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

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КРЕДИТНО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ БОЛЬШОГО ГОРОДА

Введение

Под устойчивым развитием нами понимается развитие в условиях поддержания на заданном уровне состояния окружающей среды, а именно при заданных ограничениях на концентрации и объемы сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты. Модель является дальнейшим развитием и обобщением разработанных и опубликованных моделей устойчивого развития экономики большого города (Андреев, Боголюбов, Кулеш, 2013; Андреев, Боголюбов, 2015; Андреев, Платонова, 2016). Модель ориентирована на экономику Санкт-Петербурга.

При разработке предлагаемой модели использовалась предложенная Д. Нортом (North, 1955) и обобщенная К. С. Свэйлсом (Свэйлс, 2006) модель региональной экспертной базы.

В модели город рассматривается как открытая для товаров и услуг система, состоящая из природной среды, рынков товаров, капиталов и труда, комплексов производственных предприятий и сферы услуг. Комплексы производственных предприятий рассматриваются как экономические системы, производящие продукцию. Внешние рынки предполагаются конкурентными[1]. Показатели, определяющие состояние сферы услуг и рынков труда рассматриваются как экзогенные.

Комплексы предприятий, продукция которых реализуется только на внутренних рынках, относятся к внутреннему сектору экономики города. Комплексы, продукция которых может реализоваться на внешних рынках, относятся к экспортному сектору.

В данном случае это комплекс обрабатывающих предприятий, который рассматривается как состоящий из двух подсистем. Одна из подсистем (КОП1) производит продукцию, предназначенную для конечного и промежуточного потребления, а другая (КОП2) занимается производством продукции, предназначенной для создания активных основных фондов предприятий (Касьянова, 2011).

К внутреннему сектору относятся комплекс отведения и очистки сточных вод (КООСВ), комплекс водоснабжения (КВ), теплоэнергетический комплекс (ТЭК), осуществляющий производство и распределение тепла и горячей воды,

[1] Конкурентный рынок — рынок, на котором много покупателей и продавцов, поэтому каждый из них оказывает незначительное воздействие на рыночную цену. Предполагается, что цена товаров на внешних рынках не меняется на производственном периоде, рассматриваемом в модели.

DOI 10.31085/1814-4802-2018-14-3-45-57
© В. А. Андреев, 2018

строительный комплекс (СК), осуществляющий строительство жилых домов, промышленных зданий и сооружений, и тепло-электроэнергетический комплекс (ТЭЭК), осуществляющий генерацию электроэнергии и производство тепловой энергии. В модели ТЭЭК рассматривается как система, состоящая из подсистемы осуществляющей генерацию и распределение электроэнергии (ТЭЭКэ), и подсистемы, производящей тепловую энергию (ТЭЭКт).

Состояние производственных комплексов описывается в каждом году системой следующих показателей:

— объем продукции каждого из комплексов предприятий внутреннего и экспортного секторов в денежном или натуральном измерении;
— объем продукции, реализуемой на внешних рынках, обрабатывающими предприятиями КОП1 и КОП2;
— объем электроэнергии, покупаемой городом на внешних рынках;
— тарифы или цены для каждого из рассматриваемых видов продукции, производимой рассматриваемыми комплексами предприятий;
— объем собственных средств и объемы заемных средств, направленные на обновление и развитие основных фондов.

Предполагается, что производственные предприятия города могут приобретать продукцию, предназначенную для создания активных основных фондов (АОФ), на внутренних или внешних конкурентных рынках.

Продукция, предназначенная для пассивных основных фондов (ПОФ), производится СК и приобретается полностью на внутренних рынках.

Допустимые состояния производственных комплексов должны удовлетворять следующим ограничениям:

1. Ограничения на тарифы и цены для всех видов продукции, производимой рассматриваемыми комплексами предприятий.
2. Ограничения на объемы производства для каждого из комплексов предприятий, определяемые:
   — производственными возможностями (мощностями) предприятий;
   — конечным и промежуточным спросом на производимые предприятиями товары и услуги;
   — предложением трудовых ресурсов по категориям работников.
3. Ограничения на объемы электроэнергии, которую город может покупать на внешних рынках.
4. Ограничения на объемы собственных средств и объемы заемных средств, которые могу быть направлены на обновление и развитие основных фондов рассматриваемых комплексов предприятий.
5. Ограничения на концентрацию основных видов загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах, сбрасываемых в ПВО, и на объемы сточных вод, сбрасываемых в ПВО.

Состояние каждого из рассматриваемых комплексов оценивается величиной добавленной стоимости, которая определяется через значения перечисленных выше показателей состояния с помощью равенств, приведенных в разделе «Формулировка модели...». Состояние системы в целом оценивается суммой добавленных стоимостей, создаваемых входящими в нее комплексами. Оптимизация состояния системы осуществляется на подмножестве состояний, в которых состояния входящих в систему комплексов предприятий являются оптимальными по Парето (Подиновский, Ногин, 1982).

Для оптимальных по Парето состояний добавленная стоимость любого из комплексов может быть им увеличена только за счет уменьшения добавленной

стоимости хотя бы одного из остальных комплексов. Очевидно, что состояние системы, в котором создаваемая добавленная стоимость достигает максимума, является оптимальным по Парето. Добавленная стоимость включает в себя прибыль предприятий и заработную плату работников и является показателем средств, которые могут быть направлены на потребление. Кредитно-инвестиционная политика определяется объемами собственных средств и объемами заемных средств, которые должны быть направлены в течение каждого года рассматриваемого периода каждым из комплексов предприятий на обновление и развитие своих основных фондов.

Формулировка модели, методы и алгоритмы определения оптимальных вариантов кредитно-инвестиционной политики

В приводимых ниже математических выражениях комплексам предприятий КООСВ, КВ, ТЭК, ТЭЭКт, ТЭЭКэ, СК, КОП1, КОП2 присвоены номера 1, 2, ..., 8 соответственно; через $x_i, J_i, P_i, i \in \{1,2,...,8\}$ обозначаются объемы производства, удельные материальные затраты[1] на производство и цены (тарифы) продукции комплекса i соответственно. Стоимость продукции комплексов обрабатывающих предприятий на внутренних рынках измеряется в относительных ценах[2].

Для обновления и развития ОФ производственные предприятия могут использовать заемные и собственные средства. Собственные средства для этих целей они накапливают в фондах развития за счет отчислений от прибыли. Объемы фондов развития на начало года $t + 1$ определяются равенствами:

$$\Phi_i(t+1) = \Phi_i(t) + \delta_i \Pi_i(t) - I_{соб}^{(i)}(t),\ i \in \{1,...,8\}, \tag{1}$$

где $\Phi_i(t)$ – величина фонда развития в начале года t, $\Pi_i(t)$ – прибыль, полученная за период t, $I_{соб}^{(i)}(t)$– собственные средства, направленные на обновление и развитие в период t, δ_i – доля прибыли, направляемая в фонд развития. Заемные средства предприятия могут получать в виде государственных или коммерческих кредитов сроком на один год.

Продукция КООСВ (объемы очистки сточных вод), КВ (объемы воды поданной в водопроводные сети), ТЭК (объемы тепловой энергии поданной котельными в обслуживаемые ими тепловые сети), ТЭЭКт (объемы тепловой энергии поданной теплоцентралями в обслуживаемые ими тепловые сети), ТЭЭКэ (объемы генерации электроэнергии), СК (квадратные метры площади помещений построенных зданий) измеряется в натуральном выражении. Объем производства СК измеряется в условных единицах основного вида продукции[3]. Объемы производства комплексов обрабатывающих предприятий измеряется в стоимостном выражении.

Продукция, производимая КООСВ, КВ, ТЭК, ТЭЭКт, СК, может реализоваться только на недоступных для внешних поставщиков внутренних рынках.

Добавленная стоимость, создаваемая производственными комплексами КВ, ТЭК, ТЭЭКт, СК и КОП1 на множестве допустимых, состояний определяется равенствами:

---

[1] J_7 и J_8 – затраты на рубль продукции КОП1 и КОП2 соответственно.

[2] Относительная цена продукции на внутреннем рынке – это отношение стоимости продукции на внутреннем рынке к ее стоимости на внешнем рынке.

[3] В модели объем продукции СК (здания и сооружения) измеряется в условных м^3.

$$\pi_i = (P_i - J_i)x_i(1 - k_{nom}^{(i)}),\ i \in \{2,3,4,6\}, \tag{2}$$

$$\pi_7 = (P_7 - J_7)x_7 + \tilde{x}_7\tilde{P}_7, \tag{3}$$

где $k_{nom}^{(i)}$ – оэффициент потерь при реализации продукции i, $\tilde{x}_7$ – объем продукции реализуемой КОП1 на внешних рынках, $\tilde{P}_7$ – относительная цена продукции КОП1, реализуемой на внешних рынках, с учетом затрат на перемещение продукции на внешние рынки[1].

Продукция, производимая КОП2, может реализоваться на внутренних и внешних рынках. Спрос на инвестиционные товары для создания АОФ предприятия города могут удовлетворять на внешних и на внутренних рынках. При покупке товаров на внешних рынках они будут нести затраты на перемещение товаров. В связи с этим инвестиционные товары, реализуемые КОП2 на внутренних рынках, будут стоить дороже чем на внешних рынках на величину расходов на перемещение товаров с внешних рынков. Пусть $\tilde{x}_8$ – объем продукции, реализуемой КОП2 на внешнем рынке. Тогда доход от реализации продукции на внутреннем рынке будет определяться произведением $(x - \tilde{x}_8)(P_8 - J_8)$, где P_8 – относительная стоимость продукции на внутреннем рынке.

В предлагаемой модели создаваемая КОП2 добавленная стоимость определяется равенством

$$\pi_8 = (x_8 - \tilde{x}_8)(P_8 - J_8) + \tilde{x}_8(\tilde{P}_8 - J_8). \tag{4}$$

Добавленная стоимость, создаваемая КООСВ и ТЭЭКэ, определяется равенствами:

$$\pi_1 = (P_1 - \tilde{J}_1)(\sum_i R_{1i}x_i + u_1(P_1)) - x_1J_1, \tag{5}$$

$$\pi_5 = (P_5 - \tilde{J}_5)(x_5 + x^*)(1 - k_{nom}^{(5)}) - x_5J_5 - P_5^*x^*, \tag{6}$$

где суммирование ведется по всем видам продукции, производимой рассматриваемыми комплексами, R_{1i} – объем потребления продукции комплекса j при производстве единицы продукции комплексом i, $u_1(P_1)$ – объемы сбросов сточных вод конечными потребителями воды, $\tilde{J}_1$ – удельные материальные затраты при отведении сточных вод, J_1 – удельные материальные затраты при очистке сточных вод, $\tilde{J}_5$ – удельные материальные затраты при передаче электроэнергии, J_5 – удельные материальные затраты при генерации электроэнергии, x^* – объем электроэнергии, покупаемой на внешних рынках, P_5^* – тарифы на электроэнергию, покупаемую на внешних рынках, $k_{nom}^{(5)}$ – доля потерь электроэнергии в сети.

Допустимые состояния производственных комплексов определяются сформулированной ниже системой неравенств.

Тарифы и цены на продукцию, производимую комплексами предприятий внутреннего сектором экономики города, должны удовлетворять ограничениям:

$$P_i^- \le P_i \le P_i^+,\ i \in \{1,...,6\}. \tag{7}$$

Цены продукции комплексов предприятий экспортного сектора на внутреннем рынке зависят от цен аналогичных видов продукции на внешних рынках. При снижении относительных цен на продукцию комплексов обрабатывающих

[1] Отношение стоимости продукции на внешнем рынке, уменьшенной на величину затрат на перемещение товаров к внешним рынкам, к стоимости продукции на внешнем рынке.

предприятий КОП1, КОП2 до уровня $P_i \le 1 - \Delta P_i, i \in \{7,8\}$, где ΔP_i – относительные удельные затраты на перемещение продукции между рынками[1], эта продукция будет перемещаться с внутренних рынков на внешние рынки, и цены на внутреннем рынке начнут расти. При увеличении цен на продукцию $i \in \{7,8\}$ до уровня $P_i > 1 + \Delta P_i$ продукция, аналогичная этой продукции, будет поступать с внешних рынков на внутренние, и цены на внутреннем рынке будут снижаться. Следовательно, относительные цены на продукцию КОП1 и КОП2 должны удовлетворять ограничениям:

$$1 - \Delta P_i \le P_i \le 1 + \Delta P_i, i \in \{7,8\}. \tag{8}$$

Изменения объемов АОФ и ПОФ в течение года t определяются равенствами:

$$K_a(t+1) = K_a(t)(1 - Q_a) + \Delta K_a(t), \tag{9}$$

$$K_n(t+1) = K_n(t)(1 - Q_n) + \Delta K_n(t), \tag{10}$$

где $K_a(t)$ и $K_n(t)$ – объемы АОФ и ПОФ фондов в начале года t соответственно, Q_a и Q_n – коэффициент амортизации АОФ и ПОФ, $\Delta K_a(t)$ и $\Delta K_n(t)$ – объем АОФ и ПОФ, введенных в эксплуатацию в течение года t.

Из (9) и (10) следует, что

$$\Delta K_n(t) = k_{na}(K_a(t)(Q_n - Q_a) + \Delta K_a(t), \tag{11}$$

где k_{na} – коэффициент, определяющий соотношение между пассивными и активными основными фондами.

Объемы инвестиций, необходимых для ввода в эксплуатацию $\Delta K_a(t)$ активных основных фондов, и $\Delta K_n(t)$ пассивных основных фондов определяется равенством:

$$I(t) = \Delta K_a(t) J_a(t) + \Delta K_n(t) J_n(t), \tag{12}$$

где $J_a(t)$ и $J_n(t)$ – удельные затраты при создании и вводе в эксплуатацию АОФ и ПОФ.

Пользуясь равенствами (9)–(12), получаем:

$$\Delta K_a(t) = \frac{I(t) - k_{na} K_a(t)(Q_n - Q_a) J_n(t)}{J_a(t) + k_{na}(t) J_n(t)}, \tag{13}$$

$$\Delta K_n(t) = k_{na} \frac{I(t) + J_a K_a(t)(Q_n - Q_a)}{J_a(t) + k_{na}(t) J_n(t)}. \tag{14}$$

Предполагается, что объемы ввода новых основных фондов неотрицательны. В этом случае из (13), (14) следует, что:

$$I(t) - k_{na} K_a(t)(Q_n - Q_a) J_n(t) \ge 0, \tag{15}$$

$$I(t) + J_a K_a(t)(Q_n - Q_a) \ge 0. \tag{16}$$

Если новые основные фонды равномерно вводятся в эксплуатацию в течение каждого года рассматриваемого периода, имеющиеся в наличии основные фонды равномерно «изнашиваются», а производственные мощности равномерно

[1] Отношение затрат на перемещение продукции между рынками к стоимости продукции на внешнем рынке.

увеличиваются по мере ввода новых основных фондов, то объемы продукции, произведенной в течение года *t,* должны удовлетворять неравенству:

$$x(t) \le k_{ист} k_{ма} \frac{K_a(t+1) + K_a(t)}{2}, \tag{17}$$

где $k_{исп}$ – коэффициент использования производственной мощности, $k_{ма}$ – коэффициент, определяющий соотношение между производственной мощностью и объемом АОФ в начале года *t*.

Пользуясь равенствами (9), (13), это неравенство можно привести к виду:

$$x(t)J(t) - 0,5I(t)k_{ист}k_{ма} \le$$
$$\le 0,5k_{исп}k_{ма}K_a(t)(2-Q_a)J(t) - 0,5k_{исп}k_{ма}k_{па}K_a(t)(Q_n - Q_a)J_n(t), \tag{18}$$

где $J(t) = J_a(t) + k_{па}J_n(t)$.

Таким образом, показано, что при сделанных предположениях объемы производства рассматриваемых комплексов должны удовлетворять ограничениям (18).

Для обеспечения устойчивого развития и сбережения окружающей среды в модель введены экологические ограничения на концентрации загрязняющих веществ в смеси сточных вод, поступающей на очистные сооружения и сбрасываемой в поверхностные водные объекты (ПВО). Кроме того, введены ограничения на объемы сбросов неочищенных сточных вод в ПВО.

Ограничения на концентрации загрязняющих веществ задаются неравенствами:

$$\sum_i x_i(t)R_{1i}(\lambda_{ij} - \tilde{\lambda}_j) + u_1(P_1)(\lambda_j^* - \tilde{\lambda}_j) \le 0, j \in \{1,...,J\}, \tag{19}$$

где суммирование ведется по всем производственным комплексам, J – число основных видов загрязняющих веществ, содержащихся в сточных водах, R_{1i} – объем сбросов сточных вод при производстве единицы продукции комплексом *i*, λ_{ij} – концентрация загрязняющего вещества *j* в сбросах комплекса *i*, $\tilde{\lambda}_j$ – максимально допустимая концентрация загрязняющего вещества *j* в сточных водах поступающих на очистные сооружения и сбрасываемых в ПВО, λ_j^* – концентрация загрязняющего вещества вида *j* в непромышленных сбросах сточных вод.

Объемы сточных вод сбрасываемых в ПВО должны удовлетворять ограничению:

$$\sum_i R_{1i}x_i(t) + u_1(P_1) - x_1(t) \le \Lambda, \tag{20}$$

где Λ – объем сточных вод, которые могут быть очищены за счет ассимиляционного потенциала ПВО при заданных ограничениях на концентрации загрязняющих веществ.

Кроме ограничений (19), (20) объемы сбросов и объемы очистки сточных вод должны удовлетворять естественному ограничению:

$$x_1(t) \le \sum_i R_{1i}x_i(t) + u_1(P_1). \tag{21}$$

Заемные средства, которые производственные комплексы города могут получать в виде государственных кредитов, должны удовлетворять ограничению:

$$\sum_i I_{гос}^{(i)}(t) \le \Psi(t), \tag{22}$$

где $I_{гос}^{(i)}(t)$ – объем государственных кредитов, предоставленных комплексу *i*, $\Psi(t)$ – объем финансовых ресурсов, выделенных городу в начале года *t* для кредитования производственных предприятий.

Объемы собственных средств, которые могут быть направлены на обновление и развитие основных фондов, должны удовлетворять ограничениям:

$$I_{соб}^{(i)}(t) \le \Phi_i(t), i \in \{1,...,8\}. \tag{23}$$

Объемы инвестиций в развитие и обновление основных фондов рассматриваемых производственных комплексов определяются равенствами:

$$I_i(t) = I_{соб}^{(t)}(t) + I_{гос}^{(t)}(t) + I_{ком}^{(t)}(t),\ i \in \{2,...,8\},$$

где $I_{ком}^{(i)}(t)$ – объемы кредитов полученных по коммерческим ставкам процента.

Затраты на приобретение продукции, предназначенной для создания основных фондов, учитываются при расчете материальных затрат.

Для функционирования рассматриваемых производственных комплексов необходим рынок труда, удовлетворяющий ограничениям:

$$\sum_i L_i(t) s_l^{(i)} \le T(t) S_l,\quad l \in \{1,...,\overline{l}\} \tag{24}$$

где $\overline{l}$ – число профессиональных групп работников, $L_i(t)$ – число занятых на предприятиях комплекса i в начале года t, $s_l^{(i)}$, $l \in \{1,...,\overline{l}\}$, – профессиональная структура трудовых ресурсов комплекса i, $T(t)$ – объем рынка труда в начале года t, $S_l, l \in \{1,...,\overline{l}\}$, – профессиональная структура рынка труда.

В случае, если соотношение между производственными мощностями рассматриваемых комплексов и числом занятых на их предприятиях определяется коэффициентами $k_{мт}^{(i)} = \dfrac{M_i(t)}{L_i(t)}$, из (9), (13) получаем:

$$L(t+1) = k_{ма} \frac{(K_a(t)(1-Q_a)\, J_a(t) + k_{па}(1-Q_n) J_n(t)) + I(t)}{J(t) k_{мт}}, \tag{25}$$

где $J(t) = J_a(t) + k_{па} J_n(t)$.

Пользуясь равенством (25), неравенство (24) можно записать в виде:

$$\sum_i k_{ма}^{(i)} \frac{I_i(t) + K_a^{(i)}((1-Q_a^{(i)}) J_a^{(i)}(t) + k_{na}^{(i)}(1-Q_n^{(i)}) J_n^{(i)}(t))}{J_i(t) k_{мт}^{(i)}} \le T(t+1) S_l, \tag{26}$$

$$l \in \{1,...,\overline{l}\}, i \in \{1,...,8\}.$$

Таким образом, показано, что в рассматриваемом случае допустимые состояния производственных комплексов должны удовлетворять системе неравенств (7), (8), (15), (16), (18)–(23), (26).

Множество допустимых состояний рассматриваемых производственных комплексов является линейным. Добавленная стоимость, создаваемая этими комплексами, определяется билинейной функцией. Состояние, на котором эта функция достигает глобального максимума, является оптимальным по Парето. Таким образом, задача определения оптимальной кредитно-инвестиционной политики сводится к задаче максимизации функции $\pi = \sum_i \pi_i$ на множестве, определяемом системой неравенств (7), (8), (15), (16), (18)–(23), (26). Эта задача является нелинейной и невыпуклой, что существенно затрудняет ее решение.

Решение задачи осуществляется в несколько этапов:

1. Определяется начальное допустимое состояние системы. Эта задача может быть решена с помощью методов линейного программирования, так как множество допустимых состояний является линейным.

2. Полученное начальное состояние оптимизируется с помощью метода линеаризации. Для этого переменные делятся на две группы, так что при фиксированных значениях переменных одной группы функция добавленной стоимости становится линейной по переменным второй группы. Выделенным группам переменных поочередно присваиваются значения приближенных решений задачи, начиная с точки начального состояния системы. В результате получаем задачу максимизации добавленной стоимости на подмножестве допустимых состояний, где функция добавленной стоимости является линейной. Решая эту задачу и дополняя полученное решение значениями фиксированных переменных, получаем точку глобального максимума добавленной стоимости на подмножестве допустимых состояний, которому принадлежит исходное состояние. Значение добавленной стоимости в найденной точке будет не меньше ее значения в исходной точке. Если значение добавленной стоимости в найденной точке будет больше исходного, то найденная точка берется в качестве нового приближенного значения и процесс повторяется. В противном случае вычислительный процесс заканчивается.
3. Полученное с помощью метода линеаризации приближенное решение в общем случае не является стационарным, и для его оптимизации используются градиентный метод Зойтендейка и проекционный метод Розена (Базара, Шетти, 1982). Метод Розена применяется в случае зацикливания метода Зойтендейка в угловой точке. Полученное с помощью этих методов решение в общем случае не является глобальным, и для его улучшения можно повторить вычислительный процесс, начиная с метода линеаризации. Если после повтора добавленная стоимость не получила приращения, переходим к решению задачи «улучшения» полученного приближенного решения до оптимального по Парето.
4. Решение этой задачи сводится к последовательному решению задач максимизации добавленных стоимостей, создаваемых рассматриваемыми комплексами предприятий и их подсистемами на соответствующих подмножествах допустимых состояний системы.

Сходимость алгоритма обеспечивается ограниченностью множества допустимых состояний и непрерывностью функций, определяющих добавленную стоимость рассматриваемых комплексов.

Экспериментальная проверка модели

Исходные данные для экспериментальных расчетов получены на основе статистических данных, приведенных в работе (Андреев, Боголюбов, 2015). При экспериментальной проверке модели решалась задача выбора лучших вариантов из заданного множества вариантов государственной кредитной политики, направленной на поддержку развития производства большого города, на трехлетнем периоде. Варианты этой политики определяются объемами финансовых ресурсов, направляемых через финансовые рынки на развитие производственных предприятий, процентной ставкой по кредитам и продолжительностью периодов кредитования. Качество рассматриваемых вариантов оценивалось величиной добавленной стоимости, которую рассматриваемые производственные комплексы могут создать в рамках трехлетнего периода. Объемы добавленной стоимости определялись с помощью предлагаемой оптимизационной модели.

Рассмотрен случай, когда кредиты на финансовом рынке можно получать только на один год под 10% годовых. Предполагалось, что для развития производственных предприятий города в рамках трехлетнего периода государство выделило 10 000 млн руб. С помощью предлагаемой модели для рассматриваемых вариантов кредитной политики были выполнены расчеты динамики добавленной стоимости, создаваемой производственными комплексами в течение трехлетнего периода. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 1, показывает, что наибольший прирост добавленной стоимости по сравнению с объемом, который может быть создан без кредитования (вариант № 1), будет достигнут, если 10 000 млн руб. будут полностью направлены на финансовый рынок в начале первого года рассматриваемого периода. В таблице этот вариант имеет номер 2. Результаты расчетов динамики значений основных показателей, определяющих состояние рассматриваемых производственных комплексов, для этого варианта кредитной политики приведены в табл. 3. Результаты расчетов динамики состояния производственных комплексов при отсутствии финансового рынка показаны в табл. 2.

Таблица 1

Динамика добавленной стоимости, создаваемой производственными комплексами, при заданных вариантах кредитной политики

№	Государственные средства, направленные на кредитование, млн руб.			Добавленная стоимость, созданная производственными комплексами, млн руб.			
	Год 1	Год 2	Год 3	Год 1	Год 2	Год 3	За период
1	0	0	0	1 114 368	1 118 132	1 116 865	3 399 366
2	10 000	0	0	1 127 859	1 119 036	1 162 339	3 409 234
3	5000	5000	0	1 121 809	1 123 564	1 160 280	3 405 654
4	4000	3000	3000	1 120 599	1 121 706	1 163 564	3 405 870
5	3000	4000	3000	1 119 232	1 121 228	1 162 937	3 403 398
6	2000	4000	4000	1 117 680	1 120 885	1 165 160	3 403 726
7	1000	5000	4000	1 116 050	1 122 281	1 167 084	3 405 416

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 2, показывает, что запас производственных мощностей, имеющихся на начало рассматриваемого периода у КООСВ, КВ, ТЭК, ТЭЭК, достаточен для удовлетворения спроса на их продукцию конечных потребителей и производственных комплексов на всем трехлетнем периоде (см. табл. 2, столбцы 5, 7–9). Нулевые значения объемов инвестиций, полученные с помощью предлагаемой модели, согласуются с этим выводом (см. табл. 2, столбцы 3 и 4).

Комплексы КОП1 и КОП2 используют для обновления и развития своих ОФ финансовые ресурсы, имеющиеся в фондах развития, в полном объеме (см. табл. 2, столбцы 3 и 4). Также в полном объеме используются производственные

Таблица 2

Динамика основных показателей состояния производственных комплексов в условиях отсутствия возможности получения кредитов на финансовых рынках*

Производственные комплексы	Годы	Кредиты, млн руб.	Инвестиции, млн руб.	Производственные мощности	Число занятых, чел.	Объем производства	Внутренний спрос	Потери в сетях	Добавленная стоимость, млн руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Внутренний сектор									
КООСВ	1	250	0	826,33	3378	646,89	646,89	0	10 616
	2	390	0	801,35	3276	649,94	649,94	0	10 666
	3	549	0	777,15	3177	655,86	655,86	0	10 763
КВ	1	1604	0	879,43	1943	699,31	664,34	34,97	8240
	2	1871	0	870,24	1923	704,85	669,62	35,24	8305
	3	2151	0	861,18	1903	714,72	678,98	35,74	8421
ТЭК	1	1000	0	24,16	6617	21,25	19,00	2,25	11 549
	2	1380	0	23,81	6519	21,28	19,02	2,26	11 563
	3	1764	0	23,47	6426	21,28	19,06	2,26	11 589
ТЭЭКт	1	278	0	20,21	3013	18,09	17,47	0,62	14 460
	2	850	0	19,91	2969	18,12	17,50	0,62	14 480
	3	1425	0	19,63	2953	18,16	17,54	0,62	14 514
ТЭЭКэ	1	500	0	17 609,87	794	13 842,67	12 126,18	1716,49	32 406
	2	2069	0	17 358,37	783	13 916,00	12 190,42	1725,58	32 577
	3	3647	0	17 116,52	772	14 073,06	12 327,91	1745,05	32 945
СК	1	1000	0	3,26	204 899	3,26	3,26	0	176 050
	2	8296	2271,45	3,26	204 943	3,26	3,26	0	178 864
	3	13 608	5013,51	3,41	213 950	3,41	3,41	0	183 614
Экспортный сектор									
КОП1	1	5000	5000	514 882,1	128 986	514 882	161 083,8	0	490 936
	2	21 283	21 282,87	528 470,6	132 390	528 471	161 102,6	0	487 742
	3	21 824	21 823,61	553 608,4	138 725	553 608	161 150,3	0	511 414
КОП2	1	5000	5000	479 894,1	149 231	479 894	3637,82	0	372 344
	2	14 896	14 895,65	491 275,9	152 770	491 276	7063,28	0	372 699
	3	15 257	15 257,28	510 578	158 786	510 444	7951,34	0	387 705

* Объемы производства КООСВ измеряются в млн м^3 очищенных сточных вод, КВ — в млн м^3 питьевой воды, ТЭК и ТЭЭКт — в млн м^3 Гкал тепла, ТЭЭКэ — в млн м^3 кВт·ч, СК — в млн условных м^2, КООП1 и КООП2 — в млн руб.

мощности, увеличившиеся за счет обновления и развития ОФ (см. табл. 2, столбцы 5 и 7). При этом КОП1 и КОП2 полностью удовлетворяют внутренний спрос на свою продукцию, а избытки продукции реализуют на внешних рынках. Строительный комплекс полностью удовлетворяет спрос на свою продукцию за счет наращивания своих производственных мощностей (см. табл. 2, столбцы 4, 5, 7, 8). В этом случае добавленная стоимость, создаваемая производственными комплексами города, может быть увеличена только за счет увеличения объемов производства экспортного сектора. Для этого предприятиям этого сектора необходимо увеличить производственные мощности. Увеличить производственные мощности за счет собственных средств они не могут, так как эти средства полностью исчерпаны (см. табл. 2, столбцы 3 и 4). Кроме того, увеличение производственных мощностей экспортного сектора приводит к увеличению спроса на продукцию СК, необходимую для создания пассивных основных фондов. Этот дополнительный спрос СК также удовлетворить не может, так как производственные мощности СК загружены в полном объеме и финансовые ресурсы в фонде развития практически исчерпаны (см. табл. 2, столбцы 3, 4, 5, 7). Таким образом, для увеличения создаваемой производственными комплексами города добавленной стоимости потребуются заемные средства. Для оптимизации объемов прироста добавленной стоимости эти средства необходимо оптимальным способом распределить между СК и комплексами обрабатывающих предприятий.

Оптимальный вариант распределения заемных средств между рассматриваемыми комплексами предприятий и соответствующая динамика показателей их состояния, полученные с помощью предлагаемой модели, приведены в табл. 3.

Анализ результатов расчетов, приведенных в табл. 3, показывает, что при оптимальном распределении 10 000 млн руб., выделенных государством на кредитование производственных предприятий города, 2922,2 млн руб. должны быть направлены на кредитование СК и 7077,8 — на кредитование КОП1. Кроме того, СК и КОП1 в начале периода должны дополнительно к заемным средствам инвестировать на обновление и развитие своих основных фондов 1000 и 5070,8 млн руб. из фондов развития соответственно (см. табл. 3, столбцы 3 и 4). В результате освоения этих средств экспортный сектор может создать дополнительную стоимость большую, чем в случае, когда производственные комплексы города не имеют возможности получать кредиты, на 6089 млн руб. (см. табл. 2 и 3, столбец 10). Вместе с ростом добавленной стоимости экспортного сектора увеличивается и объем производства КОП1 и КОП2. Это приведет к увеличению спроса на продукцию внутреннего сектора, используемую в производстве экспортным сектором. Увеличение спроса на продукцию внутреннего сектора приведет к увеличению объемов производства этой продукции и росту создаваемой внутренним сектором добавленной стоимости. Анализ данных, приведенных в табл. 2 и 3, показывает, что этот рост составит 3779 млн руб. В целом производственные комплексы за счет использования заемных средств смогут создать дополнительную стоимость большую, чем без них, на 9868 млн руб.

Таким образом, результаты, полученные с помощью предложенный модели показывают, что модель может быть использована при разработке вариантов кредитно-инвестиционной политики развития производства больших городов.

Таблица 3

Динамика основных показателей состояния производственных комплексов при оптимальном варианте государственной кредитной политики

Производственные комплексы	Годы	Кредиты, млн руб.	Инвестиции, млн руб.	Производственные мощности	Число занятых, чел.	Объем производства	Внутренний спрос	Потери в сетях	Добавленная стоимость, млн руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Внутренний сектор									
КООСВ	1	0	0	826,00	3378	647,91	647,91	0	10 633
	2	0	0	826,33	3276	650,11	650,11	0	10 669
	3	0	0	801,35	3177	656,02	656,02	0	10 766
КВ	1	0	0	879,43	1943	700,46	665,44	35,02	8254
	2	0	0	870,24	1923	704,91	669,66	35,25	8306
	3	0	0	861,18	1903	714,87	679,13	35,74	8423
ТЭК	1	0	0	24,16	6617	21,25	19,00	2,25	11 552
	2	0	0	23,81	6519	21,28	19,02	2,26	11 563
	3	0	0	23,47	6426	21,32	19,06	2,26	11 589
ТЭЭКт	1	0	0	20,21	3013	18,10	17,48	0,62	14 464
	2	0	0	19,91	2969	18,12	17,50	0,62	14 480
	3	0	0	19,63	2926	18,16	17,54	0,62	14 515
ТЭЭКэ	1	0	0	17 610	794	13 896,4	12 175,49	1720,92	32 489
	2	0	0	17 358	783	13 923,87	12 197,31	1726,56	32 596
	3	0	0	17 116	772	14 078,81	12 333,04	1745,77	32 959
СК	1	2922,2	3922,2	3,37	211 701	3,37	3,37	0	181 618
	2	0	1591,4	3,30	207 339	3,30	3,30	0	181 117
	3	0	5056,6	3,43	215 208	3,43	3,43	0	184 313
Экспортный сектор									
КОП1	1	7077,8	12 078	520 099	130 293	520 099	161 098,5	0	495 820
	2	0	21 527	528 666	132 439	528 666	161 106,6	0	487 686
	3	0	21 833	554 140	138 820	554 140	161 152,8	0	511 917
КОП2	1	0	5000	479 894	149 231	479 894	5437,52	0	373 030
	2	0	14 930	491 307	152 780	491 307	6888,71	0	372 619
	3	0	15 255	510 620	158 786	510 620	7981,87	0	387 857

Заключение

В статье показан подход к построению оптимизационных моделей развития производственного сектора большого города, предложенного Д. Нортом в связи с решением проблем регионального развития, в котором экономический рост региона обусловлен использованием уникальных ресурсов этого региона и его экспортных предприятий. В рассматриваемом в данной работе случае уникальными ресурсами являются трудовые, а экспортными предприятиями — обрабатывающие предприятия.

Разработан компьютерный вариант предлагаемой модели и проведена ее экспериментальная проверка. Показана возможность использования модели при решении задач формирования государственной кредитной политики развития производственного сектора экономики большого города. Модель может быть использована при разработке моделей развития городских агломераций.

Источники

Андреев В.А., Боголюбов И.Н., Кулеш В.П. Формирование тарифной политики и определение вариантов распределения квот на воду и энергетические ресурсы, обеспечивающих устойчивое развитие промышленности большого города // Вестник Санкт-Петербургского гос. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2013. Вып. 1. С. 78–88.

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.

Андреев В.А., Платонова Е.А. Разработка и исследование многокритериальной оптимизационной модели устойчивого и сбалансированного развития внутреннего и экспортного секторов экономики большого города // Финансы и бизнес. 2016. № 4. С. 35–45.

Базара М., Шетти К. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы. М., 1982.

Касьянова Г.Ю. Классификация основных средств и начисление амортизации. М., 2011.

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

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

North D.C. Location Theory and Regional Economic Growth // Journal of Political Economy. 1955. Vol. 63. N 3. P. 234–258.

References

Andreev V.A., Bogolyubov I.N., Kulesh V.P. Formirovanie tarifnoj politiki i opredelenie variantov raspredeleniya kvot na vodu i ehnergeticheskie resursy, obespechivayushchih ustojchivoe razvitie promyshlennosti bol'shogo goroda [Formation of tariff policy and definition of options for allocating quotas for water and energy resources, ensuring sustainable development of large city industry]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvenno universiteta. Ser. 7. Geologiya. Geografiya* [*Bulletin of St. Petersburg State University. Ser. 7. Geology. Geography*], 2013, vol. 1, pp. 78–88. (In Russian)

Andreev V.A., Bogolyubov I.N., Kulech V.P. Razrabotka variantov ustojchivogo razvitiya vodosnabzheniya, teplosnabzheniya i ehlektrosnabzheniya bol'shogo goroda pri zadannyh tempah razvitiya ehksportnogo sektora [Development of options for sustainable development of water supply, heat supply and electricity supply of a large city at given rates of export sector development]. *Finansy i biznes* [*Finances and business*], 2015, N 3, pp. 96–110. (In Russian)

Andreev V., Platonova E.A. Development and research of a multicriteria optimization model for sustainable and balanced development of the domestic and export sectors of the economy of a large city. *Finansy i biznes* [*Finances and business*], 2016, N 4, pp. 35–45. (In Russian)

Bazara M., Shetty K. *Nelinejnoe programmirovanie. Teoriya i algoritmy* [*Nonlinear programming. Theory and algorithms*]. Moscow, 1982. (In Russian)

Kasyanova G.Yu. *Klassifikaciya osnovnyh sredstv i nachislenie amortizacii* [*Classification of fixed assets and depreciation*]. Moscow, 2011. (In Russian)

Podinovsky V.V., Nogin V.D. *Pareto optimal'nye resheniya mnogokriterial'nyh zadach* [*Pareto optimal solutions of multicriteria problems*]. Moscow, 1982. (In Russian)

Svays D.K. Opredelenie mul'tiplikatorov ehksportnoj bazy regiona v prisutstvii resursnyh ogranichenij: podhod Norta [Determination of multipliers of the region's export base in the presence of resource constraints: the North approach]. *Prostranstvennaya ehkonomika* [*Spatial economy*], 2006, N 1, pp. 109–137. (In Russian)

North D.C. Location Theory and Regional Economic Growth. *Journal of Political Economy*, 1955, vol. 63, N 3, pp. 234–258.