

Наумов В. Н., Зеленковская А. А., Котов А. И.

О планировании инвестиций в развитие города

Наумов Владимир Николаевич

Северо-Западный институт управления — филиал РАНХиГС (Санкт-Петербург)
Руководитель научно-образовательного направления «Бизнес-информатика»
Доктор военных наук, профессор
naumov122@list.ru

Зеленковская Анастасия Александровна

Северо-Западный институт управления — филиал РАНХиГС (Санкт-Петербург)
Аспирант
nzcontrol@mail.ru

Котов Анатолий Иванович

Специальный представитель Губернатора Санкт-Петербурга по вопросам экономического развития
Кандидат экономических наук
a.kotov@cedipt.spb.ru

РЕФЕРАТ

В статье рассмотрены предложения по планированию распределения ограниченных ресурсов, выделяемых на развитие Санкт-Петербурга, основанные на решении задачи оптимизации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

стратегия, оптимизация распределения ресурсов, линейное программирование, сфера образования, сфера здравоохранения, метод анализа иерархий

Naumov V. N., Zelenkovskaya A. A., Kotov A. I.

On Planning of Investments into City Development

Naumov Vladimir Nikolaevich

North-West Institute of Management — branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Saint-Petersburg, Russian Federation)
Head of the scientific and educational direction "Business informatics"
Doctor of Science (Military Science), Professor
naumov122@list.ru

Zelenkovskaya Anastasiya Aleksandrovna

North-West Institute of Management — branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Saint-Petersburg, Russian Federation)
Graduate Student
nzcontrol@mail.ru

Kotov Anatoly Ivanovich

Special representative of the Governor of Saint-Petersburg on Economic Development (Russian Federation)
PhD in Economics
a.kotov@cedipt.spb.ru

ABSTRACT

The article deals with questions of planning the allocation of scarce resources in the development of St. Petersburg based on solving the optimization problem

KEYWORDS

strategy, resource allocation optimization, linear programming, education sector, health sector, the analytic hierarchy process

Будущее развитие Санкт-Петербурга определено Стратегией экономического и социального развития до 2030 г., которая была принята 13 мая 2014 г. Она содержит цели и ключевые приоритеты социально-экономического развития города и направлена на обеспечение стабильного улучшения качества жизни горожан и повышение его глобальной конкурентоспособности на основе реализации национальных приоритетов развития, обеспечения устойчивого экономического роста и использования результатов инновационно-технологической деятельности¹.

Стратегия содержит систему целей, которые станут ориентиром долгосрочного развития города и рационального использования городских ресурсов. По образному выражению известного современного экономиста, иностранного члена Российской академии наук Владимира Квинта, «стратегия — это путеводитель к выверенным приоритетам и целям через хаос будущего и неизвестного. Это мудрость, умноженная на точно выбранный вектор атаки с оценкой ресурсной ограниченности» [2]. В соответствии со Стратегией, цели социально-экономического развития Санкт-Петербурга структурированы по четырем уровням, включая генеральную цель (первый уровень), стратегические приоритеты (второй уровень), стратегические цели (третий уровень) и программно-целевые установки (четвертый уровень).

Каждой цели (кроме генеральной) соответствуют показатели, значения которых характеризуют степень ее достижения. Такой подход позволяет построить систему сбалансированных целей и показателей, определить ключевые индикаторы эффективности и обеспечить мониторинг их достижения [1]. Для достижения генеральной цели определены 4 стратегические приоритета: обеспечение устойчивого экономического роста, развитие человеческого капитала, повышение качества городской среды, обеспечение эффективности управления и развитие гражданского общества.

Реализация Стратегии, обеспечение данных стратегических приоритетов осуществляются в условиях изменения демографической ситуации в городе. Переломным в демографической сфере стал 2012 г., когда коэффициент естественного прироста принял положительное значение. К началу 2013 г. численность населения Санкт-Петербурга достигла того максимального значения, которое было зафиксировано в 1990 г., и составила 5028 тыс. чел. Второй раз в истории Санкт-Петербурга 22 сентября 2012 г. родился пятимиллионный житель. В последние годы в городе наметились устойчивые тенденции роста рождаемости и снижения смертности. Общий коэффициент рождаемости увеличился к началу 2015 г. до 13,0 промилле; общий коэффициент смертности снизился до 11,7 промилле. Это лучшие значения показателей за последние 30 лет².

На рис. 1 приведена диаграмма прогноза численности населения в городе до 2030 г. В городе наблюдается устойчивый рост численности населения. При этом наблюдается рост рождаемости, миграционный рост, рост средней продолжительности жизни и др., что изменяет текущую демографическую ситуацию в городе. Из-за повышения уровня рождаемости резко встал вопрос о дефиците детских садов, школ, учителей. В частности, в 2013 г. на 109 детей приходилось 100 мест в детском саду, а на 148 учеников — 10 учителей. Непринятие соответствующих мер не только не позволит выполнить поставленные стратегические цели Стратегии, но и ухудшит текущую ситуацию в городе.

¹ Стратегия социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года: Выбор основных направлений и целей социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: http://www.ec-group.ru/upload/projects/Strategia_socialno-ekonomicheskogo_razvitiya_Sant-Peterburga_do_2030_goda_Vybor_osnovnyh_napravleniy_celei_Ver.2.pdf (дата обращения: 15.04.2016).

² Концепция демографической политики Санкт-Петербурга: официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга, URL: <http://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/trud/demogr> (дата обращения: 15.04.2016).

Таким образом, в Санкт-Петербурге обостряется проблема распределения ограниченных ресурсов на различные сферы развития городской инфраструктуры в условиях изменения демографической ситуации. Рассмотрим частную задачу, относящуюся к данной проблеме, задачу распределения ресурсов в сфере образования с целью обеспечения стратегического приоритета — «развитие человеческого капитала». Для ее решения необходимо определить требуемые затраты на создание новых образовательных учреждений в условиях ограниченных ресурсов.

Сформулируем данную задачу как задачу оптимизации. Предположим, что при расчете значений показателей в сфере образования на период до 2030 г. демографическая модель известна и по ней можно определить абсолютный прирост населения города (групп населения) к каждой временной вехе, например к 2020, 2025 и 2030 гг. Пусть известны значения абсолютного прироста населения ΔN на эти годы (см. рис. 1).

С учетом требуемых значений базовых показателей развития города необходимо решить задачу распределения ограниченных ресурсов между различными элементами инфраструктуры, реализующими компоненты стратегии в сфере образования. Аналогично можно рассматривать задачи и в других сферах, например, в сфере здравоохранения, в социальной сфере, в сфере культуры и др.

Такая задача является задачей прогнозирования [3]. Особенность ее решения связана с наличием динамики анализируемых целевых показателей. Поэтому задачу распределения ресурсов следует рассматривать как динамическую задачу. Возможны два варианта ее решения, многошаговое решение задачи методами динамического программирования или статическое решение задачи, например, методами линейного программирования для каждого сечения, например, для 2020, 2025, 2030 гг. Рассмотрим второй вариант решения задачи в предположении, что на каждом сечении результаты решения независимы. В этом случае задача становится сепарабельной и декомпозируется на несколько задач, например, связанных с временными вехами, контрольными этапами выполнения Стратегии экономического и социального развития Санкт-Петербурга.

Задачу распределения можно представить как классическую задачу условной оптимизации при ограничении на выделенные ресурсы. Рассмотрим один из вариантов математической постановки такой задачи, связанной с максимизацией функции полезности. Под полезностью в данной задаче будем понимать эффект от создания новых элементов инфраструктуры города в сфере образования в допущении, что полезность является аддитивной функцией числа объектов инфраструктуры города. Тогда функция полезности вычисляется взвешенным суммированием числа вновь вводимых элементов инфраструктуры. Целевая функция для решения такой задачи будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n w_i x_i &\rightarrow \max_i; \\ \sum_{i=1}^n w_i &= 1; \\ w_i &> 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где x_i — количество вновь создаваемых элементов инфраструктуры i -го типа; n — число типов элементов; w_i — вес элемента инфраструктуры i -го типа.

В качестве веса элемента инфраструктуры могут выступать величины, обратно пропорциональные требуемым затратам, величины, определяемые нормативами, величины, определяемые распределением населения города по возрастам, и др.

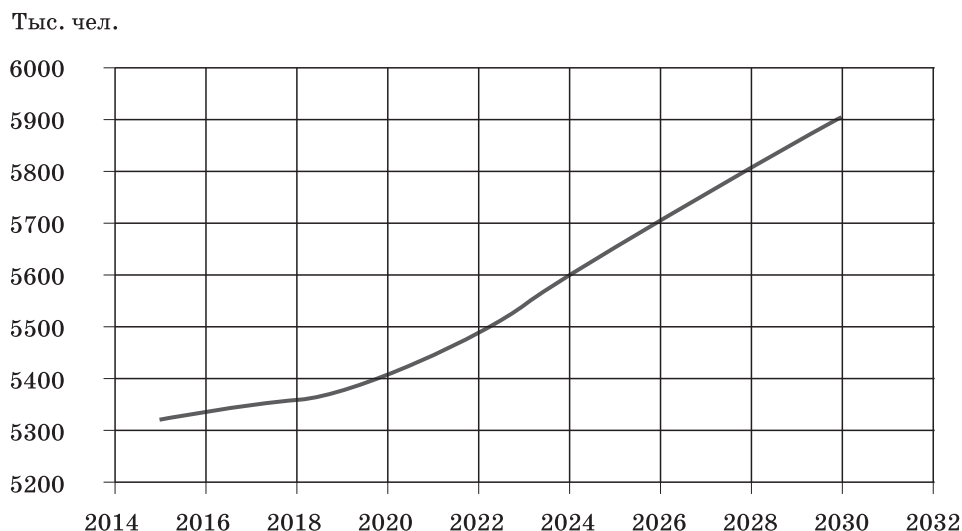


Рис. 1. Динамика роста численности населения в Санкт-Петербурге

Задача определения весов требует самостоятельного исследования. Один из возможных путей ее решения рассмотрен ниже. При одинаковых значениях весов задача оптимизации вырождается в задачу равномерного распределения.

Ограничения задачи могут иметь вид равенств или неравенств, например:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n p_i x_i &= B; \\
 \forall i \ x_i &\geq x_{i_{\min}}; \\
 a_i x_i \Delta N &\geq b_i; \\
 x_i &\text{ — целое,}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где p_i — стоимость создания одного элемента инфраструктуры i -го типа; B — объем инвестиций. В ограничении предполагается, что все инвестиции реализуются на создание элементов инфраструктуры. Данное ограничение может быть ослаблено и быть нестрогим, так как при создании плана распределения ресурсов следует учесть возможную корректуру их объема. В этом случае ограничение будет иметь вид неравенства. При распределении инвестиций на несколько лет данный объем следует скорректировать с учетом инфляции; $x_{i_{\min}}$ — минимальное значение элемента инфраструктуры i -го типа; a_i — показатель, характеризующий возможности элемента инфраструктуры. Для сферы образования такими показателями могут быть среднее число мест в дошкольном образовательном учреждении, в общеобразовательном учреждении и др. Использование только средних значений показателей без учета рассеивания ухудшает качество решения задачи, однако упрощает ее постановку. Такое ограничение допустимо, так как задача распределения решается в условиях большой неопределенности; b_i — контрольное значение показателя, определяющее уровень текущей обеспеченности (развития) элемента инфраструктуры i -го типа. Ограничения, содержащие данные значения, исходят из того, что при любых ситуациях, связанных с инвестициями в реализацию Стратегии, значения показателей территориального развития города не ухудшались, несмотря на воз-

никающие новые нагрузки, например, рост населения города. Социальная ситуация в городе не должна ухудшаться. Ограничение, в которое входит этот показатель, зависит от емкости инфраструктурного элемента, его предназначения, а также реальных значений показателей за анализируемый период. Показатель приводится к расчету на одного, тысячу, десять тысяч человек населения (следовательно, абсолютный прирост населения ΔN также должен быть приведен к этому диапазону). Так, если в качестве контрольного значения показателя используется посещаемость детских дошкольных учреждений, то для текущей ситуации контрольное значение показателя рассчитывается из фактической численности детей, посещавших детские дошкольные учреждения. За 2014 г. она составила 230 871 детей. С учетом численности населения Санкт-Петербурга, равной 5191,7 тыс. жителей, при расчете значения показателя, приведенного к тысяче жителей, получим значение, равное 44,5.

Такая постановка задачи относится к классу задач целочисленного линейного программирования. Существуют алгоритмы и средства ее решения, которые могут быть использованы для решения данной задачи. В дальнейшем при проверке работоспособности и адекватности модели использовалась надстройка «Поиск решения» офисного приложения Excel.

Предложенная математическая постановка задачи позволяет получить вариант распределения инвестиций для обеспечения требуемых значений показателей. С учетом необходимости решения задач устойчивости можно задать интервальную оценку значений показателей, определить критические значения показателей, реализовав, таким образом, принятый в последние годы механизм контроля и мониторинга основных процессов. Наличие средств автоматизации обоснования плана позволяет решать задачи оперативного планирования и корректуры значений базовых показателей с учетом складывающейся ситуации в городе, изменения положений выполняемой Стратегии, изменения объема инвестиций и др.

Рассмотрим частный случай решения задачи для прогнозирования распределения затрат на период до 2020 г. Пусть необходимо распределить инвестиции на образовательные учреждения. Рассмотрим образовательные учреждения четырех типов: дошкольные, общеобразовательные, учреждения профессионального и учреждения дополнительного образования. В табл. 1 приведены исходные данные для решения задачи оптимизации. Веса переменных заданы с учетом реальных потребностей по результатам исследования проектных и реальных значений.

В табл. 1 приведен показатель числа посещений на 1000 чел. населения (текущая обеспеченность на 1000 чел. населения). Данный показатель вычислен с помощью соотношения count_i/N , где count_i — число посещений образовательного учреждения i -го типа в текущем году.

Следует отметить, что проектная численность числа посещений образовательных учреждений в ряде случаев не совпадает с фактическими данными. Так, например, фактическая численность детей, посещающих дошкольные образовательные учреждения в 2014 г., выше проектной более чем на 12 000 чел., а фактическая численность детей, посещавших школы в этом же году, наоборот, меньше проектной почти на 24 000. Поэтому при решении задачи распределения инвестиций, во-первых, следует различать проектные и фактические значения, а во-вторых, некоторые ограничения могут быть отрицательными. Исходя из данного обстоятельства, в состав системы ограничений следует дополнительно внести ограничение на неотрицательность переменных $\forall x_i (x_i \geq 0)$.

Зададим ограничения таким образом, чтобы не ухудшить текущую обеспеченность населения образовательными учреждениями. В этом случае ограничения будут иметь вид: $x_i \geq \Delta N(\text{count}_i/N)$, где ΔN — прирост населения к анализируемому году. С учетом заданных в табл. 1 исходных данных задача оптимизации

Исходные данные для решения задачи оптимизации

Тип образовательного учреждения	Число образовательных учреждений	Текущая обеспеченность на 1000 чел. населения	Вес w_i — элемента инфраструктуры i -го типа
Детские дошкольные учреждения	1065	44,5	0,4
Общеобразовательные учреждения	694	78,1	0,3
Учреждения дополнительного профессионального образования	58	40,1	0,1
Учреждения проф. образования	48	6,2	0,2

принимает вид:

$$\begin{aligned}
 &0,4x_1 + 0,3x_2 + 0,1x_3 + 0,2x_4 \rightarrow \max_i; \\
 &\sum_{i=1}^4 p_i x_i \leq B; \\
 &x_1 \geq 128; \\
 &x_2 \geq 0; \\
 &x_3 \geq 2; \\
 &x_4 \geq 2; \\
 &\forall i \ x_i - \text{целое}.
 \end{aligned} \tag{3}$$

При заданных значениях стоимостных показателей и объеме инвестиций за период до 2020 г. в ценах текущего года более 13,5 млрд руб., задача оптимизации имеет решение. Если объем инвестиций будет меньше, то область допустимых решений становится пустой. Задача не будет иметь решения. В результате решения задачи распределения ресурсов получен оптимальный вектор числа образовательных учреждений, которые следует построить к 2020 г.: $X = (129 \ 0 \ 2 \ 2)$. На рис. 2 приведен сценарий вариантов решения задачи при увеличении ресурсов, а также при изменении весов переменных.

Данный сценарий показывает, что в основном распределение инвестиций должно быть направлено на строительство дошкольных образовательных учреждений. Отметим, что результаты моделирования совпадают с основными положениями Стратегии, согласно которой для успешного развития сферы общего образования Санкт-Петербурга необходима реализация комплекса мер по двум направлениям, к первому направлению относится обеспечение 100% потребности населения в местах в учреждениях дошкольного образования¹.

Структура решения задачи устойчива и не меняется при увеличении объема инвестиций, если существенно не изменять веса, определяющие важность строительства образовательных учреждений. Последний рассмотренный сценарий (последний

¹ Стратегия социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года: Выбор основных направлений и целей социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: http://www.ec-group.ru/upload/projects/Strategia_socialno-ekonomicheskogo_razvitiya_Sant-Peterburga_do_2030_goda._Vybor_osnovnyh_napravleniy_celei.Ver.2.pdf (дата обращения: 15.04.2016).

Структура сценария					
Текущие значения: Минимальные инвестиции					
Инвестиции 20000: Минимальные инвестиции. Веса 0,2; 0,4; 0,2; 0,2					
Инвестиции 20000: Веса 0,2; 0,6; 0,1; 0,1					
Изменяемые:					
\$A\$2	129	129	194	129	128
\$B\$2	0	0	0	0	33
\$C\$2	2	2	2	2	2
\$D\$2	2	2	2	2	2
Результат:					
\$F\$24	26,2	26,2	39,2	26,2	45,8

Примечания: столбец "Текущие значения" представляет значения изменяемых ячеек в момент создания Итогового отчета по Сценарию. Изменяемые ячейки для каждого сценария выделены серым цветом.

Рис. 2. Сценарий с результатами решения задачи оптимизации

столбец таблицы, приведенной на рис. 2) предполагает, что инвестиции не являются минимальными для решения задачи (объем инвестиций равен 20 млрд руб.), а вес общеобразовательных учреждений существенно больше, чем вес других образовательных учреждений (вектор весов имеет вид: $w = (0,2 \ 0,60 \ 0,1 \ 0,1)$). Для такого варианта исходных данных оптимальное решение предполагает обеспечение минимально необходимого числа дошкольных образовательных учреждений (128) и строительство 33 общеобразовательных школ.

Приведенный пример показывает, что значение веса элементов инфраструктуры влияет на вариант возможного решения. Для определения веса при этом следует учитывать иерархический характер целей и ключевых показателей. Задача обоснования решения по распределению ресурсов становится иерархической. Для ее решения могут быть использованы методы системного анализа, в частности метод анализа иерархий Т. Саати, основанный на синтезе иерархии целей, участников, показателей и затем исследовании полученной структуры [5]. Первые два уровня такой иерархии для решения задачи исследования приоритета «развитие человеческого капитала» приведены на рис. 3.

Анализ такой иерархии основан на композиции эмпирических и аналитических методов исследования, формировании системы локальных и глобальных приоритетов, которые можно рассматривать как веса элементов инфраструктуры территории. При определении локальных приоритетов может быть использован язык бинарных отношений, основанный на процедуре попарных сравнений, выполняемых экспертами, что позволяет построить матрицы попарных сравнений.

Попарные сравнения производятся в терминах доминирования одного элемента над другим по отношению к вышестоящей — родительской вершине иерархии с использованием субъективных суждений «равная важность», «несущественное доминирование», «существенное доминирование» и др., которые выражаются численно по специальной шкале относительной важности Т. Саати. Использование такой лингвистической шкалы, а также эмпирического метода оценки определяют необходимость выполнения проверки и обеспечения согласованности полученных матриц.

Значения локальных приоритетов вычисляются с помощью нормализации среднего геометрического по строкам полученных матриц попарных сравнений [5]. После нахождения векторов локальных приоритетов последовательно, начиная с нижнего уровня иерархии, для каждой ветви дерева осуществляется свертка, которая приводит к формированию вектора весов отдельных элементов инфраструктуры, $w = (w_1, \dots, w_n)$, где n — число вершин нижнего уровня иерархии. За-

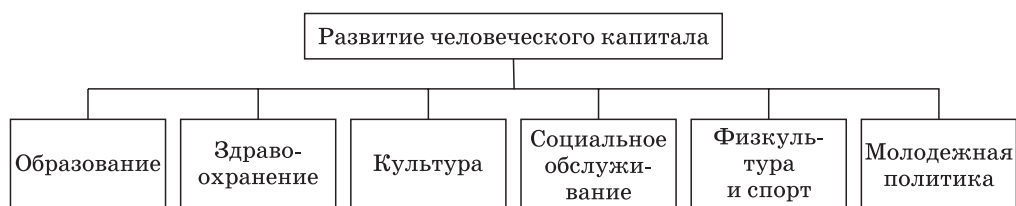


Рис. 3. Иерархия целей приоритета «развитие человеческого капитала»

дача оптимизации принимает вид:

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} w_i x_i &\rightarrow \max_i; \\
 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} w_i &= 1; \\
 \sum_{j=1}^k n_j &= n; \\
 w_i &> 0,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где $k = 6$ определяет число сфер в приоритете «развитие человеческого капитала» (см. рис. 3); $n = 30$ — общее число переменных (элементов инфраструктуры) в задаче оптимизации.

С учетом того, что в методе анализа иерархий использована аддитивная свертка приоритетов в предположении об их попарной линейной независимости, ограничения могут быть представлены в виде:

$$\sum_{i=1}^n p_i x_i = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} p_i x_i \leq B.
 \tag{5}$$

Следовательно, $\sum_{i=1}^{n_j} p_i x_i \leq B_j$; $\sum_{j=1}^k B_j \leq B$; $B_j \leq v_j B$; $v_j \in (0,1)$, где v_j — доля затрат в j -сферу. Данное ограничение определяет возможность задания отдельных инвестиций в различные рассматриваемые сферы, выделения фиксированных значений.

С целью проверки адекватности разработанной математической модели и для упрощения задачи предположим, что рассматривается распределение затрат только в двух сферах: сфере образования и сфере здравоохранения, а также то, что задача решается только для одного года. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 1 и табл. 2.

В данной таблице приведен показатель числа посещений учреждений здравоохранения на 1000 чел. населения. Для задания ограничений задачи оптимизации следует вычислить выражения $\text{count}_i / (N \mid_n)$, где n_i — текущее значение числа учреждений здравоохранения i -го типа. Тогда получим: $x_i \geq \Delta N(\text{count}_i / (N \mid_n))$, где ΔN прирост населения к анализируемому году.

В табл. 3 и табл. 4 приведены матрицы попарных сравнений отдельных элементов инфраструктуры для сфер образования и здравоохранения.

В последних столбцах матриц приведены полученные оценки векторов локальных

Таблица 2

Исходные данные для сферы здравоохранения

Тип объекта здравоохранения	Число объектов здравоохранения	Текущая обеспеченность на 1000 чел. населения
Амбулаторно-поликлинические учреждения (АПУЗ)	130	547,5
Учреждения здравоохранения стационарного типа (УЗСТ)	62	11,3
Диспансеры (ДСП)	45	802,9
Родильные дома (РД)	19	8,0
Санатории и пансионаты с лечением для взрослых (СПЛВ)	1	13,1
Детские оздоровительные учреждения здравоохранения (ДОУЗ)	1	0,6
Детские санатории (ДС)	12	2,2
Автомобили скорой медицинской помощи (СПМ)	686	113,3

приоритетов V_1 , V_2 . Вектор весов вычисляется умножением элементов этих векторов на локальные приоритеты сферы образования и здравоохранения. Такие приоритеты также могут быть оценены с помощью матриц попарных сравнений. При допущении, что данный вектор для примера двух сфер имеет вид (0,33 0,67), в табл. 5 приведены значения весов элементов анализируемой инфраструктуры для рассматриваемого фрагмента.

С учетом рассмотренного фрагмента, а также с учетом существующей инфраструктуры города и динамики роста населения для 2020 г. математическая постановка задачи будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=1}^{12} w_i x_i \rightarrow \max; \\
 & \sum_{i=1}^{12} w_i = 1; \\
 & w_i > 0; \\
 & \sum_{i=1}^{12} p_i x_i \leq B; \\
 & x_1 \geq 128; x_2 \geq 0; x_3 \geq 2; x_4 \geq 2; \\
 & x_5 \geq 4; x_6 \geq 2; x_7 \geq 1; x_8 \geq 1; x_9 \geq 0; x_{10} \geq 0; x_{11} \geq 0; x_{12} \geq 20; \\
 & x_i \text{ целое.}
 \end{aligned} \tag{6}$$

При заданных значениях стоимостных показателей и объеме инвестиций в ценах текущего года более 14,5 млрд руб., задача оптимизации имеет решение. Вектор решения приведен в табл. 5. При этом в силу того, что в качестве одного из показателей выбран показатель числа машин скорой помощи x_{12} , с затратами на одну машину, значительно меньшими, чем затраты на различные учреждения об-

Таблица 3

Матрица попарных сравнений для сферы образования

Образование	Дошкольное	Общее	Проф.	Дополн.	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты, V_1
Дошкольное	1,00	2,00	3,00	5,00	2,34	0,48
Общее	0,50	1,00	2,00	3,00	1,32	0,27
Проф.	0,33	0,50	1,00	2,00	0,76	0,16
Дополн.	0,20	0,33	0,50	1,00	0,43	0,09

Таблица 4

Матрица попарных сравнений для сферы здравоохранения

Здравоохранение	АПУЗ	УЗСТ	ДСП	РД	СПЛВ	ДОУЗ	ДС	СМП	Среднее геометрическое	Локальные приоритеты, V_2
АПУЗ	1,00	2,00	3,00	3,00	5,00	3,00	5,00	7,00	3,14	0,30
УЗСТ	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	2,00	3,00	5,00	1,91	0,18
ДСП	0,33	0,50	1,00	1,00	3,00	1,00	2,00	5,00	1,22	0,12
РД	0,33	2,00	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	7,00	1,60	0,15
СПЛВ	0,20	0,33	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	5,00	0,58	0,05
ДОУЗ	0,33	0,50	1,00	1,00	3,00	1,00	3,00	5,00	1,29	0,12
ДС	0,20	0,33	0,50	0,33	1,00	0,33	1,00	5,00	0,61	0,06
СМП	0,14	0,20	0,20	0,14	0,20	0,20	0,20	1,00	0,22	0,02

разования и здравоохранения, то получено значение переменной $x_{12} = 450$. Следовательно, при решении задачи оптимизации целесообразно задавать диапазон возможных значений, а не только минимально требуемое значение.

Если объем инвестиций будет меньше чем 14,5 млрд руб., то область допустимых решений становится пустой. Задача не будет иметь решения. В этом случае целесообразно предусмотреть механизм управления ограничениями на ключевые показатели эффективности. В качестве такого механизма можно использовать «светофор», предполагающий задание минимального $x_{\min i}$ и максимального значения $x_{\max i}$, а также нижнего допустимого $\Delta x_{\min i}$ и верхнего допустимого $\Delta x_{\max i}$ отклонений. Тогда ограничение на переменную будет иметь вид двойного неравенства:

$$x_{\min i} + \Delta x_{\min i} \leq x_j \leq x_{\max i} - \Delta x_{\max i}.$$

В случае нехватки ресурсов для изменения ограничений на переменную можно ранжировать элементы инфраструктуры по возможности сокращения выделяемых средств. При этом следует учитывать глобальный приоритет переменной (см. метод анализа иерархий) или ее вес w_i а также расходы, требуемые для создания соответствующего инфраструктурного элемента. Поэтому ранг переменных x_i можно определить по значениям w_i/p_i . В табл. 3 приведены ранги переменных, определенные по значению данного показателя. Чем меньше значение ранга, тем более

Таблица 5

**Исходные данные и результаты решения задачи оптимизации
для сфер образования и здравоохранения**

<i>i</i>	Число объектов сферы образования и здравоохранения	Вес элементов инфраструктуры	Оптимальное решение	Ранг
1	Детские дошкольные учреждения	0,16	128	10
2	Общеобразовательные учреждения	0,09	0	8
3	Учреждения дополнительного профессионального образования	0,05	2	3
4	Учреждения проф. образования	0,03	2	4
5	Амбулаторно-поликлинические учреждения	0,20	4	11
6	Учреждения здравоохранения стационарного типа	0,12	2	6
7	Диспансеры	0,08	1	9
8	Родильные дома	0,10	1	7
9	Санатории и пансионаты с лечением для взрослых	0,04	0	1
10	Детские оздоровительные учреждения здравоохранения	0,08	0	5
11	Детские санатории	0,04	0	2
12	Автомобили скорой медицинской помощи	0,01	450	12

вероятно уменьшение минимально допустимого значения соответствующей переменной.

Примеры решения задачи распределения инвестиций показывают, что при формировании Генерального плана развития Санкт-Петербурга в рамках реализации Стратегии необходимо использовать количественные методы его обоснования, в том числе и математические методы оптимизации. Результаты решения таких задач чувствительны к исходным данным, в том числе и к демографической ситуации в городе.

Таким образом, деятельность специалиста по формированию плана становится информационно-аналитической, на основе использования специальных инструментальных средств. На рис. 4 приведен пример графического окна, разработанного авторами, в котором приведены результаты решения задачи распределения ресурсов в сферу образования. В данном окне в графической форме отображаются диаграммы значений отдельных показателей, используемых при решении задачи планирования.

Отметим, что для реализации задач информационно-аналитической деятельности в настоящее время существуют специальные средства бизнес-аналитики [4]. Данные средства позволяют использовать методы многомерной математической статистики, анализа данных, методы интеллектуальной обработки, работать с большими данными, использовать хранилища данных и др. Эффект их использования достигается за счет ускорения подготовки отчетов, улучшения качества принимаемых решений, повышения удовлетворенности клиентов и др.

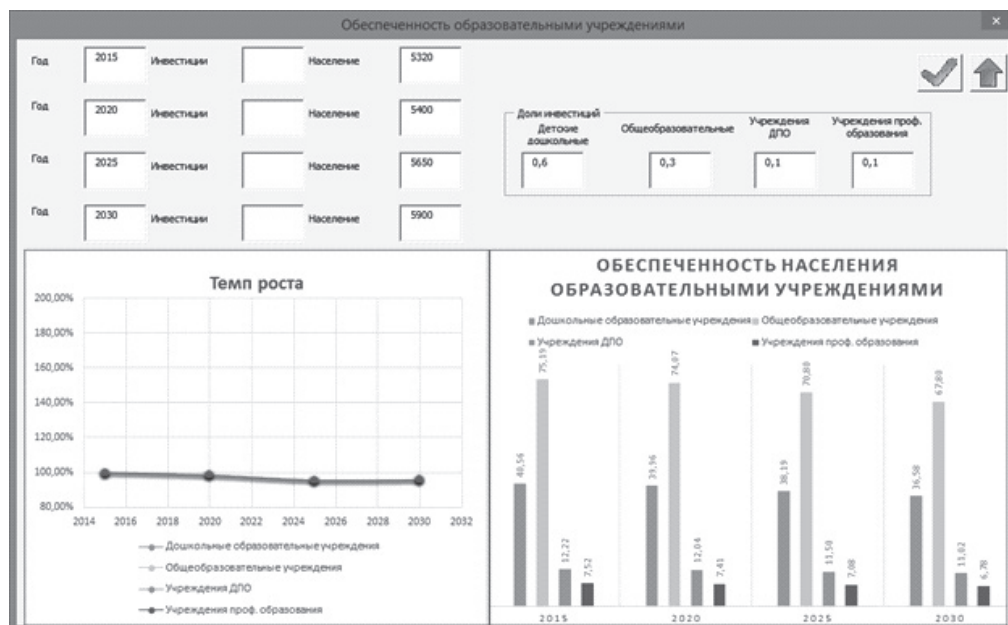


Рис. 4. Графическое окно с результатами решения задачи планирования

Литература

1. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей. М. : Олимп-бизнес, 2006.
2. Квинт В. Л. Стратегическое управление и экономика на глобальном формирующемся рынке. М. : Издательский дом «Бюджет», 2012.
3. Курзев В. А., Клебанова Т. С., Наумов В. Н., Гурьянова Л. С. Методы и модели прогнозирования социально-экономических процессов. СПб. : Изд. СЗИУ РАНХиГС, 2012.
4. Наумов В. Н. Средства бизнес-аналитики. СПб. : Изд. СЗИУ РАНХиГС, 2016.
5. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. М. : Изд. ЛКИ, 2008.

References

1. Kaplan R., Norton D. *Linking the Balanced Scorecard to Strategy* [Sbalansirovannaya sistema pokazatelei]. M. : Olympus-business, 2006. (rus)
2. Kvint V. L. *Strategic management and economy on a global emerging market* [Strategicheskoe upravlenie i ekonomika na global'nom formiruyushchemsya rynke]. M. : Publishing house «Budjet», 2012. (rus)
3. Kurznev V. A., Klebanova T. S., Naumov V. N., Guryanova L. S. *Methods and models of forecasting of social and economic processes* [Metody i modeli prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov]. SPb. : Publishing house of the NWIM of the RANEPa [Izd. SZIU RANKhiGS], 2012. (rus)
4. Naumov V. N. *Methods of the business-analythics* [Sredstva biznes-analitiki]. SPb. : Publishing house of the NWIM of the RANEPa [Izd. SZIU RANKhiGS], 2016. (rus)
5. Saati T. *Decision-making at dependences and feedback: Analytical networks* [Prinyatie reshenii pri zavisimostyakh i obratnykh svyazyakh: Analiticheskie seti]. M. : Publishing house of the LKI [Izd. LKI], 2008. (rus)