

В. А. Андреев

канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН

Е. А. Платонова

научный сотрудник Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОГО И СБАЛАНСИРОВАННОГО РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННЕГО И ЭКСПОРТНОГО СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ БОЛЬШОГО ГОРОДА

Введение

Работа посвящена разработке и исследованию модели определения эффективных вариантов развития экспортного и внутреннего секторов (Свэйлс, 2006) экономики большого города при условии, что обслуживающие комплексы предприятий внутреннего сектора могут использовать для развития только собственные ресурсы. Модель ориентирована на экономику Санкт-Петербурга.

Модель экспортной базы в традиционной постановке определяется соотношениями

$$Y = (X - M) + E,$$

$$X = xY, M = mY,$$

где Y — региональный доход, X — внутренние расходы, M — импорт, E — экспорт, x — средняя склонность к внутреннему потреблению, m — склонность к импорту.

Если экспорт задан экзогенно, то региональный доход определяется равенством $Y = xY - mY + E$, откуда $Y = E / (1 - x + m)$. Выражение $1 / (1 - x + m)$ определяет мультипликатор экспортной базы, показывающий влияние единичного изменения внешнего спроса на величину регионального дохода. Рост экономики региона определяется через рост экспортного сектора, генерирующего мультипликативные эффекты в результате изменений параметров его функционирования, которые могут быть вызваны внешними шоками (Белоусова, 2015).

В предлагаемой модели в качестве экспортного сектора рассматривается комплекс обрабатывающих предприятий (КОП), на долю которого в Санкт-Петербурге приходится около 90% товаров, реализуемых за пределами города (Санкт-Петербург в 2013 г. Официальное издание). В составе внутреннего сектора рассматриваются комплекс отведения и очистки сточных вод (КООСВ), комплекс водоснабжения (КВ), теплоэнергетический комплекс (ТЕК), теплоэлектроэнергетический комплекс (ТЭЭК) и инвестиционно-строительный комплекс (ИСК).

При моделировании город рассматривается как открытая система, состоящая из природной среды, товарных рынков, рынков услуг, конечных потребителей

товаров и услуг, комплексов предприятий внутреннего и экспортного секторов. Внешние рынки предполагаются конкурентными.

ТЭЭК рассматривается как система, состоящая из двух подсистем, одна из которых (ТЭЭКт) снабжает город теплом и горячей водой, а вторая (ТЭЭКэ) — электроэнергией. ИСК рассматривается как система, состоящая из подсистемы (ИСКж), занимающейся строительством зданий и сооружений социальной инфраструктуры и жилья, и подсистемы (ИСКп), занимающейся строительством производственных зданий и сооружений инженерной инфраструктуры.

Состояние экономики для каждого года инвестиционного периода оценивается величиной добавленной стоимости, получаемой каждым из рассматриваемых комплексов предприятий, и суммарной добавленной стоимостью. Добавленная стоимость включает в себя прибыль предприятий и заработную плату работников и является показателем средств, которые могут быть направлены на потребление.

Оптимизация осуществляется на состояниях, устойчивых по Вальрасу, и при ограничениях на сбросы загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты, обеспечивающих экологическую безопасность.

Определение динамики оптимального состояния рассматриваемой экономической системы осуществляется в два этапа. На первом этапе, в общем случае, для каждого года производственного периода находится состояние, определяемое точкой локального максимума суммарной добавленной стоимости. Затем найденное состояние улучшается до оптимального (эффективного) по Парето (Подиновский, Ногин, 1982). Подробное описание алгоритма и доказательство его сходимости можно найти в работе (Андреев, Боголюбов, 2015). Величина добавленной стоимости, достигаемая любым из рассматриваемых комплексов при оптимальном по Парето состоянии, может быть им увеличена только за счет уменьшения добавленной стоимости, получаемой остальными комплексами.

На основе значений показателей эффективных состояний экономики для каждого года рассматриваемого периода с помощью заданного алгоритма для каждого комплекса предприятий определяются объемы отчислений от прибыли в фонд развития и объемы инвестиций на ввод новых производственных мощностей.

Разработаны вычислительные алгоритмы и программное обеспечение для реализации предлагаемой модели. Подготовлены исходные данные и проведены экспериментальные расчеты динамики оптимального состояния экономики города для различных вариантов внешних инвестиций в развитие экспортного сектора. Проведен анализ зависимости объемов производства и добавленной стоимости внутреннего сектора экономики города от объемов производства экспортного сектора и динамики конечного спроса. Исследована зависимость суммарной добавленной стоимости экономики города на трехлетнем производственном периоде от внешних инвестиций в развитие экспортного сектора на состояниях, определяемых с помощью предлагаемой модели.

Постановка задачи и формулировка модели

Показатели, определяющие состояние рассматриваемой экономической системы, приведены в таблице (табл. 1).

Добавленная стоимость, получаемая на краткосрочном производственном периоде (год) производственными комплексами КООСВ, КВ, ТЭК, ТЭЭКт, ТЭЭКэ, ИСКп, ИСКж, КОП, определяется равенствами:

$$\pi_1 = x_1(P_1 - J_1) + (P_1 - J_1^*) \left(\sum_{i=1}^8 R_i x_i + u_1(P_1) - x_1 \right), \quad (1)$$

Таблица 1

Показатели состояния экономики города

Наименование показателей	Единица измерения	Обозначение
1. Тарифы		
КООСВ на водоотведение	руб. /куб. м	P_1
КВ на водоснабжение	руб./ куб. м	P_2
ТЭК на тепловую энергию	руб./Гкал	P_3
ТЭЭКт на тепловую энергию	руб./Гкал	P_4
ТЭЭКэ на электроэнергию	руб./кВт.ч.	P_5
2. Индексы цен внутреннего рынка		
на строительную продукцию ИСКж		P_6
на строительную продукцию ИСКп		P_7
на продукцию экспортного сектора		P_8
3. Объемы производственной деятельности		
Объем сточных вод, пропущенных через очистные сооружения	млн куб. м	x_1
Объем воды, поданной в водопроводные сети	млн куб. м	x_2
Объем тепловой энергии, произведенной ТЭК	млн Гкал	x_3
Объем тепловой энергии, произведенной ТЭЭКт	млн Гкал	x_4
Объем электроэнергии, произведенной ТЭЭКэ	млн кВт.ч.	x_5
Объем строительных работ, выполненных ИСКж	млн руб.	x_6
Объем строительных работ, выполненных ИСКп	млн руб.	x_7
Объем продукции, произведенной экспортным сектором экономики города	млн руб.	x_8
Объемы товаров, реализуемых за пределами города, экспортным сектором экономики города	млн руб.	\tilde{x}_8
Объем электроэнергии, полученной за пределами города	млн кВт.ч.	x^*
Объем загрязняющих веществ категории $i \in \{1, 2, \dots, l\}$, где l — количество категорий загрязняющих веществ, сбрасываемых в поверхностные водные объекты	т	y_i

$$\pi_i = P_i x_i (1 - k_{\text{пот}}^{(i)}) - x_i J_i, i \in \{2, 3, 4\}, \quad (2)$$

$$\pi_5 = P_5 (x_5 + x^*) (1 - k_{\text{пот}}^{(5)}) - x_5 J_5 - (x_5 + x^*) J_5^* - P_5^+ x^*, \quad (3)$$

$$\pi_i = x_i (P_i - J_i - P_i^*), i \in \{6, 7\}, \quad (4)$$

$$\pi_8 = x_8 (P_8 - J_8) + \tilde{x}_8 (P_8^- - P_8), \quad (5)$$

Где $J, i \in \{1, 2, \dots, 8\}$, — удельные материальные затраты комплекса i на продукцию (услуги); J_1^* — удельные затраты на сброс сточных вод в поверхностные водные объекты; R_{li} — объемы сбросов сточных вод комплексом i в канализацию при производстве единицы продукции; $u_1(P_1)$ — объемы непродуцируемых

(конечных) сбросов в канализацию; $k_{\text{пот}}^{(i)}$ — коэффициент потерь при реализации продукции комплекса i , $i \in \{1, 2, \dots, 8\}$; J_5^* — материальные затраты на передачу единицы электроэнергии потребителям; P_5^+ — тариф на электроэнергию на внешнем рынке; P_i^* , $i \in \{6, 7\}$, — удельные затраты на получение территорий, предназначенных для промышленного и социального строительства соответственно; P_8^- — индекс цен внешнего рынка на экспортируемые КОП товары с учетом транспортных расходов (рассчитывается через индекс цен на внешнем рынке и транспортные расходы на единицу экспортируемого товара).

Материальные затраты на производство единицы продукции для рассматриваемых комплексов предприятий внутреннего и экспортного секторов экономики определяются равенствами

$$J_{ij} = \sum_{j=1}^8 R_{ij} P + \sum_{j=9}^m R_{ji} P_j^+, \quad i \in \{1, \dots, 8\}, \quad (6)$$

$$J_5^* = \sum_{j=1}^8 R_{j5}^* P_j + \sum_{j=9}^m R_{j5}^* P_j^+, \quad (7)$$

где R_{ij} , $i \in \{1, 2, \dots, 8\}$ — расход продукции j при производстве единицы продукции комплексом i ; m — количество видов продукции, потребляемой рассматриваемыми комплексами предприятий при производстве единицы продукции; P_j^+ — индексы цен на импортируемые товары¹ с учетом транспортных расходов; R_{j5}^* — расход продукции j при передаче единицы электроэнергии потребителям.

Допустимые состояния экономики города должны удовлетворять следующим группам ограничений:

1) Ограничения на объемы сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты и на концентрации загрязняющих веществ в сточных водах:

$$\sum_{i=1}^8 R_{ii} x_i + u_i(P_i) - x_i \leq \Lambda, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^8 x_i R_{ij} (\lambda_{ij} - \bar{\lambda}_j) + (\lambda_j^* - \bar{\lambda}_j) u_j(P_j) \leq 0, \quad j \in \{1, \dots, J\}, \quad (9)$$

где Λ — максимально допустимый объем сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты (определяется через ассимиляционные потенциалы поверхностных водных объектов); λ_{ij} — концентрация загрязняющего вещества типа j в сбросах комплекса i ; λ_j^* — концентрация загрязняющего вещества типа j в производственных сбросах; $\bar{\lambda}_j$ — максимально допустимая концентрация загрязняющего вещества типа j в сточных водах, поступающих на очистные сооружения и сбрасываемых в поверхностные водные объекты; J — количество типов загрязняющих веществ.

2) Ограничения на объемы производства, на объемы импорта электроэнергии и на объемы экспорта продукции КОП со стороны спроса:

$$x_i (1 - k_{\text{пот}}^{(i)}) = \sum_{j=1}^8 R_{ij} x_j + R_{i5}^* (x_5^* + x_5) + u_i(P_i), \quad i \in \{2, 3, 4, 6, 7\},$$

$$(x_5 + x_5^*) (1 - k_{\text{пот}}^{(5)}) = \sum_{j=1}^8 R_{5j} x_j + u_5(P_5),$$

$$x_8 - \tilde{x}_8 \leq \sum_{j=1}^8 R_{8j} x_j + R_{85}^* (E_5 + x_5^*) + u_8(P_8),$$

где $u_8(P_8)$ — конечный спрос на продукцию комплекса обрабатывающих производств.

¹ Товар, производимый на внешнем рынке, импортируется, когда его цена на внутреннем рынке (если он производится экономикой города) становится выше цены на внешнем рынке с учетом транспортных расходов. Исключение составляет электроэнергия.

3) Ограничения на объемы производства со стороны мощности (пропускной способности):

$$x_i \leq M_i k_{use}^{(i)}, i \in \{1, \dots, 8\},$$

где M_i — мощности производственного комплекса i ; $k_{use}^{(i)}$ — коэффициент использования производственных мощностей.

4) Ограничения на объемы производства со стороны предложения трудовых ресурсов:

$$\sum_{i=1}^8 s_{ij} x_i / k_{pw}^{(i)} \leq S_j W, j \in \{1, \dots, \tilde{J}\},$$

где $k_{pw}^{(i)}$ — коэффициент фондовооруженности трудовых ресурсов активными основными фондами; $s_{ij}, j \in \{1, \dots, \tilde{J}\}$ — структура трудовых ресурсов комплекса i ; $S_j, j \in \{1, \dots, \tilde{J}\}$, — структура трудовых ресурсов на рынке труда J ; \tilde{J} — количество профессиональных групп трудовых ресурсов.

Инвестиционная политика определяется объемами ресурсов, которые должны быть направлены на создание новых производственных мощностей в течение каждого года рассматриваемого инвестиционного периода каждым из комплексов внутреннего и экспортного секторов экономики города. Объемы инвестиций определяются последовательно для каждого года инвестиционного периода с помощью описанного ниже алгоритма.

В случае отсутствия ограничений на инвестиционные ресурсы определение оптимальной инвестиционной политики сводится к решению для каждого года инвестиционного периода задачи определения оптимального по Парето состояния системы без ограничений на мощности комплексов внутреннего сектора экономики города. Объемы приращения основных фондов и соответствующие объемы инвестиций вычисляются через объемы производства, тарифы и индексы цен с помощью коэффициентов фондоотдачи, коэффициентов использования производственных мощностей и коэффициентов потерь при реализации продукции. Если имеющиеся производственные мощности обеспечивают получение оптимальных объемов производства, то инвестиции на увеличение объемов основных фондов не делаются.

При наличии ограничений на инвестиционные ресурсы объемы инвестиций для каждого года определяются в два этапа. На первом этапе определяются оптимальные объемы инвестиций в предположении, что ограничения на инвестиционные ресурсы отсутствуют. Если для какого-либо комплекса оптимальный объем инвестиций оказывается больше имеющихся в наличии ресурсов, то он ограничивается имеющимися ресурсами (ресурсы используются в полном объеме). В противном случае для развития основных фондов используются оптимальные объемы инвестиционных ресурсов (ресурсы используются частично). В случаях, когда объемы инвестиций корректируются, соответствующие изменения вносятся в значения объемов основных фондов, производственных мощностей и число занятых.

На втором этапе на основе найденных на конец года производственных мощностей определяется оптимальное состояние системы на начало следующего года.

Экспериментальная проверка модели

Рассматривается случай, когда экспортный сектор состоит только из комплекса обрабатывающих предприятий (КОП), а внутренний сектор из КООСВ, КВ, ТЭК, ТЭЭК. Относительно остальных предприятий предполагается, что их

продукция реализуется на внутреннем рынке и их промежуточное потребление рассматривается как конечное.

Решается задача определения эффективной инвестиционной политики развития экономики города за счет внешних инвестиций в развитие экспортного сектора.

В экспериментальных расчетах использовались статистические данные экономики Санкт-Петербурга за 2009–2011 гг., опубликованные Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Санкт-Петербургу и Ленинградской области, Администрацией Санкт-Петербурга, и отчеты соответствующих организаций, занимающимися регулируемыми видами деятельности в области водоснабжения, теплоснабжения, электроснабжения.

Снабжение Санкт-Петербурга теплом и электроэнергией осуществляет семь теплоэлектростанций (ТЭЦ) Невского филиала «ТГК-1», Северо-Западная ТЭЦ и три ведомственные ТЭЦ. Кроме того, теплом город снабжают около 1242 котельных. В 2010 г. суммарная тепловая мощность этих ТЭЦ и котельных составляла 24 428 Гкал в сутки, а суммарная электроэнергетическая мощность ТЭЦ равнялась 3834 МВт. Примерно 30% потребляемой электроэнергии поступало из-за пределов города (Генеральная схема теплоснабжения С.-Петербурга на период до 2015; Региональная программа С.-Петербурга в области энергоснабжения, 2011).

Снабжение города водой и водоотведение осуществляет «Водоканал Санкт-Петербурга». В 2010 г. среднесуточная подача питьевой воды составила около 2,5 млн куб. м. Через очистные сооружения было пропущено около 2,4 млн куб. м сточных вод при 3 млн куб. м, образующихся в городе за сутки (Генеральные схемы водоснабжения и водоотведения С.-Петербурга на период до 2015 года).

Значения основных показателей начального состояния рассматриваемой экономики приведены в таблице (табл. 2) (Санкт-Петербург в 2013 году). Структура рынка труда определяется двумя профессиональными группами. Объем рынка труда в модели принят равным 2606 тыс. человек. Численность первой профессиональной группы — 1048 тыс. человек, второй — 1559 тыс. человек. Средняя величина заработной платы для первой группы составляет 25 000 руб., для второй — 20 000 руб. Предполагается, что цена на газ равна 1,5 руб./м³ на всем рассматриваемом производственном периоде.

В расчетах использовались линейные зависимости спроса от цены. Границы изменений тарифов, индексов цен и спроса на продукцию рассматриваемых комплексов приведены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, спрос на услуги комплекса очистки сточных вод предполагается абсолютно неэластичным (очищать стоки приходится в полном объеме по любой возможной цене).

Характер функции спроса на услуги теплоснабжения (рост спроса при увеличении цены) соответствует имеющимся статистическим данным.

Для определения эффективной инвестиционной политики для каждого года рассматриваемого периода проведены расчеты устойчивого по Вальрасу и оптимального по Парето состояния экономики города при инвестировании в развитие экспортного сектора всех ресурсов, имеющихся в фонде развития. Расчеты выполнены для нескольких вариантов равномерных по годам вливаний в фонд развития экспортного сектора внешних финансовых ресурсов. На основе полученных результатов с помощью процедуры, описанной выше, получены оценки возможных избыточных инвестиций и произведена корректировка использованных в предыдущих расчетах объемов инвестиций. Для откорректированных объемов инвестиций проведены повторные расчеты устойчивых по Вальрасу

и оптимальных по Парето состояний экономики. Результаты этих расчетов приведены в табл. 4.

Таблица 2

Начальное состояние системы

Показатель		КООСВ	КВ	ТЭК	ТЭЭКт	ТЭЭКэ	КОП
Производственные мощности		900 млн м ³ /год	884 млн м ³ /год	104,8 млн Гкал/год	107,1 млн Гкал/год	6611 млн кВтч/год	994 090 млн руб./год
% использования		100	100	19,5	19	45	100
ОФ, млн руб.	активные	1531	1744	3286	2206	2528	81 575
	пассивные	38 721	44 095	3560	2390	2068	127 592
Основной производственный персонал, чел.		3430	3906	6664	3035	1647	349 800
Коэффициент потерь при реализации		0	0,233	0,106	0,034	0,124	0
Фонд развития, млн руб.		613	1604	661	557	226	100

Таблица 3

Показатели конечного спроса

Комплекс предприятий	Тариф (индекс цен)	Спрос	Тариф (индекс цен)	Спрос
КООСВ	17,11 руб./куб. м	720 млн куб. м/год	18,11 руб./куб. м	720 млн куб. м/год
КВ	14,77 руб./куб. м	300 млн куб. м/год	16,26 руб./куб. м	222,6 млн куб. м/год
ТЭК	600 руб./Гкал	17,73 млн Гкал/год	1000 руб./Гкал	18,445 млн Гкал/год
ТЭЭКт	600 руб./Гкал	20,3 млн Гкал/год	1000 руб./Гкал	20,4 млн Гкал/год
ТЭЭКтэ	1,77 руб./кВтч	15 405 млн кВтч/год	3 руб./кВтч	13 687 млн кВтч/год
КОП	0,8	400 000 млн руб./год	1,2	265 000 млн руб./год

Варианты инвестиций 33 257 и 96 926 млн руб., приведенные в столбце 7 табл. 4, являются избыточными, так как при этих инвестициях развитие экспортного сектора сдерживается производственными возможностями комплекса водоснабжения (см. кол. 8–11, табл. 4). Эти варианты исключаются из рассмотрения.

Анализ приведенных в табл. 4 данных показывает, что лучшим по критерию суммарной за рассматриваемый период добавленной стоимости, 2 185 829 млн руб., является вариант инвестиционной программы, приведенной в табл. 5. Устойчивость по Вальрасу определяемых этой программой состояний рассматриваемой экономики показана в табл. 7.

В табл. 7 показана динамика загруженности экономики города для эффективного варианта ее развития, определяемого инвестиционной программой, приведенной в табл. 5.

Таблица 4

Показатели устойчивых по Вальрасу и оптимальных по Парето состояний экономики города

Год	Внешние поступления в ФР ¹ экспортного сектора, млн руб.		Доступные ресурсы экспортного сектора в ФС, млн руб.		Отчисления от прибыли в ФР экспортного сектора, млн руб.	Расчетные инвестиции в развитие экспортного сектора, млн руб.			Экспортный сектор, млн руб. в год		Комплекс водоснабжения, млн м ³ в год		Добавленная стоимость, млн руб.	
	внешние	собствен.	внешние	собствен.		внешние	собствен.	суммарные инвестиции	мощность	объем производства	мощность	объем подачи воды	экс-портный сектор	вся экономика
1	0	100	0	100	35 858	0	100	994 565	994 565	922,8	751	540 821	606 905	
2	0	35 858	0	22 623	39 747	0	22 623	1 037 298	1 037 298	888,9	840	593 337	653 151	
3	0	52 987	0	52 982	43 022	0	52 982	1 219 675	1 219 675	854,4	784	670 401	733 282	
Итого													1 993 338	
1	10 000	10 000	10 000	100	37 403	10 000	100	1 042 093	1 042 093	922,8	763	564 983	631 542	
2	10 000	10 000	10 000	31 403	42 414	10 000	31 403	1 239 453	1 239 453	889,3	884	601 456	724 388	
3	10 000	10 000	10 000	42 414	43 022	0	38 711	1 404 090	1 404 090	858,5	850	764 803	829 899	
Итого													2 185 829	
1	20 000	20 000	20 000	100	41 535	20 000	100	1 089 621	1 089 621	922,8	810	615 010	675 117	
2	20 000	20 000	20 000	41 535	38 250	0	33 257	1 159 618	1 062 971	889,4	889,4	601 456	663 219	
3	20 000	40 000	40 000	46 528	35 316	0	0	1 101 637	1 098 392	856,5	856,5	710 575	630 873	
Итого													1 969 209	
1	30 000	30 000	30 000	100	43 084	30 000	100	1 137 149	1 137 149	922,8	822,0	639 209	699 798	
2	30 000	30 000	30 000	43 084	46 935	6526	43 084	1 277 571	1 277 571	889,8	886,0	710 575	775 462	
3	30 000	53 474	46 935	46 935	37 611	49 991	46 935	1 621 552	1 323 360	857,2	857,2	693 397	762 995	
Итого													2 238 255	

1 ФР — фонд развития.

Таблица 6

Балансы потребления и предложения товаров и услуг

Комплексы предприятий	Ед. измерения	Год	Объем производства	Конечное потребление	Промежуточное потребление	Экспорт	Импорт	Потери
КООСВ	млн куб. м	1	848	720	128,0	0	0	0
		2	879	720	159,3	0	0	0
		3	907	720	187,3	0	0	0
КВ	млн куб. м	1	763	213	371,9	0	0	177,7
		2	884	254	423,7	0	0	206,0
		3	850	197	454,8	0	0	198,1
ТЭК	млн Гкал	1	20	17	0,99	0	0	2,09
		2	19	16	1,18	0	0	2,02
		3	20	16	1,33	0	0	2,10
ТЭЭКт	млн Гкал	1	20	19	0,99	0	0	0,69
		2	25	23	1,18	0	0	0,84
		3	24	22	1,33	0	0	0,83
ТЭЭКэ	млн кВтч	1	3095	11956	4139,5	0	15279	2278,4
		2	4053	12399	4791,5	0	15571	2433,4
		3	4961	12874	5181,4	0	15651	2555,8
КОП	млн руб.	1	1042093	338125	78512,9	625455,4	0	0
		2	1239453	351050	93398,5	795004,9	0	0
		3	1404090	300910	105814,0	997366,1	0	0

Таблица 5

Инвестиционная программа развития экспортного сектора экономики города

Год	Объем инвестиций, млн руб.	
	внешние	собственные
1	10 000	100
2	10 000	37 403
3	0	38 711

Таблица 7

Загруженность комплексов предприятий внутреннего сектора

	Показатель	Комплексы предприятий внутреннего сектора				
		КООСВ	КВ	ТЭК	ТЭЭКт	ТЭЭ-Кэ + импорт э/э
	Ед. измерения	млн куб. м	млн куб. м	млн Гкал	млн Гкал	млн кВтч
1 год	Мощность	914,4	922,8	114,9	120,1	24 877,2
	Коэффициент использования мощности	1	1	0,195	0,19	0,45
	Потенциальный объем производства	914,4	922,8	22,4	22,8	21 094,7 ¹
	Фактический объем производства	848	763	20	20	18 374,0
2 год	Мощность	932,6	889,3	118,0	141,6	27 007,4
	Коэффициент использования мощности	1	1	0,195	0,19	0,45
	Потенциальный объем производства	932,6	889,3	23,0	26,9	22 053,3
	Фактический объем производства	879	884	19	25	19 624
3 год	Мощность	920,0	858,5	113,7	140,9	29 024,1
	Коэффициент использования мощности	1	1	0,195	0,19	0,45
	Потенциальный объем производства	920,0	858,5	22,2	26,8	22 960,8
	Фактический объем производства	907	850	20	24	20 612

Анализ табл. 7 показывает, что узким местом в развитии экспортного сектора является комплекс водоснабжения, неиспользованные мощности которого для второго года равны 5 млн кубометров в год.

Развитие экономики города зависит от динамики конечного спроса и от развития КОП, генерирующего мультипликативные эффекты, вызванные в эксперименте

¹ Потенциальный объем производства электроэнергии рассчитан как произведение мощности комплекса ТЭЭКэ на коэффициент использования мощности плюс максимально возможный объем импорта электроэнергии.

внешними инвестициями. В табл. 8 показаны зависимости: 1) объемов производства внутреннего сектора от объемов производства КОП; 2) объемов промежуточного потребления продукции внутреннего сектора комплексом обрабатывающих производств от объемов производства КОП. Расчеты произведены для динамики состояний экономики, определяемой инвестиционной программой, приведенной в табл. 5.

Таблица 8

Динамика производственных показателей внутреннего сектора и КОП в базовых ценах, млн руб.

Показатель	Год		
	1	2	3
Объем производства КОП	1 042 093	1 239 453	1 404 090
Объем производства внутреннего сектора	55 239	61 578	63 362
Объем потребления КОП продукции внутреннего сектора	8929	10 621	12 028

Экспериментальная проверка предлагаемой модели показала, что разработанные авторами оптимизационные алгоритмы и программное обеспечение работают корректно и устойчиво. Вычисляемые с помощью модели значения экономических показателей являются непротиворечивыми и правильно определяют состояние экономики. Модель может быть использована при разработке инвестиционных программ сбалансированного развития экономики больших городов.

Источники

Андреев В. А., Боголюбов И. Н. Разработка вариантов устойчивого развития водоснабжения, теплоснабжения и электроснабжения большого города при заданных темпах развития экспортного сектора // Финансы и бизнес. 2015. № 3. С. 96–110.

Белоусова А. В. Экономический рост региона с учетом экспорта. [Электронный ресурс]. URL: <http://refdb.ru/look/2462693-pall.html>.

Генеральная схема теплоснабжения С.-Петербурга на период до 2015 года с перспективой до 2025 года. Официальный сайт Администрации С.-Петербурга. [Электронный ресурс]. URL: <http://gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ingen/strateg/teplosnab>.

Генеральные схемы водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга на период до 2015 года с учетом перспективы до 2025 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ingen/strateg/vodosnab>.

Подinovский В. В., Ногин В. Д. Парето оптимальные решения многокритериальных задач. М., 1982.

Региональная программа С.-Петербурга в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности (в ред. постановления Правительства СПб от 24.02.2011 № 232). [Электронный ресурс]. URL: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=SPB;n=108617;fld=134;ds_t=4294967295;from=101263-3

Санкт-Петербург в 2013 году. Официальное издание. [Электронный ресурс]. URL: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/petrostat/resources/b35f3d00466a2f3c8317ef843e8e3539/GOR.pdf

Свэйлс Д. К. Определение мультипликаторов экспортной базы региона в присутствии ресурсных ограничений: подход Норга // Пространственная экономика. 2006. № 1. С. 109–137.