-территориальных единиц (АТЕ). Для создания исходной матрицы остается лишь построить отображение множества критериев  $R$  на множество альтернатив  $X$ . Рабочий массив  $C = \{c_{ij}\}$  является следствием создания отображения  $\tau_1$ :

$$\tau_1: R \rightarrow X. \tag{2}$$

где  $X = \{x_i\}$ ,  $i = 1, m = 43$  – мощность множества АТЕ Республики Татарстан, которое представлено списком в шкале наименований, входящих в нее районов,  $R = \{r_j\}$ ,  $j = 1, n = 24$  – мощность множества принимаемых в рассмотрение перечня (списка в шкале наименований) ценностей (критериев). Тогда отображение вида (2) может быть представлено в виде двумерного множества, измеряемого в лингвистических и натуральных единицах в интервальной шкале – матрицы  $C = \{c_{ij}\}$ ,  $i = 1, n = 43$ ;  $j = 1, m = 24$  размером  $m \times n = 24 \times 43$ , которая и представляет собой формализацию имеющейся на момент исследования статистическую информацию исходных данных.

Методика решения МК ЗПР включает этапы:

1. Структуризация списка критериальных показателей с получением иерархического «дерева целей» (ДЦ) в виде диаграммы фишбоун профессора Ишикавы [18].

2. Последовательное взвешивание ветвей ДЦ на каждом уровне иерархии с вычислением веса окончательных ветвей дерева  $\omega_j$ ,  $j = 1, m\omega$  (где  $m\omega$  – число ветвей дерева на каждом уровне иерархии, которые с позиции весов как долей единицы представляют собой полную группу событий) для реализации невзвешенной (равноважной) модели и для взвешенной модели.

3. Вычисление двумерного вектора локальных приоритетов  $U = \{u_{ij}\}$  как отображения  $\tau_2$  методу АК&М [4; 18] с учетом семантики критериев двух видов (при увеличении значения критерия качество возрастает; при увеличении значения критерия качество снижается):

$$\tau_1: C \rightarrow U. \tag{3}$$

Отображение (3) осуществляется средствами двух соотношений (4) и (5):

$$u_{ij} = \frac{c_{ij} - c_{ij}^{\min}}{c_{ij}^{\max} - c_{ij}^{\min}} \cdot 100\%, \tag{4}$$

$$u_{ij} = \frac{c_{ij}^{\max} - c_{ij}}{c_{ij}^{\max} - c_{ij}^{\min}} \cdot 100\%. \tag{5}$$

Причем формула (4) используется, когда при увеличении значения того или иного критерия качество возрастает, формула (5) – когда при увеличении значения критерия качество снижается.

4. Вычисление вектора глобальных приоритетов  $V = \{v_i\}$ ,  $i = 1, n$  по аддитивной свертке:

$$v_i = \sum_{j=1}^m u_{ij} \cdot w_j. \tag{6}$$

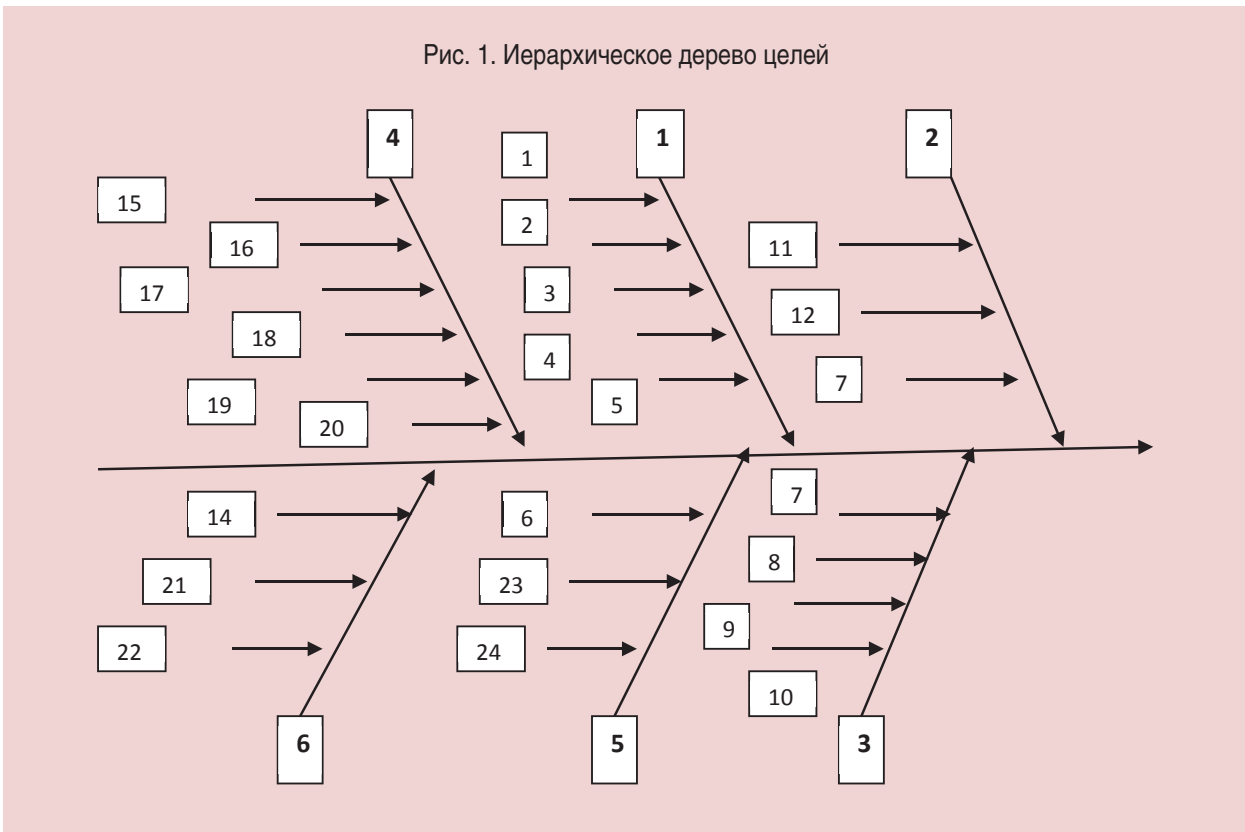
5. Нахождение оптимального элемента вектора глобальных приоритетов и номера оптимальной альтернативы:

$$v_i^{\text{opt}} = \max\{v_i\} \rightarrow i^{\text{opt}} \rightarrow x^{\text{opt}}. \tag{7}$$

6. Нахождение множества квазиоптимальных альтернатив путем формирования кластера (на базе формирования отношений эквивалентности) районов РТ, объективно близких к району размещения ЛЦ как наиболее оптимальному (здесь  $x^{\text{opt}}$  – Тукаевский район Республики Татарстан как лидирующий по оценке производственного потенциала в результате проведенного исследования).

Структуризацию списка критериальных показателей возможно осуществить как с использованием формализованных методов (используется, как один из возможных, авторский метод А.М. Шихалёва [20], который основан на нечетких фреймах), так и феноменологически. Последний метод представляет особый интерес, поскольку дает непосредственную возможность конкретным заинтересованным представителям района (инвесторам, администрации) поучаствовать в оперативном моделировании совместно с рабочей группой исследователей. Тогда в первом приближении заинтересованным представителям района будет представлена следующая структура «дерева целей» (ДЦ), представленная на *рис. 1*.

Рис. 1. Иерархическое дерево целей



Соответствующие критерии объединялись на первом иерархическом уровне в группы, составляющие их критерии – отдельные ветви представляли собой второй уровень иерархии для каждой группы. Процесс построения ДЦ основывается на содержании самих критериальных показателей, тогда как придание им равноважных весов на каждом уровне иерархии или неравноважных является последующим этапом. Поскольку группы формируются исследователями, им присваиваются обобщающие критерии названия. Процесс построения ДЦ покажем на равноважных критериях, когда на каждом уровне иерархии все ветви ДЦ имеют одинаковую важность. Попутно приводится феноменологическое создание соответствующих групп структурируемых критериальных показателей.

Примем в первом приближении равноважность групп и равноважность критериев внутри каждой группы и получим следующие весовые показатели  $w_{ij}$  (приведены в скобках), где  $i = 1, 6$ ;  $j$  – номер критериального показателя из общего списка критериев ( $r_j$ ):

**1 группа** (группы здесь и далее на рисунке 1 выделены в квадратиках жирным шрифтом) «Географическое расположение района» ( $v_1 = 0,1667$ ; здесь и далее: все 6 групп критериев имеют вес  $= 1 / 6 = 0,1667$ ); к данной группе нами отнесено 5 критериев, следовательно, вес каждого из них составит в относительных единицах  $1 / 5 = 0,2$ ;  $r_1$  = «Размер территории района», кв. км ( $w_{1,1} = 0,2$ );  $r_2$  = «Центральность положения относительно регионального центра (г. Казань)», близко/далеко ( $w_{1,2} = 0,2$ );  $r_3$  = «Позиция по отношению к пересечению МТК», выгодная/невыгодная ( $w_{1,3} = 0,2$ );  $r_4$  = «Позиция по отношению к пересечению федеральных трасс», выгодная/невыгодная ( $w_{1,4} = 0,2$ );  $r_5$  = «Позиция по отношению к пересечению крупных региональных трасс», выгодная/невыгодная ( $w_{1,5} = 0,2$ );

**2 группа** «Близость портов и станций» ( $v_2 = 0,1667$ ):  $r_{11}$  = «Близость речных портов», да/нет ( $w_{2,11} = 0,3333$ );  $r_{12}$  = «Близость аэропортов», да/нет ( $w_{2,12} = 0,3333$ );  $r_{13}$  = «Близость ж/д станций и терминалов», да/нет ( $w_{2,13} = 0,3333$ );

3 группа «Протяженность коммуникаций» ( $v_3 = 0,1667$ ):  $r_7 =$  «Протяженность сухопутных путей сообщения», км ( $w_{3,7} = 0,25$ );  $r_8 =$  «Протяженность путей ж/д», км ( $w_{3,8} = 0,25$ );  $r_9 =$  «Протяженность автомобильных дорог», км ( $w_{3,9} = 0,25$ );  $r_{10} =$  «Протяженность автодорог с твердым покрытием», км ( $w_{3,10} = 0,25$ );

4 группа «Транзитные перевозки» ( $v_4 = 0,1667$ ):  $r_{15} =$  «Объемы грузоперевозок всеми видами транспорта», млн.т ( $w_{4,15} = 0,1667$ );  $r_{16} =$  «Объемы грузоперевозок автотранспортом», тыс.т ( $w_{4,16} = 0,1667$ );  $r_{17} =$  «Объемы грузоперевозок ж/д», тыс.т ( $w_{4,17} = 0,1667$ );  $r_{18} =$  «Объемы грузоперевозок речным транспортом», тыс.т ( $w_{4,18} = 0,1667$ );  $r_{19} =$  «Грузооборот ж/д транспорта», млн.т-км ( $w_{4,19} = 0,1667$ );  $r_{20} =$  «Грузооборот автомобильного транспорта», млн.т-км ( $w_{4,20} = 0,1667$ );

5 группа «Производственный потенциал и обобщенные параметры коммуникаций» ( $v_5 = 0,1667$ ):  $r_6 =$  «Производственный потенциал региона (объемы промышленной и с/х продукции)», млн. руб.  $\times 100$  ( $w_{5,6} = 0,3333$ );  $r_{23} =$  «Густота автомобильных дорог», б/р ( $w_{5,23} = 0,3333$ );  $r_{24} =$  «Индекс плотности грузовых потоков каждого из муниципальных районов», б/р ( $w_{5,24} = 0,3333$ );

6 группа «Складские помещения» ( $v_6 = 0,1667$ ):  $r_{14} =$  «Наличие уже построенных ЛЦ (в том числе, корпоративных распределительных центров), шт. ( $w_{6,14} = 0,3333$ );  $r_{21} =$  «Объемы уже имеющихся складских площадей, включая корпоративные распределительные центры, тыс. кв. м ( $w_{6,21} = 0,3333$ );  $r_{22} =$  «Дефицит складских площадей» наличие/отсутствие ( $w_{6,22} = 0,3333$ ).

Выделенные группы критериев, приведенных как исходные данные в созданной иерархии, будут иметь следующий вид диаграммы фишбоун (см. рис. 1).

В представленном на рисунке ДЦ номера ветвей второго иерархического уровня взяты из таблицы исходных данных (графа 1). Названия соответствующих номеру критериальных показателей приведены в графе 2 той же таблицы. Номера групп критериев (первый иерархический уровень ДЦ соответствуют номерам групп, сформированных ЛПР в процессе содержательного (ситуационного) анализа.

Тогда веса всех 24-х критериальных показателей  $\omega_i$ ,  $i = 1, k = 24$  вычислим по известному

правилу для иерархических «деревьев» – как произведение веса группы на вес критериальных показателей, входящих в каждую группу, обозначив результаты как выражение (8):

$$\omega_i = v_i \cdot w_{ji}, \quad (8)$$

где  $j = 1, 1 = 6$  – число ветвей первого иерархического уровня ДЦ;  $i = 1, k_i$  – число ветвей второго иерархического уровня ДЦ: для ветви первой ветви ДЦ –  $k_1 = 5$ ; для второй –  $k_2 = 3$ ; для третьей –  $k_3 = 4$ ; для четвертой –  $k_4 = 6$ ; для пятой –  $k_5 = 3$ ; для шестой –  $k_6 = 3$ . В сумме число ветвей равно числу критериальных показателей, приведенных в табл. 1:  $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 = 5 + 3 + 4 + 6 + 3 + 3 = 24$ . Таким образом, при известных весах ветвей ДЦ первого иерархического уровня  $v_j$  и весах второго иерархического уровня  $w_{j,i}$  веса каждого из принятых к дальнейшим расчетам критериев могут быть вычислены по формуле (3). При этом сумма весов всех 24-х оконечных ветвей (листьев ДЦ)  $\omega_i$ ,  $i = 1, 24$  будет строго равна единице.

Тогда с учетом деления общего списка критериев на шесть содержательно различающихся групп и размещения на них соответствующих критериальных показателей, получим структурированное ДЦ двухуровневой иерархии, что с применением формулы (8) предоставит возможность получить множество степеней важности критериев (их весов) для равноважного сценария (что методически важно в последующем), которое для удобства сведем в выражение (9):

$$\begin{aligned} \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_4 = \omega_5 = 0,0333; \quad \omega_6 = 0,0556; \\ \omega_7 = \omega_8 = \omega_9 = \omega_{10} = 0,0417; \quad \omega_{11} = \omega_{12} = 0,0556 \\ \omega_{13} = \omega_{14} = 0,0556; \\ \omega_{15} = \omega_{16} = \omega_{17} = \omega_{18} = 0,0278; \\ \omega_{19} = \omega_{20} = 0,0278; \\ \omega_{21} = \omega_{22} = \omega_{23} = \omega_{24} = 0,0556. \end{aligned} \quad (9)$$

Результаты первого этапа решения МК ЗПР, реализующего зависимости (3) – (7) двух вариантов взвешивания критериев, представлены в таблице 1 и наиболее наглядно на рис. 2.

Результаты моделирования с отысканием оптимального и квазиоптимальных альтерна-

Таблица 1. Многокритериальные рейтинги районов Республики Татарстан, баллов (для равноважных и частично взвешенных критериев)

| Район             | Равновесные критерии |       | Взвешенные критерии |       |
|-------------------|----------------------|-------|---------------------|-------|
|                   | Место                | Баллы | Место               | Баллы |
| Тукаевский        | 1                    | 68,91 | 1                   | 68,98 |
| Высокогорский     | 2                    | 61,67 | 4                   | 54,54 |
| Альметьевский     | 3                    | 61,18 | 3                   | 59,97 |
| Нижнекамский      | 4                    | 57,76 | 2                   | 61,22 |
| Лаишевский        | 5                    | 57,00 | 5                   | 52,56 |
| Арский            | 6                    | 46,42 | 7                   | 44,86 |
| Менделеевский     | 7                    | 45,29 | 6                   | 46,52 |
| Бугульминский     | 8                    | 44,44 | 8                   | 41,41 |
| Зеленодольский    | 9                    | 42,54 | 10                  | 40,51 |
| Мамадышский       | 10                   | 42,41 | 9                   | 41,03 |
| Елабужский        | 11                   | 39,76 | 11                  | 38,99 |
| Бавлинский        | 12                   | 37,74 | 12                  | 37,04 |
| Мензелинский      | 13                   | 35,23 | 15                  | 32,47 |
| Чистопольский     | 14                   | 35,08 | 14                  | 32,61 |
| Буинский          | 15                   | 34,30 | 17                  | 30,67 |
| Агрызский         | 16                   | 34,04 | 18                  | 29,95 |
| Апастовский       | 17                   | 33,96 | 13                  | 32,94 |
| Лениногорский     | 18                   | 33,59 | 16                  | 31,34 |
| Алексеевский      | 19                   | 32,59 | 20                  | 29,04 |
| Заинский          | 20                   | 32,53 | 21                  | 28,50 |
| Кукморский        | 21                   | 29,29 | 22                  | 28,01 |
| Балтасинский      | 22                   | 29,18 | 19                  | 29,76 |
| Азнакаевский      | 23                   | 28,95 | 29                  | 22,27 |
| Пестречинский     | 24                   | 28,53 | 25                  | 25,34 |
| Верхнеуслонский   | 25                   | 28,11 | 27                  | 24,45 |
| Кайбицкий         | 26                   | 27,88 | 24                  | 27,24 |
| Рыбно-Слободской  | 27                   | 25,55 | 28                  | 23,52 |
| Сабинский         | 28                   | 25,13 | 26                  | 25,15 |
| Дрожжановский     | 29                   | 24,89 | 23                  | 27,49 |
| Нурлатский        | 30                   | 23,90 | 32                  | 19,42 |
| Тетюшский         | 31                   | 22,28 | 30                  | 19,78 |
| Камско-Устьинский | 32                   | 22,03 | 33                  | 19,00 |
| Актанышский       | 33                   | 21,00 | 36                  | 17,13 |
| Атнинский         | 34                   | 20,31 | 31                  | 19,55 |
| Аксубаевский      | 35                   | 17,69 | 38                  | 14,49 |
| Муслимовский      | 36                   | 17,08 | 34                  | 17,85 |
| Новошешминский    | 37                   | 16,87 | 37                  | 14,64 |
| Ютазинский        | 38                   | 16,70 | 35                  | 17,36 |
| Алькеевский       | 39                   | 16,28 | 40                  | 12,65 |
| Спасский          | 40                   | 15,57 | 39                  | 12,99 |
| Сармановский      | 41                   | 13,95 | 41                  | 11,57 |
| Тюлячинский       | 42                   | 12,13 | 42                  | 10,59 |
| Черемшанский      | 43                   | 11,62 | 43                  | 9,01  |

тив-районов Республики Татарстан после реализации третьего варианта взвешивания критериальных показателей, то есть взвешивание критериев на всех уровнях сформированного ДЦ, представлены в *таблице 2*.

При сравнении таблицы 1 (равновесное, невзвешенное структурированное ДЦ) и таблицы 2 (неравноважное, взвешенное ДЦ) становится очевидной целесообразность вы-

бранного нами подхода к решению задачи, поскольку возникает возможность при проведении исследования оценить «весомость» неравноважного (взвешенного) сценария с дерева цели (см. рис. 1): дифференциация степени важности критериальных показателей существенно меняет местами элементы (то есть районы РТ) ранжированного их множества, что наглядно представлено на *рис. 3*.



Рис. 2. Комплексный рейтинг районов РТ при равновесных и взвешенных критериальных показателях (в условных баллах)

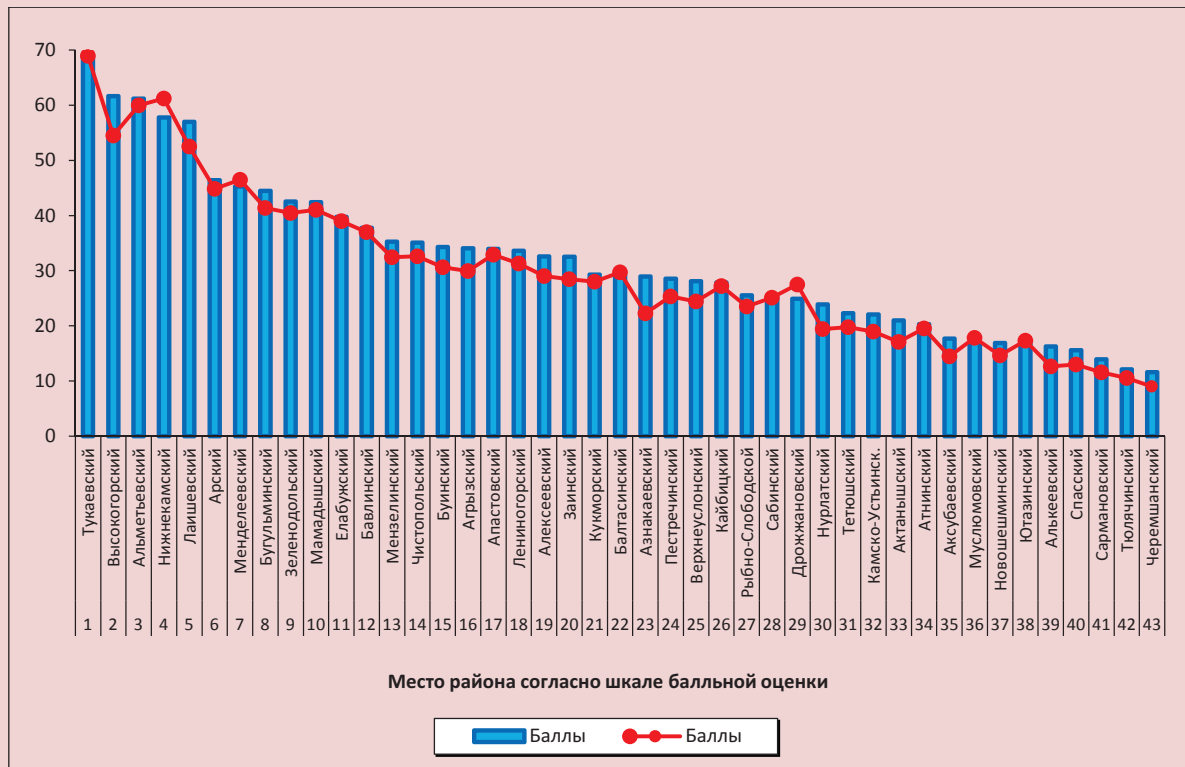
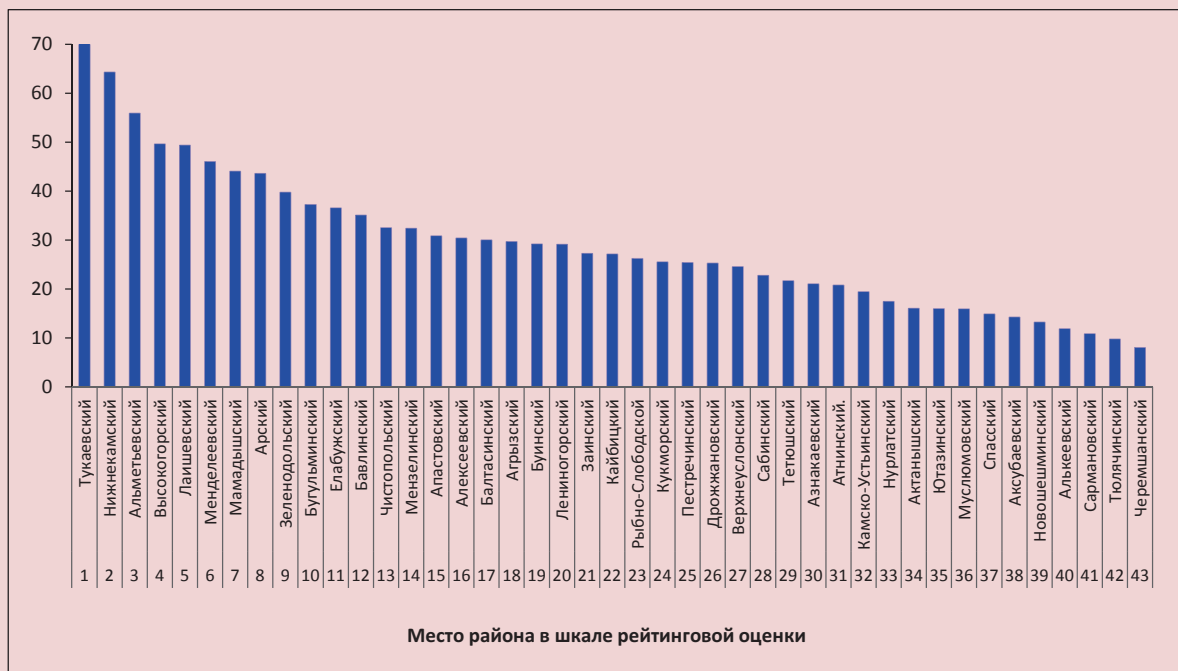


Таблица 2. Многокритериальные рейтинги районов Республики Татарстан, баллов (для взвешенных критериев)

| Место | Район          | Баллы | Место | Район             | Баллы |
|-------|----------------|-------|-------|-------------------|-------|
| 1     | Тукаевский     | 72,51 | 23    | Рыбно-Слободской  | 26,17 |
| 2     | Нижнекамский   | 64,25 | 24    | Кукморский        | 25,49 |
| 3     | Альметьевский  | 55,89 | 25    | Пестречинский     | 25,35 |
| 4     | Высокогорский  | 49,55 | 26    | Дрожжановский     | 25,23 |
| 5     | Лаишевский     | 49,33 | 27    | Верхнеуслонский   | 24,50 |
| 6     | Менделеевский  | 46,02 | 28    | Сабинский         | 22,75 |
| 7     | Мамадышский    | 43,98 | 29    | Тетюшский         | 21,60 |
| 8     | Арский         | 43,58 | 30    | Азнакаевский      | 20,99 |
| 9     | Зеленодольский | 39,68 | 31    | Атнинский         | 20,74 |
| 10    | Бугульминский  | 37,18 | 32    | Камско-Устьинский | 19,37 |
| 11    | Елабужский     | 36,48 | 33    | Нурлатский        | 17,42 |
| 12    | Бавлинский     | 35,02 | 34    | Актанышский       | 16,02 |
| 13    | Чистопольский  | 32,46 | 35    | Ютазинский        | 15,91 |
| 14    | Мензелинский   | 32,31 | 36    | Муслюмовский      | 15,85 |
| 15    | Апастовский    | 30,78 | 37    | Спасский          | 14,82 |
| 16    | Алексеевский   | 30,37 | 38    | Аксубаевский      | 14,18 |
| 17    | Балтасинский   | 29,99 | 39    | Новошешминский    | 13,14 |
| 18    | Агрызский      | 29,64 | 40    | Алькеевский       | 11,84 |
| 19    | Буинский       | 29,14 | 41    | Сармановский      | 10,81 |
| 20    | Лениногорский  | 29,09 | 42    | Тюлячинский       | 9,71  |
| 21    | Зайнский       | 27,20 | 43    | Черемшанский      | 8,00  |
| 22    | Кайбицкий      | 27,06 |       |                   |       |

Рис. 3. Комплексный рейтинг районов РТ при структурированных взвешенных критериальных показателях (в условных баллах)



Взвешивание критериев на разных уровнях иерархии производилось с использованием как экспертных методов — выставлением предпочтений в ранговой (порядковой) шкале как более предпочтительной [3; 11] с последующим отображением результатов по Фишберну [20] в интервальную шкалу, а также с использованием выборочного, корреляционного анализа как средства обеспечения относительной независимости понятий, выраженных в виде ветвей ДЦ с целью обеспечения требуемого свойства аддитивности.

На следующем этапе проектирования предоставляется возможность для направленного вмешательства представителей региона и района (администрация, инвесторы и другие заинтересованные лица) на предмет приближения отдельного района к лидирующим позициям.

В ходе исследования выявлены 16 район-лидеров. Картографически оценка рейтинга районов по величине логистического потенциала представлена на *рис. 4*.

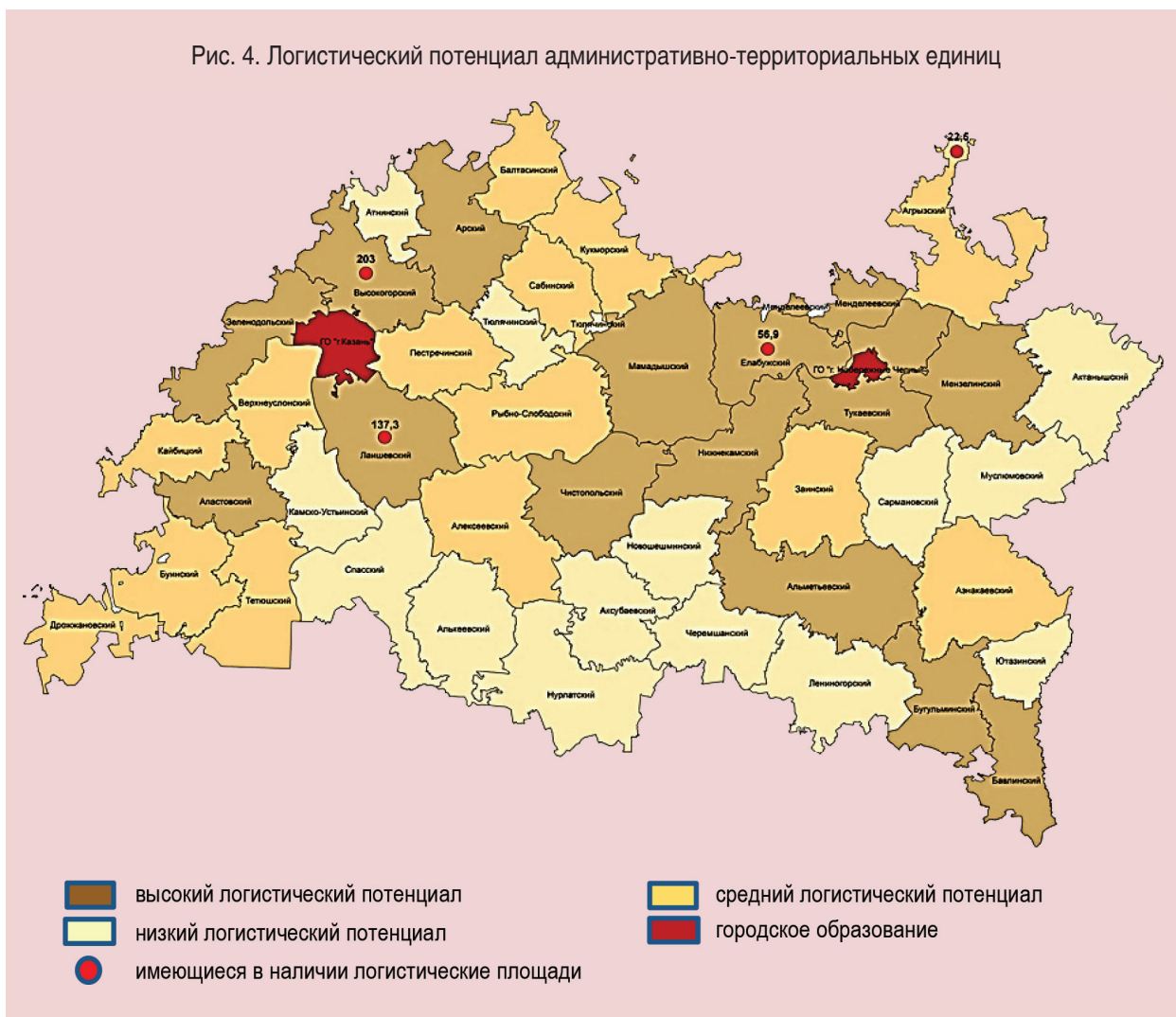
Наглядно механизм взаимодействия администрации региона с рабочей группой разработчиков проекта можно продемонстрировать

на следующем примере, состоящем из постановки задачи и способов ее решения с выходной визуализацией результатов предполагаемого управления.

Предположим, представитель одной из АТЕ (его район в рейтинговом списке находится на 11-м месте) желает повысить рейтинг района как места целесообразного размещения будущего логистического объекта. При этом он может располагать в течение некоторого времени средствами в размере  $Q$  млн. руб. Вопрос: на какие критериальные показатели он должен повлиять, то есть куда вложить средства, чтобы получить максимальный эффект, повысив логистическую привлекательность своего района. Фактически постановка такой задачи может быть условно разделена на два следующих аспекта. Первый: на какие критериальные показатели вообще управленческие воздействия возможны? Второй: как распорядиться имеющимися средствами наиболее эффективно?

В плане реализации первого аспекта проблемы участия понятно, что над размером территории (критерий  $r_1$ , измеряемый в интервальной шкале, км<sup>2</sup>) своего района представитель

Рис. 4. Логистический потенциал административно-территориальных единиц



АТЕ не властен. Не властен он и по отношению к объективно зафиксированной степени центральности положения относительно регионального центра (критерий  $r_2$ , измеряемый в бинарной лингвистической шкале «близко – далеко») и ряд других, однако есть такие критерии, на которые управленческие воздействия в разной степени со стороны представителя АТЕ или региона в целом (или того и другого совместно) вполне практически возможны (например, увеличение производственного потенциала, объемов перевозок различными видами транспорта, протяженность и качество путей сообщения и т.д.).

Пусть для последующей определенности представитель района в течение, скажем, года сможет повысить, допустим, на 6% «Производственный потенциал района, млн. руб.» (критерий  $r_2$ ); «Протяженность сухопутных путей сообщения, км» (критерий  $r_7$ ) – увеличить на 52 км за тот же период; «Объемы грузоперевозок автомобильным транспортом, тыс. т» (критерий  $r_{16}$ ) – увеличить на 5–7%. На этом возможности района представитель посчитал на ближайший год исчерпанными, при этом ему не надо вникать в процесс проектирования и программного обеспечения, возможности своих ресурсов, но сообщает так, как ему представляется наиболее удобным. Постановка задачи закончена.

Рабочая группа разработчиков перед началом моделирования предварительно уточняет ценовые (стоимостные) эквиваленты единиц количественных показателей критериев, которые требуют улучшения, которые могут различаться от региона к региону. Результаты фиксируются в промежуточном файле данных (в

частности, в данном случае, в среде FoxPro под Windows в виде файла с расширением. dbf, но могут применяться и другие программные продукты) в виде точечных либо интервальных оценок. Участвующему в вычислительном эксперименте представителю района предлагается весь список критериев, на которые возможно организовать управленческие воздействия (в данном примере представитель выбрал воздействие на критерии  $r_2$ ;  $r_7$  и  $r_{16}$ ).

Общая сумма предполагаемых затрат специальным программным решающим модулем с расширением. prg подсчитывается и формируется новая рабочая таблица следующего вида: вторую, третью и четвертую строки заполняют наименованиями выбранных критериев, первую строку занимает распределенная сумма с вычисленной программой вариантом градации по  $q_1, q_2, \dots, q_k$ , выраженная в млн. руб. ( $\sum q_k = Q$  млн. руб.). Затем данный программный модуль формирует так называемую «функцию полезности» в виде матрицы соответствующего размера (в данном случае  $3 \times k$ ). Первая строка новой рабочей таблицы, как уже упоминалось, представляет собой средства в млн. руб.:  $q_1, q_2, \dots, q_k$  – всего  $k$  столбцов.

Теперь формулируем задачу: как распределить имеющиеся средства между улучшением критериев  $r_2$ ;  $r_7$  и  $r_{16}$  наилучшим образом (максимально эффективно – для максимально возможного продвижения значения первоначального рейтинга до рейтинга большего)? Для решения задач подобного рода в эконометрике успешно применим один из методов дискретной оптимизации Беллмана – метод динамического программирования [4; 6; 15]. Разработанный и отлаженный программный модуль, проверенный на модельных примерах, позволяет в рамках метода обратной прогонки провести этап условной, а затем и безусловной оптимизации с последовательным расчетом уравнения состояния, используя элементы первой строки новой рабочей таблицы. В результате будут получены такие новые критериальные значения  $r_2$ ;  $r_7$  и  $r_{16}$ , что имеющаяся в распоряжении района сумма  $Q$  будет использована максимально эффективно.

Прежние критериальные показатели программой дублируются и модифицируются в соответствии с результатами решения оптимизаци-

онной задачи динамического программирования, решение МК ЗПР на дублированном (модифицированном) файле данных решается повторно и при прочих равных условиях (картина для остальных – здесь 42-х районов – остается прежней) исследуемый район перемещается, скажем, с 11-го места в первоначальном (взвешенном) решении на, допустим, 8-е или на 5-е место, тем самым повысив свой резервный рейтинг логистического потенциала и возможности расположения на его территории логистического объекта. Задача решена. Однако вполне возможно, что тот же представитель моделируемого района полученными результатами может быть не вполне удовлетворен. Тогда его намерения уточняются и задачи оптимизации и МК ЗПР в целом решаются повторно. Сколько требуется. В заключение серии вычислительных экспериментов, результаты которых хранятся в специальном файле данных, представителю района рекомендуют наилучший.

В настоящее время пишется и отлаживается компьютерная программа по созданию рабочей таблицы пользователя в интерактивном (диалоговом) режиме с получением дискретных значений функций полезности в зависимости от аргументов в виде вариантов инвестиционных воздействий с градацией вида  $q_1, q_2, \dots, q_k$  для оптимизационной схемы Беллмана (которая будет использоваться для реализации МК ЗПР в области нахождения векторов приоритета уже не на модельных стоимостных значениях, а на реальных финансовых возможностях районов).

Одновременно ведется работа по визуализации на географической карте в диалоговом режиме возможного расположения логистических объектов внутри лидирующих районов и районов, обладающих наибольшим потенциалом производственного роста, в том числе сельхозпроизводства. На данный момент экспертно, с учетом опроса всех ответственных лиц, принимающих решения в лидирующих по результатам рейтинговой оценки административно-территориальных единицах (официальный опрос проводился при содействии руководства Министерства транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан), а также с учетом оценок экспертов рабочей группы по всем изначально установленным критериям, определены

места расположения логистических объектов на территории конкретных районов. Определены ориентировочные координаты расположения (географические и прямоугольные), тип предлагаемых логистических объектов, предложены рекомендации по размеру занимаемой территории, классам и видам размещаемых складских помещений, рациональному использованию и взаимовлиянию уже существующих и планируемых центров как на территории Республики Татарстан, так и ближайших регионов.

Предложенная визуализация по расположению логистических центров внутри районов, как один из вариантов, может быть дополнена известными гравитационными моделями. Однако предварительные расчеты, проведенные нами, выявили нецелесообразность применения данных моделей при определении конкретных координат на определенной местности, да и достоверность самих гравитационных методов в случае большого числа многопрофильных грузопотоков, связывающих множество различных грузоотправителей и грузополучателей, в том числе транзитные грузопотоки, вызывает критику у многих исследователей [14; 17].

Для лидирующих по оценке логистического потенциала районов было выполнено статистическое прогнозирование объемов перевозок наземными видами транспорта, а также производственного потенциала районов экстраполятивными методами и на основе обучаемых нейронных интеллектуальных сетей на трехлетний горизонт прогнозирования. Прогноз выявил положительную динамику по основным показателям: производственному потенциалу и объемам грузовых перевозок наземными видами транспорта, что окончательно подтвердило лидирующие позиции районов и позволило рекомендовать размещение на их территории

логистических объектов (подробное описание статистического прогноза представлено в [13]).

Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложенный авторами метод многокритериальной оптимизации при оценке вариантов размещения логистических объектов на территории региона позволяет учесть не только имеющиеся возможности логистического потенциала каждой его административно-территориальной единицы, но и любую динамику (положительную, отрицательную) изменения критериальных показателей логистической привлекательности территории района: от его площади и протяженности путей сообщения до изменения производственного потенциала и величины грузооборота (любым видом транспорта).

2. Применение авторского подхода к реализации многокритериальной задачи принятия решений предоставляет возможность на практике совершенствовать транспортно-логистическую инфраструктуру региона при организации грузовых перевозок при непосредственном участии всех заинтересованных лиц, а именно администраций всех уровней регионального управления, представителей перевозчиков, производственных бизнес-структур и потенциальных инвесторов проектов.

3. Предложенный комплекс программного обеспечения, том числе авторской программы, адаптированной под Windows, предполагает ускоренный выбор вариантов размещения объектов, через влияние на критериальные показатели логистического потенциала, с учетом финансовых возможностей каждой из административно-территориальных единиц региона.

Пилотно проект представлен к внедрению на территории Республики Татарстан.

## Литература

1. Алькема, В.Г. Применение метода анализа иерархии при выборе города размещения регионального распределительного центра [Текст] / В.Г. Алькема, Е.С. Демиденко // Логистика: проблемы и решения. – 2011. – № 1. – С. 52–57.
2. Бродецкий, Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: процедуры оптимизации [Текст] / Г.Л. Бродецкий, Д.А. Гусев. – М.: Академия, 2012. – 288 с.
3. Блюмин, С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности [Текст]: монография / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова. – ЛЭГИ: Липецк, 2001. – 138 с.

4. Ващекин, А.М. Применение математических методов теории нечетких множеств при моделировании принятия решений в экономической и правовой сфере [Текст] / А.М. Ващекин // Статистика и экономика. – 2013. – № 6. – С. 18–21.
5. Диленко, В.А. Математические модели оптимального размещения логистических мощностей в региональной системе товарных потоков [Текст] / В.А. Диленко, Н.Л. Тараканов // Проблемы экономики. – 2013. – № 2. – С. 256–251.
6. Иванко Е.Е. Метод динамического программирования в минимаксной задаче распределения заданий с равноценными исполнителями [Текст] / Е.Е. Иванко // Вестник ЮУрГУ. – Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2013. – №1. – Т. 6. – С.124–133.
7. Койчубаев, А.С. Научно-прикладные аспекты развития региональной логистической системы (на примере Республики Казахстан) [Текст] / А.С. Койчубаев // Вестник СамГЭУ. – 2013. – № 10(108). – С. 118–124.
8. Копылова, О.А. Размещение региональных логистических центров: монография [Текст] / О.А. Копылова, А.Н. Рахмангулов. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова. – 172 с.
9. Кузнецова, Н.П. Логистический потенциал как фактор инновационной активности региона [Текст] / Н.П. Кузнецова // Вестник ОрелГИЭТ. – 2012. – № 1(19). – С. 73–81.
10. Ломаш, Д.А. Имитационное моделирование как метод оценки эффективности логистических процессов интермодальных перевозок [Текст]: монография / Д.А. Ломаш. – Ростов н/Д: РГУПС, 2004. – 187 с.
11. Подиновский, В.В. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: pro et contra / В.В. Подиновский, М.А. Потапов // Бизнес-информатика. – 2013. – Выпуск № 3(25). С. 41–48. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-vzveshennoy-summy-kriteriev-v-analize-mnogokriterialnyh-resheniy-pro-et-contra>
12. Рожко, О.Н. Оценка логистического потенциала региона [Текст] / О.Н. Рожко // Вестник экономики, права и социологии. – 2015. – № 3. – С. 72–75.
13. Развитие транспортно-логистической инфраструктуры Республики Татарстан [Текст]: монография / О.Н. Рожко, А.М. Шихалев, В.В. Хоменко, И.М. Якимов. – Казань: Академия наук РТ, 2016. – 98 с.
14. Селютина, О.Ю. Современные методы и модели изучения региональных экономических систем [Текст] / О.Ю. Селютина // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 10. – С. 48–56.
15. Сутягина, Н.И. Метод динамического программирования при принятии микроэкономического решения [Электронный ресурс] / Н.И. Сутягина // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 11(42). – С. 72–77. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-dinamicheskogo-programmirovaniya-pri-prinyatii-mikroekonomicheskogo-resheniya>.
16. Фрейдман, О.А. Анализ логистического потенциала региона: монография [Текст] / О.А. Фрейдман. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – 164 с.
17. Bergstrand, J. Gravity Redux: Estimation of Gravity-Equation Coefficients, Elasticities of Substitution, and General Equilibrium Comparative Statics under Asymmetric Bilateral Trade Costs [Text] / J. Bergstrand, M. Larch, P. Egger // Journal of International Economics. – 2013. – Vol. 89. – № 1. – P. 110–121.
18. Figuera, J. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys: monograph [Text] / J. Figuera, S. Greco, M. Enggott and other / Edited by Jose Figuera. – Boston: Springer Science + Business Media, Inc., 2005. – 1046 p.
19. Rezaei, J. A systematic review of multi-criteria decision-making applications in reverse logistics. [Electronic resource] / Jafar Rezaei // Transportation Research Procedia. – 2015. – № 10. – P. 766–776. – URL:[http://ac.els-cdn.com/S2352146515002173/1-s2.0-S2352146515002173-main.pdf?\\_tid=af2c33e6-1598-11e7-9e53-00000aacb360&acdnat=1490913297\\_9dc7d56bcd745b8fcfd421f0c9ba0002](http://ac.els-cdn.com/S2352146515002173/1-s2.0-S2352146515002173-main.pdf?_tid=af2c33e6-1598-11e7-9e53-00000aacb360&acdnat=1490913297_9dc7d56bcd745b8fcfd421f0c9ba0002)
20. Shikhalev A.M., Application of the Forfold Tables Method for Analysis of Dynamics of Social Systems [Text] / A.M. Shikhalev, M.V. Panasyuk, A.R. Burilov // Mediterranean Journal of Social Sciences MCSER Publing, Rome-Italy. – 2014. – vol. 5. – № 18. – P. 335–339.
21. Velychko, O. Logistical system Fortschrittzahlen in the management of the supply chain of a multi-functional grain cooperative [Electronic resource] / O. Velychko // Economics & Sociology. – 2015. – Vol. 8. – № 1. – P. 127–146. – URL: [http://www.economics-sociology.eu/files/ES\\_Vol8\\_1\\_Velychko.pdf](http://www.economics-sociology.eu/files/ES_Vol8_1_Velychko.pdf)
22. Wang, A. Research of Logistics and Regional Economic Growth [Electronic resource] / Ana Wang // iBusiness. – 2010. – № 2. – P. 395–400. – URL: [http://file.scirp.org/pdf/IB20100400012\\_92280006.pdf](http://file.scirp.org/pdf/IB20100400012_92280006.pdf)

### Сведения об авторах

Оксана Николаевна Рожко – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, Институт авиации, наземного транспорта и энергетики (420111, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10; e-mail: oxana.rozhcko@yandex.ru)

Анатолий Михайлович Шихалёв – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт управления, экономики и финансов (420012, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 4; e-mail: shihalev\_48@mail.ru)

Rozhko O.N., Shikhalev A.M.

### Assessment of Options for Logistics Objects in the Region Using Multi-Criteria Optimization (Case Study of the Republic of Tatarstan)

**Abstract.** The article proposes a scientific and practical approach to solving the problem of optimizing the regional transport-logistics structure by creating a reference network of logistics facilities of different class and purpose on the basis of criterion assessment of logistics capacity of each district of the region. The methodologies used by most researchers help objectively assess the logistics potential of the region at the level of either macro-systems or micro-systems assessing logistics capacity at the level of transportation with a certain number of participants and stable freight turnover. The proposed method of multi-criteria optimization helps not only identify the opportunities of logistics resources of each administrative and territorial of the region, as well as promote its active integration as a constituent entity of the Russian Federation in domestic and international transportation corridors, creating new opportunities for the strategy of its economic development. The most frequently used mathematical methods of site selection for logistics centers (hierarchy analysis, “gravity center”, theory of graphs and flows in networks and others) are certainly applicable when it is necessary to determine the location of objects with a certain number of customers and suppliers, stable inflows and outflows, but in the case of dynamic, unstable in time and volume of freight traffic, heterogeneous structures they do not give reliable results. The proposed calculation of comprehensive ranking assessment of each region is based on the implementation of multi-objectives taking into account both qualitative criteria and quantitative statistical and calculated values using the generated lists of alternatives (management decisions – districts of the Republic) of structured weighted criteria which are taken into account in calculating the comprehensive ranking of each management decision (of a particular area of the region). Determining the location of a logistics facility at the final stage of the project implies participation of subjects interested in its deployment: regional administration, representatives of business units. The proposed software package involves accelerated selection of deployment options through impacts on a number of criteria indicators. The project is at its final development stage; databases are being completed allowing to graphically show the proposed logistics facilities on the map considering their type.

**Key words:** logistics potential, logistics center, comprehensive ranking assessment, multi-criteria decision-making objective.

### References

1. Al'kema V.G., Demidenko E.S. Primenenie metoda analiza ierarkhii pri vybore goroda razmeshcheniya regional'nogo raspredelitel'nogo tsentra [The use of the hierarchy analysis method when choosing the city for locating a regional distribution center]. *Logistika: problemy i resheniya* [Logistics: issues and solutions], 2011, no. 1, pp. 52–57. (In Russian).

2. Brodetskii G.L., Gusev D.A. *Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v logistike: protsedury optimizatsii* [Economic-mathematical methods and models in logistics: optimization procedures]. Moscow: Akademiya, 2012. 288 p. (In Russian).
3. Blyumin S.L., Shuikova I.A. *Modeli i metody prinyatiya reshenii v usloviyakh neopredelennosti: monografiya* [Methods and models of decision-making amid uncertainty: monograph]. LEGI: Lipetsk, 2001. 138 p. (In Russian).
4. Vashchekin A.M. *Primenenie matematicheskikh metodov teorii nechetkikh mnozhestv pri modelirovanii prinyatiya reshenii v ekonomicheskoi i pravovoi sfere* [The application of mathematical methods in the theory of fuzzy sets in modeling decision-making in the economic and legal developments]. *Statistika i ekonomika* [Statistics and economics], 2013, no. 6, pp. 18–21. (In Russian).
5. Dilenko V.A., Tarakanov N.L. *Matematicheskie modeli optimal'nogo razmeshcheniya logisticheskikh moshchnosti v regional'noi sisteme tovarnykh potokov* [Mathematical models of optimal allocation of logistical capacities in the regional system of commodity flows]. *Problemi ekonomiki* [The problems of economy], 2013, no. 2, pp. 256–251. (In Russian).
6. Ivanko E.E. *Metod dinamicheskogo programmirovaniya v minimaksnoi zadache raspredeleniya zadaniy s ravnotsennymi ispolnitelyami* [Dynamic programming method in bottleneck tasks distribution problem with equal agents]. *Vestnik YuUrGU, Seriya: Matematicheskoe modelirovanie i programmirovaniye* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical modelling, programming & computer software], 2013, no. 1, vol. 6, pp.124–133. (In Russian).
7. Koichubaev A.S. *Nauchno-prikladnye aspekty razvitiya regional'noi logisticheskoi sistemy (na primere Respubliki Kazakhstan)* [Scientific application aspects of the regional logistics system development (the case of the Republic of Kazakhstan)]. *Vestnik SamGEU* [Vestnik of Samara State University of Economics], 2013, no. 10(108), pp. 118–124. (In Russian).
8. Kopylova O.A., Rakhmangulov A.N. *Razmeshchenie regional'nykh logisticheskikh tseftrov: monografiya* [Location of regional logistics centers: monograph]. Magnitogorsk: MGTU im. G.I. Nosova. 172 p.
9. Kuznetsova N.P. *Logisticheskii potentsial kak faktor innovatsionnoi aktivnosti regiona* [Logistical potential as the factor of innovative activity of region]. *Vestnik OrelGIET* [Vestnik of Oryol State University of Economics and Trade], 2012, no. 1(19), pp. 73–81. (In Russian).
10. Lomash D.A. *Imitatsionnoe modelirovanie kak metod otsenki effektivnosti logisticheskikh protsessov intermodal'nykh perevozkov: monografiya* [Simulation modeling as a method of assessing the efficiency of logistics processes of intermodal transportation: monograph]. Rostov-on-Don: RGUPS, 2004. 187 p. (In Russian).
11. Podinovskii V.V., Potapov M.A. *Metod vzveshennoi summy kriteriev v analize mnogokriterial'nykh reshenii: pro et contra* [Weighted sum method in the analysis of multi-criterial decisions: pro et contra]. *Biznes-informatika* [Business informatics], 2013, no. 3 (25), pp. 41–48. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-vzveshennoy-summy-kriteriev-v-analize-mnogokriterialnyh-resheniy-pro-et-contra>. (In Russian).
12. Rozhko O.N. *Otsenka logisticheskogo potentsiala regiona* [Assessment of logistics potential of a region]. *Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii* [The review of economy, the law and sociology], 2015, no. 3, pp. 72–75. (In Russian).
13. Rozhko O.N., Shikhalev A.M., Khomenko V.V., Yakimov I.M. *Razvitie transportno-logisticheskoi infrastruktury Respubliki Tatarstan: monografiya* [Development of transportation-logistics infrastructure in the Republic of Tatarstan: monograph]. Kazan: Akademiya nauk RT, 2016. – 98 s. (In Russian).
14. Selyutina O.Yu. *Sovremennyye metody i modeli izucheniya regional'nykh ekonomicheskikh sistem* [Modern methods and models of studying regional economic systems]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika* [Economic analysis: theory and practice], 2011, no. 10, pp. 48–56. (In Russian).
15. Sutyagina N.I. *Metod dinamicheskogo programmirovaniya pri prinyatii mikroekonomicheskogo resheniya* [Method of dynamic programming at acceptance of the microeconomic decision]. *Vestnik NGIEI* [Bulletin of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics], 2014, no. 11 (42), pp. 72–77. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-dinamicheskogo-programmirovaniya-pri-prinyatii-mikroekonomicheskogo-resheniya>. (In Russian).
16. Freidman O.A. *Analiz logisticheskogo potentsiala regiona: monografiya* [Analysis of region's logistics potential: monograph]. Irkutsk: IrGUPS, 2013. 164 p. (In Russian).
17. Bergstrand J., Larch M., Egger P. Gravity Redux: Estimation of Gravity-Equation Coefficients, Elasticities of Substitution, and General Equilibrium Comparative Statics under Asymmetric Bilateral Trade Costs. *Journal of International Economics*, 2013, vol. 89, no. 1, pp. 110–121. (In Russian).



18. Figuera J. (Ed.), Figuera J., Greco S., Enrgott M. et al. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys: monograph*. Boston: Springer Science + Business Media, Inc., 2005. 1046 p. (In Russian).
19. Rezaei J. A systematic review of multi-criteria decision-making applications in reverse logistics. *Transportation Research Procedia*, 2015, no. 10, pp. 766–776. Available at: [http://ac.els-cdn.com/S2352146515002173/1-s2.0-S2352146515002173-main.pdf?\\_tid=af2c33e6-1598-11e7-9e53-00000aacb360&acdnat=1490913297\\_9dc7d56bcd745b8fcd421f0c9ba0002](http://ac.els-cdn.com/S2352146515002173/1-s2.0-S2352146515002173-main.pdf?_tid=af2c33e6-1598-11e7-9e53-00000aacb360&acdnat=1490913297_9dc7d56bcd745b8fcd421f0c9ba0002)
20. Shikhalev A.M., Panasyuk M.V., Burilov A.R. Application of the Forfold Tables Method for Analysis of Dynamics of Social Systems. *Mediterranean Journal of Social Sciences MCSER Publing*, Rome-Italy, 2014, vol. 5, no. 18, pp. 335–339.
21. Velychko O. Logistical system Fortschrittzahlen in the management of the supply chain of a multi-functional grain cooperative. *Economics & Sociology*, 2015, vol. 8, no. 1, pp. 127–146. Available at: [http://www.economics-sociology.eu/files/ES\\_Vol8\\_1\\_Velychko.pdf](http://www.economics-sociology.eu/files/ES_Vol8_1_Velychko.pdf)
22. Wang A. Research of Logistics and Regional Economic Growth. *iBusiness*, 2010, no. 2, pp. 395–400. Available at: [http://file.scirp.org/pdf/IB20100400012\\_92280006.pdf](http://file.scirp.org/pdf/IB20100400012_92280006.pdf)

### Information about the Authors

Oksana Nikolaevna Rozhko – Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev, Institute for Aviation, Land Transportation and Power Engineering (10, Karl Marx Street, Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation; E-mail: [oxana.rozhcko@yandex.ru](mailto:oxana.rozhcko@yandex.ru))

Anatolii Mikhailovich Shikhalev – Kazan Federal University, Institute of Management, Economics and Finance (4, Butlerov Street, Kazan, 420012, Republic of Tatarstan, Russian Federation; E-mail: [shihalev\\_48@mail.ru](mailto:shihalev_48@mail.ru))

Статья поступила 03.04.2017.