

В. А. Андреев

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

И. Н. Боголюбов

канд. техн. наук, вед. научный сотрудник Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВАРИАНТОВ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ БОЛЬШОГО ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

Введение

В литературе проблеме устойчивого развития региональной экономики уделяется значительное внимание (Гурман, Кульбака, Рюмина, 1999), (Рюмина, Аникина, 2009), (Экологизация..., 2008).

В предлагаемой работе сформулирована оптимизационная модель определения вариантов состояния электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения и отраслевых комплексов предприятий большого города, обеспечивающих получение максимальной суммарной прибыли на краткосрочном производственном периоде (год) при заданных тарифах и ограничениях, задающих условия устойчивого функционирования экономики города. На примере Санкт-Петербурга продемонстрированы возможности использования модели для определения оптимальных вариантов развития производственных мощностей комплексов электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, обеспечивающих устойчивое развитие экономики города при заданных темпах развития отраслевых комплексов предприятий (ОКП).

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

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

При моделировании город рассматривается как открытая система, состоящая из населения, природной среды, отраслевых комплексов предприятий (ОКП), внешних конкурентных отраслевых рынков и промышленного кластера (Портер, 2005), обеспечивающего город электроэнергией, теплом, водой и оказывающем услуги по отведению и очистке ЗВД. В состав кластера входят комплекс отведения и очистки загрязненных вод (КООЗВ), комплекс водоснабжения (КВ), теплоэлектроэнергетический комплекс (ТЭЭК), состоящий из ТЭЦ, и теплоэнергетический комплекс (ТЭК), состоящий из котельных.

Образуемый КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК кластер расположен на территории города и действует в сфере городского хозяйства. Входящие в него комплексы предприятий связаны потоками товаров и услуг.

Каждый отраслевой комплекс предприятий делится на две группы. К первой группе относятся предприятия, не сбрасывающие загрязненных вод или сбрасывающие их в канализацию, если такие предприятия имеются. Ко второй относятся предприятия, сбрасывающие загрязненные воды в поверхностные водные объекты (ПВО). Предполагается, что КВ, ТЭК и ТЭЭК сбрасывают загрязненные воды в канализацию. Кроме того, в канализацию направляются бытовые сточные воды и поверхностный сток. КООЗВ может сбрасывать загрязненные воды в ПВО и канализацию. Объемы каждого из загрязняющих веществ (ЗВЩ), сбрасываемых со сточными водами в ПВО, не должны превышать величину ассимиляционного потенциала ПВО.

Рассматриваемые отраслевые комплексы предприятий расположены на территории города и могут реализовать свою продукцию на внутренних и внешних рынках. Группы предприятий, реализующих свою продукцию частично или полностью на внешних рынках, образуют экспортный сектор экономики города. Остальные группы предприятий, реализующих свою продукцию только на внутренних рынках, образуют внутренний сектор экономики города (Свэйлс, 2006). Потребности города в воде, отведении загрязненных вод и тепле обеспечиваются только КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК, и их продукция полностью реализуется на территории города. Потребности в электроэнергии могут обеспечиваться за счет внутренних и внешних источников.

Состояние экономики города определяется следующими группами показателей:

- показателями производственной деятельности групп предприятий, рассматриваемых в составе КООЗВ, КВ, ТЭК, ТЭЭК, ОКП;
- производственной мощностью, объемами трудовых ресурсов и основных фондов групп предприятий КООЗВ, КВ, ТЭК, ТЭЭК, ОКП;
- объемами электроэнергии, получаемой из-за пределов города, и объемами продукции, реализуемой группами предприятий ОКП на внешних рынках;
- индексами внутренних цен и тарифами на тепло, электроэнергию, воду и водоотведение;
- объемами промежуточного потребления питьевой воды, тепла, электроэнергии рассматриваемыми комплексами и группами предприятий;
- объемами сбросов загрязненных вод в канализацию и ПВО рассматриваемыми комплексами и группами предприятий.

Объемы воды, тепловой и электрической энергии измеряются в натуральных единицах. Объемы продукции отраслевых групп предприятий измеряются в денежном выражении.

При решении задачи максимизации суммарной прибыли, получаемой рассматриваемыми группами и комплексами предприятий, предполагается, что затраты на трудовые ресурсы и основные фонды на краткосрочном производственном периоде постоянны. Максимизация осуществляется по объемам электроэнер-

гии, получаемой из-за пределов города, объемам производства рассматриваемых комплексов и групп предприятий, объемам продукции, реализуемой на внешних рынках, и индексам внутренних цен при условиях:

- 1) объемы производства ограничены производственными мощностями рассматриваемых групп и комплексов предприятий;
- 2) заданы ограничения на объемы электроэнергии, получаемой из-за пределов города;
- 3) спрос и предложение на продукцию ОКП сбалансированы;
- 4) объемы сбросов загрязняющих веществ в ПВО не должны превышать величину ассимиляционного потенциала.

Задача определения оптимальных состояний рассматриваемой экономической системы сводится к максимизации неоднородных билинейных функций на множествах большой размерности, определяемых квадратичными и линейными ограничениями типа равенств и неравенств. В ряде случаев эти множества могут быть заданы линейными ограничениями. Для решения задач максимизации неоднородных билинейных функций на множествах, определяемых линейными ограничениями типа равенств и неравенств, авторами разработаны на основе методов линейного программирования, проекционных методов и метода возможных направлений Зойтендейка (Базара, Шетти, 1982) специальные вычислительные алгоритмы. При проведении вычислительных экспериментов эти алгоритмы показали скорость сходимости, приемлемую для решения рассматриваемых оптимизационных задач.

Формулировка модели

Введем следующие обозначения: n — число рассматриваемых комплексов предприятий, включая КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК; $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ — номера комплексов предприятий, расположенных на территории города. Номера 1, 2, 3, 4 присвоены КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК соответственно. Индексы 4 и $n + 1$ присвоены показателям ТЭЭК, связанным с производством электричества и тепла соответственно. $k \in \{1, 2\}$ — номера групп предприятий внутри комплекса. Предприятия КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК не делятся на группы; $t \in \{1, 2, \dots\}$ — номер года; x_{i1} , $i \in \{1, 2, 3, 4\}$ — объемы производства основной продукции КООЗВ, КВ, ТЭК и ТЭЭК соответственно; x_{ik} , \tilde{x}_{ik} , $i \in \{5, \dots, n\}$, $k \in \{1, 2\}$ — объемы производства и реализации продукции на внешних рынках отраслевыми группами предприятий; $x_{n+1,1}$ — объем тепловой энергии, произведенной ТЭЭК; x_{41}^* — объем электроэнергии, получаемой из-за пределов города.

Предполагается, что пропускные способности канализационных, водопроводных, тепловых и электрических сетей обеспечивают потребности города в транспортировке воды и энергии. Требования устойчивого развития к водоснабжению и водоотведению определяются ограничениями

$$h = y_1 + \tilde{y}_1 - x_{11} \geq 0, \tag{1}$$

$$x_{21} = y_2 + \tilde{y}_2, \tag{2}$$

$$\sum_{i=5}^n R_i x_{i1} \lambda_{iv} + h \lambda_v^* \leq \Lambda_v, \tag{3}$$

$$\lambda_v^*(y_1 + \tilde{y}_1) = \sum_{i=1}^n R_i x_{i1} \lambda_{iv} + \tilde{y}_1 \lambda_v, \tag{4}$$

h — объем ЗВД поступивших на очистные сооружения и сброшенных в ПВО без очистки; y_1 — промышленные сбросы ЗВД в канализацию; \tilde{y}_1 — непромышленные сбросы ЗВД в канализации; y_2 — промежуточное потребление воды промышленностью; \tilde{y}_2 — непромышленное потребление воды; R_i — объем сброса за-

грязненных вод на единицу продукции; λ_{iv} — концентрация ЗВЩ типа v в сбросах ЗВД; λ_v^* — концентрация ЗВЩ типа v в ЗВД, поступивших на очистные; λ_v — концентрация ЗВЩ типа v в непромышленных сбросах ЗВД; Λ_v — допустимый объем сбросов ЗВЩ типа v в ПВО (ассимиляционный потенциал). Значения переменных y_1, y_2 в (1), (2), (4) определяются через объемы производства рассматриваемых комплексов предприятий, удельное потребление воды и удельные сбросы ЗВД на единицу продукции.

ТЭК и ТЭЭК обеспечивают потребности города в тепле. При этом оптимальные режимы работы ТЭЦ предусматривают одновременное производство тепловой и электрической энергии. Для повышения эффективности эксплуатации ТЭЦ в периоды низкого спроса на электроэнергию ее избытки продаются на внешних рынках. В периоды высокого спроса дефицит электроэнергии покрывается за счет поставок из-за пределов города. Объемы электроэнергии, получаемой из-за пределов города, превышают объемы, реализуемые на внешних рынках, поэтому в модели предполагается, что производимая ТЭЭК электроэнергия полностью потребляется на внутреннем рынке. Таким образом, объемы производства тепловой и электрической энергии должны удовлетворять ограничениям:

$$x_{31} + x_{n+1,1} = y_3 + \tilde{y}_3, \quad (5)$$

$$x_{41} + x_{41}^* = y_4 + \tilde{y}_4, \quad (6)$$

где y_3 и y_4 — промежуточное потребление тепла и электроэнергии рассматриваемыми комплексами предприятий; \tilde{y}_3 и \tilde{y}_4 — конечное потребление тепла и электроэнергии в городе. Значения переменных y_3 и y_4 в (5), (6) определяются через объемы производства рассматриваемых комплексов предприятий и удельное потребление тепла и электроэнергии соответственно.

В рассматриваемом случае, когда внешние рынки являются конкурентными, естественно предположить, что ОКП уходят с внутренних рынков на внешние, если цена на их продукцию на внутренних рынках ниже цены на внешних рынках, уменьшенной на величину транспортных расходов. Когда внутренняя цена на продукцию ОКП превысит внешнюю, увеличенную на транспортные расходы, соответствующие товары с внешних рынков будут поступать на внутренние и стабилизируют внутреннюю цену на уровне внешней, увеличенной на транспортные расходы. Следовательно, отраслевые цены c_i на внутренних рынках и соответствующие им цены \tilde{c}_i на внешних рынках должны удовлетворять неравенствам $\tilde{c}_i - \Delta_i \leq c_i \leq \tilde{c}_i + \Delta_i$, где Δ_i — транспортные расходы на единицу продукции. Действительно, если эти соотношения в какой-то момент будут нарушены, то они будут восстановлены за счет притока товаров с внутренних рынков на внешние и наоборот.

Предполагается, что индексы цен на внутренних и внешних рынках измеряются относительно одного и того же базового года. Тогда из соотношений между внутренними и внешними ценами следует, что

$$\tilde{P}_i^- \triangleq \tilde{P}_i - \Delta\tilde{P}_i \leq P_i \leq \tilde{P}_i + \Delta\tilde{P}_i \triangleq \tilde{P}_i^+, \quad (7)$$

где P_i — индекс внутренних цен на продукцию отраслевого комплекса i ; $\tilde{P}_i = \tilde{c}_i/c'_i$, $\Delta\tilde{P}_i = \Delta_i/c'_i$, c'_i — базисные цены.

Предполагается, что продукция, произведенная рассматриваемыми ОКП, полностью реализуется на внутренних или внешних рынках и ее запасы равны нулю. В этом случае объемы производства рассматриваемых групп ОКП и объемы продаж продукции на внешних рынках должны удовлетворять ограничениям:

$$0 \leq x_{i1} + x_{i2} - y_i - \tilde{x}_{i1} - \tilde{x}_{i2} \leq f_i(P_i), i \in \{5, \dots, n\}, \quad (8)$$

$$\tilde{x}_{ik} \leq x_{ik}, i \in \{5, \dots, n\}, k \in \{1, 2\}, \quad (9)$$

где y_i — промежуточное потребление; $f_i(P_i)$ — внутренний конечный спрос.

Экономическая прибыль КООЗВ, КВ, ТЭК, ТЭЭК и рассматриваемых ОКП на краткосрочном производственном периоде определяется равенствами (Андреев, Боголюбов, 2010):

$$\pi_{i1} = x_{i1}(P_i - J_i) - Z_{i1}, i \in \{1, 2, 3\}, \quad (10)$$

$$\pi_{41} = x_{41}(P_4 - J_4) + x_{n+1,1}(P_3 - J_3) - Z_{41}, \quad (11)$$

$$\pi_{ik} = x_{ik}(P_i - J_i) + \tilde{x}_{ik}(\tilde{P}_i - P_i) - Z_{ik}, i \in \{5, \dots, n\}, k \in \{1, 2\}, \quad (12)$$

где $P_i, i \in \{1, 2, 3, 4\}$ — тарифы на водоотведение, воду, тепло и электроэнергию соответственно; J_i — материальные затраты на единицу продукции; Z_{ik} — постоянная составляющая затрат. Если рассматриваемые ОКП в состоянии удовлетворить промежуточный спрос на свою продукцию, равенства (10)–(12) справедливы и в случае, когда внутренние отраслевые рынки неконкурентные. Материальные затраты J_i в (10)–(12) определяются через индексы цен, тарифы и удельные объемы промежуточного потребления.

Задача определения оптимальных вариантов состояния рассматриваемой экономической системы на краткосрочном производственном периоде формулируется как задача максимизации суммарной прибыли

$$\pi = \sum_{i=1}^4 \pi_{i1} + \sum_{i=5}^n \sum_{k=1}^2 \pi_{ik} \quad (13)$$

на множестве допустимых состояний, задаваемых вектором

$$(P_1, \dots, P_n, x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{51}, x_{52}, \dots, x_{n1}, x_{n2}, \tilde{x}_{51}, \tilde{x}_{52}, \dots, \tilde{x}_{n1}, \tilde{x}_{n2}, x_{n+1,1}, x_{41}^*).$$

Множество допустимых состояний системы определяется ограничениями (1)–(10) и неравенствами:

$$\pi_{i1} \geq 0, i \in \{1, \dots, 4\}, \quad (14)$$

$$\pi_{ik} \geq 0, i \in \{5, \dots, n\}, k \in \{1, 2\}, \quad (15)$$

$$x_{ik} \leq \bar{x}_{ik}, \quad (16)$$

где $\bar{x}_{ik}, i \in \{1, \dots, n+1\}, k \in \{1, 2\}$ — мощности групп предприятий.

В случае отсутствия инфляции эта задача может решаться при фиксированных индексах цен $P_i, i \in \{5, \dots, n\}$.

Оптимальные объемы сбросов загрязненных вод в канализацию и ПВО и промежуточного потребления воды, тепла, электроэнергии определяются по формулам:

$$\eta_{ik}^{(j)} = R_{ji}x_{ik}, j \in \{1, 2, 3, 4\}, \quad (17)$$

$$\eta = h, \quad (18)$$

где $\eta_{ik}^{(1)}$ — объемы сбросов загрязненных вод в канализацию и ПВО соответственно номеру группы предприятий $k \in \{1, 2\}$; $\eta_{ik}^{(j)}, j \in \{2, 3, 4\}$ — объемы промежуточного потребления воды, тепла и электроэнергии соответственно номеру j ; η — объемы сбросов загрязненных вод в ПВО для КООЗВ.

Экспериментальные расчеты. Определение оптимальных вариантов развития ресурсно-энергетического кластера Санкт-Петербурга

Рассматривается сформулированная в предыдущем разделе модель без ограничений на пропускные способности КООЗВ, КВ и мощности ТЭК, ТЭЭК при заданных для каждого года долгосрочного производственного периода ограничениях на мощности рассматриваемых групп предприятий ОКП. С помощью этой модели для каждого года долгосрочного периода решается задача максимизации суммарной прибыли. Полученные решения определяют динамику состояния экономики города на долгосрочном периоде и в том числе объемы производства электроэнергии, тепла, подачи воды и водоотведения, которые одновременно являются оптимальными значениями мощности ТЭК, ТЭЭК и пропускных способностей КВ, ТЭЭК, обеспечивающих устойчивое развитие экономики города при заданном варианте развития ОКП.

Для экспериментальных расчетов использованы статистические данные, публикуемые Территориальным органом Федеральной службы государственной статистики по Санкт-Петербургу и Ленинградской области (Статистический сборник, 2010), Администрацией Санкт-Петербурга и организациями, занимающимися регулируемымими видами деятельности.

В экспериментах авторами рассматривался случай, когда ОКП представлены комплексом обрабатывающих предприятий (КОП).

В табл. 1 приведены фактические значения производства и поставок электроэнергии из-за пределов города, производства продукции обрабатывающих предприятий, тепла, подачи питьевой воды и объемов загрязненных вод, пропущенных через очистные сооружения за 2009, 2010, 2011 гг., и их оптимальные значения. Оптимальные значения рассчитаны с помощью рассматриваемой модели. Фактические значения показателей приведены в скобках под их расчетными значениями. Анализ табл. 1 показывает, что фактические и расчетные значения приведенных в ней показателей отличаются незначительно. Это позволяет надеяться, что предлагаемая модель достаточно хорошо отражает действительность.

В табл. 2 приведены результаты расчетов оптимальных вариантов динамики поставок электроэнергии из-за пределов города, развития производственных мощностей теплоэнергетики и электроэнергетики, пропускных способностей

Таблица 1

Сравнение фактических значений производственных показателей ресурсно-энергетического кластера с их оптимальными значениями

Производственные показатели	Годы		
	2009	2010	2011
Объем загрязненных вод, пропущенных через очистные, млн куб. м	809,6 (838,7)	825,4 (823,93)	872,8 (838,32)
Объемы воды, пропущенной через очистные комплексом водоснабжения, млн куб. м	886,7 (876)	848,6 (872,9)	929,3 (821,5)
Объем тепловой энергии, поданной в тепловые сети, млн Гкал	46,39 (46,4)	50 (47,3)	51,48 (—)
Объем электроэнергии, сгенерированной ТЭЦ, расположенными на территории СПб, млн кВт·ч	15 249,9 (15 125)	14 994,8 (14 995)	14 996,3 (—)
Получено электроэнергии из-за пределов города, млн кВт·ч	6255 (6255)	8023 (8023)	10 391 (—)
Объемы производства обрабатывающих предприятий, млн руб.	994 090 (994 090)	1 222 391 (1 222 391)	1 827 154 (1 827 154)

КООЗВ и КВ для устойчивого развития рассматриваемой экономической системы в 2009—2011 гг. при ежегодном увеличении производственной мощности КОП на 12%. Анализ таблицы показывает, что увеличивать пропускные возможности КООЗВ и КВ для устойчивого развития не потребуется. Это связано с тем, что из-за роста тарифов снижается конечное потребление питьевой воды и уменьшаются объемы потребления питьевой воды и сбросов загрязненных вод на единицу продукции (см. табл. 2 и 3).

В табл. 4 приведены оценки объемов основных фондов для значений мощности, определяющих оптимальную динамику развития ресурсно-энергетическо-

Таблица 2

Оптимальный вариант развития ресурсно-энергетического кластера при ежегодном приросте мощности КОП на 12%

Производственные показатели	Годы		
	2009	2010	2011
Пропускные способности КООЗВ, млн куб. м в год	844	842	830
Пропускные способности КВ, млн куб. м в год	877	828	818
Суммарная тепловая мощность ТЭК и ТЭЭК, млн Гкал в год	46,39	49,82	50,37
Мощности электроэнергетики, млн кВт·ч в год	15 259	14 730	13 588
Получено электроэнергии из-за пределов города, млн кВт·ч в год	6225	8023	10 391
Производственные мощности обрабатывающих предприятий, млн руб.	994 090	1 113 380	1 246 986
Конечное потребление питьевой воды	485	398	362

Таблица 3

Потребление воды, тепла, электроэнергии и объемы водоотведения

	Потребление воды, тепла, электроэнергии и объемы сбросов загрязненных вод, млн куб. м, млн Гкал, млн кВт·ч, млн куб. м		
	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Комплекс отведения и очистки загрязненных вод	0	0	0
	0	0	0
	334	327	325
	0	0	0
Комплекс водоснабжения	9	8	8
	0	0	0
	399	372	368
	0	0	0
Теплоэнергетика	205	221	224
	0	0	0
	988	1058	1070
	0	0	0
Электроэнергетика	0	0	0
	0	0	0
	0	0	0
	315	353	395
Комплекс обрабатывающих предприятий	179	200	224
	2	2	2
	2355	2638	2954
	67	75	84

Таблица 4

Объемы активных основных фондов и трудовых ресурсов КООЗВ, КВ, теплоэнергетики и электроэнергетики

Производственные показатели	Годы		
	2009	2010	2011
Активные основные фонды КООЗВ, млн руб.	1532	1532	1533
Трудовые ресурсы КООЗВ, чел.	3431	3431	3433
Активные основные фонды КВ, млн руб.	1727,7	2090	2147,4
Трудовые ресурсы КВ, чел.	3999	4680	4808
Активные основные фонды теплоэнергетики, млн руб.	10 410	10 907	10 989
Трудовые ресурсы теплоэнергетики, чел.	3702	4007	4057
Активные основные фонды электроэнергетики, млн руб.	5923	5652	5079
Трудовые ресурсы электроэнергетики, чел.	1290	1231	1106

го кластера при ежегодном увеличении производственных мощностей КОП на 12%. Эти оценки получены через производственные мощности ТЭК, ТЭЭК и пропускные способностей очистных сооружений КООЗВ, КВ с помощью производственных функций и коэффициентов фондовооруженности труда. Анализ табл. 2 и 4 показывает, что пропускные способности очистных сооружений КООЗВ и КВ уменьшаются при одновременном увеличении объемов основных фондов и числа занятых. Это объясняется тем, что в период 2009—2011 гг. Водоканал Санкт-Петербурга направлял инвестиции на повышение качества очистки загрязненных вод и питьевой воды.

Экспериментальная проверка полученных результатов показала, что предлагаемая в данной работе оптимизационная модель может быть использована для решения прикладных задач устойчивого развития систем водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения, электроснабжения, а также использования водных и энергетических ресурсов большого города.

Источники

- Андреев В. А., Боголюбов И. Н., Кулеш В. П.* Оптимизационный подход к экономической оценке и промышленному использованию водных ресурсов региона на долгосрочном производственном периоде // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. 2010. Вып. 3. С. 115—125.
- Базара М., Шетти К.* Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М., 1982.
- Генеральная схема теплоснабжения Санкт-Петербурга на период до 2015 года с перспективой до 2025 года. Официальный сайт Администрации Санкт-Петербурга. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <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 г. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ingen/strateg/vodosnab>.
- Гурман В. И., Кульбака Н. Э., Рюмина Е. В.* Опыт социо-эколого-экономического моделирования региона // Экономика и математические методы. 1999. № 3.
- Баланс производства и потребления электроэнергии // Статистический сборник 2010 год. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://petrostat.gks.ru/public/DocLib2/Forms/view1.aspx>.
- Портер М.* Конкуренция. 2005. М., 2005.
- Рюмина Е. В., Аникина А. М.* Экологически скорректированная оценка экономического развития регионов // Проблемы прогнозирования. 2009. № 2.
- Региональная программа Санкт-Петербурга в области энергоснабжения и повышения энергетической эффективности (в ред. постановления Правительства Санкт-Петербурга от 24 февраля 2011 г. № 232). [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=SPB;n=108617;fld=134;dst=4294967295;from=101263-3>
- Свэйлс Д. К.* Определение мультипликаторов экспортной базы региона в присутствии ресурсных ограничений: подход Норта // Пространственная экономика. 2006. № 1. С. 109—137.
- Экологизация экономического развития. 2008. М., 2008.