

- costs and income in the macroeconomic circular movement]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2011, no. 1, pp. 123-126.
6. Dimov Je.M., Maslov O.N. O tochnosti i adekvatnosti metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovanija [Accuracy and adequacy of the statistical simulation method]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007, vol. 5, no. 1, pp. 60-67.
 7. Egorova N.E., Smulov A.M. *Predpriyatija i banki: vzaimodejstvie, jekonomicheskij analiz, modelirovanie* [Companies & banks: interaction, economic analysis, modeling]. Moscow, Delo Publ., 2002. 456 p.
 8. Il'jasov B.G., Degtjareva I.V., Makarova E.A. Potochno-zapasnaja model' makrojekonomicheskogo vosproizvodstvennogo processa [Flow-reserve model of macroeconomic reproductive process]. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, no. 8, pp. 473-479.
 9. Makarova E.A., Zimina G.A. Metodologija issledovanija i modelirovanija dinamiki realizacii investicionnogo proekta [Methodology of research and modeling of the dynamics of realization of the investment project]. *Mehatronika, avtomatizacija, upravlenie*, 2007, no. 9, pp. 32-37.
 10. Il'jasov B.G., Degtjareva I.V., Makarova E.A., Gabdullina Je.R. Modelirovanie dinamiki krugoooborota finansovyh potokov s uchetom nakoplenija finansovyh resursov [Computer modeling of financial flows circulation with an allowance for financial resources accumulation]. *Vestnik komp'juternyh i informacionnyh tehnologij*, 2009, no. 1, pp. 28-38.
 11. Nikiforov A.A., Antipina O.N., Miklashevskaja N.A. *Makrojekonomika: nauchnye shkoly, koncepcii, jekonomicheskaja politika* [Macroeconomics: scientific schools, concepts, economic policy]. Moscow, Delo i servis Publ., 2008. 534 p.
 12. Manevich V.E. *Kejnsianskaja teorija i rossijskaja jekonomika* [Keynesian theory and Russian economy]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 221 p.

Received 15.02.2015

УДК 004.021

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

Гаврилова А.А.¹, Салов А.Г.², Иванова Д.В.²

¹ *Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*

² *Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, РФ*

E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

В статье проведена оценка устойчивости макроэкономического объекта – промышленного комплекса Самарской области на основе исследования предельных производительностей использования бизнес-ресурсов. Построены математические модели, адекватно описывающие функционирование сложного производственно-экономического объекта по экологическому критерию. Методами имитационного моделирования проанализировано влияние основных бизнес-ресурсов на конечные показатели деятельности системы. Сконструирована и предложена система управления, позволяющая прогнозировать управленческие решения в сфере инвестирования в систему для улучшения экологической ситуации. Разработаны подходы к принятию решений по выбору величины инвестирования, улучшающей экологическую ситуацию в регионе.

Ключевые слова: управление, эффективность, выбросы, математическая модель, природоохранные мероприятия, производственная функция, валовый региональный продукт, принятие решений.

Введение

Одной из важнейших задач управления сложными системами является повышение комплексной эффективности их функционирования – оптимальное использование имеющихся в распоряжении системы ресурсов для достижения высоких конечных результатов.

В этой связи актуальным является исследование макроэкономических объектов методами имитационного моделирования, разработка математических моделей и построение прогнозов на их основе. В данной статье предложен один из возможных подходов к исследованию деятельности производственно-экономического объекта – региональной промышленной системы по

экологическому критерию методами модельного анализа на основе производственных функций.

Построение имитационной модели объекта

В качестве объекта исследования регионального уровня рассматривается макроэкономическая система промышленного комплекса Самарской области. Промышленность Самарского региона характеризуется стабильным ростом производства, функционирование которого сказывается на экологической ситуации в регионе и влияет на его развитие. Высокий уровень загрязнений атмосферного воздуха, имеющий место в регионе, обуславливает необходимость формирования адекватного подхода к инвестированию в природоохранную деятельность с целью принятия взвешенных управленческих решений.

Одним из наиболее распространенных типов математических моделей, используемых для описания функционирования и анализа эффективности сложных систем, является класс математических моделей в виде производственных функций (ПФ). Этот класс моделей позволяет определять различные параметры рассматриваемых систем: необходимый объем производственных ресурсов, эффективность использования и управляемость ресурсов. В конечном счете также возможно использование ПФ для построения прогнозов функционирования системы [1].

Представим процесс функционирования регионального промышленного комплекса Самарской области (РПК) в виде преобразования некоего множества входных факторов – ресурсов в комплекс выходных характеристик – конечных продуктов. Моделируемый объект рассмотрим как единое целое, без учета его структуры, формы и способов организации производственных отношений. Входными ресурсами в этом случае будут $C(t)$ – внешнее инвестирование в виде величины финансирования природоохранной деятельности РПК и $H(t)$ – доля внутреннего инвестирования, объем валового регионального продукта, то есть денежного эквивалента всей выпускаемой в регионе продукции. Для анализа экологической ситуации выходной характеристикой РПК примем $V(t)$ – величину валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу региона. Используя в качестве базовой модели неоднородную производственную функцию Кобба-Дугласа, опишем деятельность производственно-экономической системы (в нашем случае РПК) уравнением вида [2]:

$$V(t) = A \cdot H(t)^\alpha C(t)^\beta, \quad (1)$$

где A – коэффициент масштабной эффективности, α и β – факторные эластичности, характеризующие вклад соответствующих ресурсов в величину валовых выбросов загрязняющих веществ.

Полученные значения факторных эластичностей определяют значительное влияние изменения величины валового регионального продукта на экологический показатель и низкую эффективность капиталовложений в сферу экологии, идентифицируемые параметры модели составляют $\alpha = 0,7034$ и $\beta = -0,07$ соответственно для первого и второго ресурса. Проведенный анализ результатов идентификации параметров построенной модели показал, что модель (1) с достаточной точностью описывает происходящие процессы и может использоваться в качестве имитационной модели исследуемого производственно-экономического объекта.

В целях более детального исследования экономических связей внутри РПК рассмотрим также механизм образования $H(t)$ – объема валового регионального продукта. Для этого используем двухфакторную производственно-экономическую функцию Кобба-Дугласа для описания математической модели, где $H(t)$ – выходная характеристика, характеризующаяся влиянием двух видов входных ресурсов – капитальных $K(t)$ и трудовых $L(t)$:

$$H(t) = AK(t)^\alpha L(t)^\beta, \quad (2)$$

где A – коэффициент масштабной эффективности; α и β – факторные эластичности, характеризующие вклад соответствующих ресурсов в величину объема валового регионального продукта.

Примем в качестве капитальных ресурсов $K(t)$ величину основных фондов Самарской области по полной учетной стоимости на конец года с учетом индекса физического объема, что позволит отразить динамику их стоимости, вызванную изменением только физического объема и не связанную с изменением цен.

Трудовые ресурсы $L(t)$ оценим величиной численности экономически активного населения, занятого в экономике Самарской области. Построим математическую модель (2) на основе исходных данных из статистических ежегодников, размерности $K(t)$; $L(t)$ и приведем в относительные величины. Идентификацию модели (2) проведем с помощью метода наименьших квадратов.

Сопоставление этих данных с модельными расчетами динамики валового регионального продукта в период 2003-14 г.г. показывает, что полученная модель адекватно описывает про-

цесс, происходящий в региональной системе. Среднеквадратичная ошибка погрешности расчетов составляет 8%, прогностические свойства двухфакторной неоднородной ПФ высоки по критерию Дарбина-Уотсона ($DW = 2,04$), что свидетельствует об отсутствии автокорреляции остатков, следовательно, зависимость обладает высокими прогнозными свойствами.

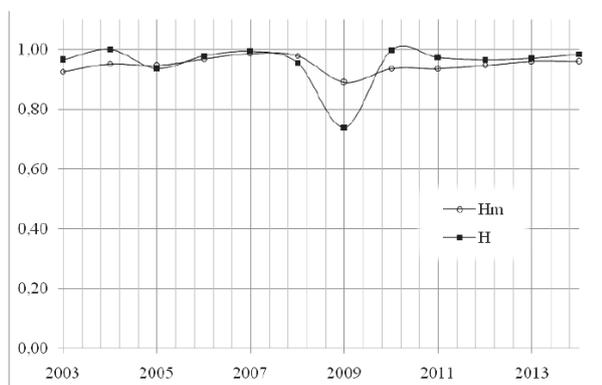


Рис. 1. Динамика изменения валового регионального продукта 2003-2014 г.г.: H – реальные данные, H_m – расчетные данные по модели (2).

Сопоставление результатов моделирования с реальными данными приведено на рис. 1. Значение факторной эластичности $\beta = 0,85$ обуславливает положительное влияние трудовых ресурсов на изменение величины валового регионального продукта. Коэффициента $\alpha = -0,19$ является отрицательной величиной, то есть уменьшение основных фондов на 1% увеличивает величину валового регионального продукта $H(t)$ на 0,19%.

Исследование устойчивости производственно-экономической системы

Исследуем устойчивость функционирования производственно-экономической системы к изменениям в экономике Самарской области в период 2001-13 гг. по предельным производительностям использования каждого ресурса в природоохранной деятельности региона: $\partial V / \partial H$ и $\partial V / \partial C$.

Предельные производительности характеризуют функции чувствительности величины образования вредных веществ к соответствующим входным ресурсам – внутреннему инвестированию в виде объема валового регионального продукта $H(t)$ и внешнему инвестированию как величине финансирования природоохранной деятельности РПК $C(t)$.

На рис. 2 приведена динамика предельной эффективности ресурса $H(t)$, на рис. 3 – динамика предельной эффективности ресурса $C(t)$. Пре-

дельные производительности основного рассматриваемого бизнес-процесса: величины валовых выбросов загрязняющих веществ рассчитаны на основе коэффициентов эластичности α , β модели.

На рис 2 приведен график предельной эффективности использования ресурса $H(t)$ в бизнес-процессе по экологическому критерию.

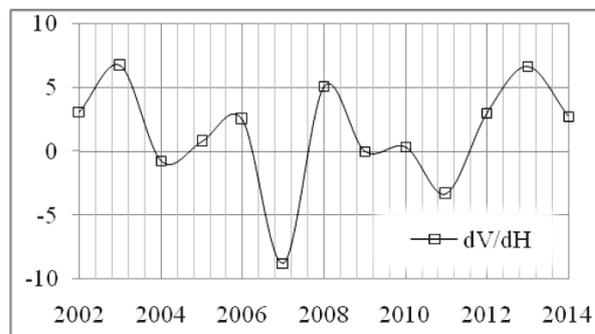


Рис. 2. Предельная эффективность ресурса $H(t)$ в бизнес-процессе по экологическому критерию

Предельные производительности ресурса на всем рассматриваемом промежутке претерпевают значительные колебания, что свидетельствует о весьма серьезной неустойчивости в работе системы. Особенно сильные колебания в отрицательную величину отмечены в 2007 г. и 2011 г., что указывает на потерю управляемости экологическим фактором на основе внутренних инвестиционных ресурсов $H(t)$. Следует отметить, что в заключительный период наблюдений, после 2011 г., предельные эффективности становятся положительными, то есть система становится управляемой и начинает функционировать с удовлетворительными результатами.

Анализ предельной эффективности внешних инвестиционных ресурсов $C(t)$ в природоохранную отрасль показывает, что система имеет низкий коэффициент эффективности использования инвестиционного ресурса, так как зависимость между величиной инвестиций в природоохранную отрасль $C(t)$ и количеством валовых выбросов $V(t)$ идентифицируется существенно нелинейной, согласно рис 3.

Положительные значения в период 2002-04 г.г.; в 2006 г. и в заключительный период 2012-14 г.г. свидетельствуют о том, что система функционировала удовлетворительно, но отличалась сильной неустойчивостью. Также отметим, что в период 2002-09 г.г. график колебаний предельной эффективности ресурса $H(t)$ схож с графиком предельной эффективности ресурса $C(t)$ с запа-

здыванием в два года, однако с большей амплитудой. Это отвечает происходящим в системе процессам – инвестирование в природоохранную отрасль положительно влияет на снижение величины валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу региона $V(t)$ с запаздыванием, необходимым для проведения природоохранных мероприятий.

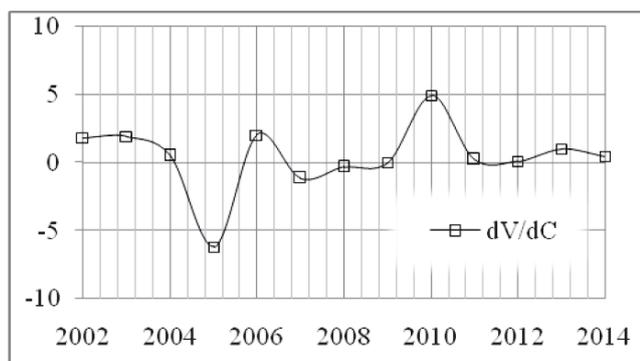


Рис. 3. Предельная эффективность ресурса $C(t)$ в бизнес-процессе по экологическому критерию

Таким образом, снижаются выбросы и функционирование всей промышленной системы становится эффективнее, что выражается в изменении эффективности ресурса $H(t)$ по экологическому критерию.

Построение системы управления

Система управления процессом формирования инвестиций на природоохранную деятельность синтезирована в двухконтурном виде и изображена схематично на рис. 4. Входными ресурсами для РПК являются основные фонды $K(t)$ и трудовые ресурсы $L(t)$ для внутреннего контура и ежегодные капиталовложения в природоохранную деятельность $C(t)$ для внешнего контура, отражающего экологические процессы, происходящие в системе. Выходами системы тогда будут валовый региональный продукт $H(t)$ для внутреннего контура и величина валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу региона $V(t)$ – для внешнего контура. Во внутреннем контуре системы происходит образование инвестиции на обновление основных фондов $K(t)$ за счет доли внутренних инвестиций от прибыли РПК – валового регионального продукта $H(t)$. Во внешнем контуре формируются внешние инвестиции $C(t)$, использующиеся в природоохранной отрасли на улучшение экологической ситуации и устранение ущерба от регионального производства.

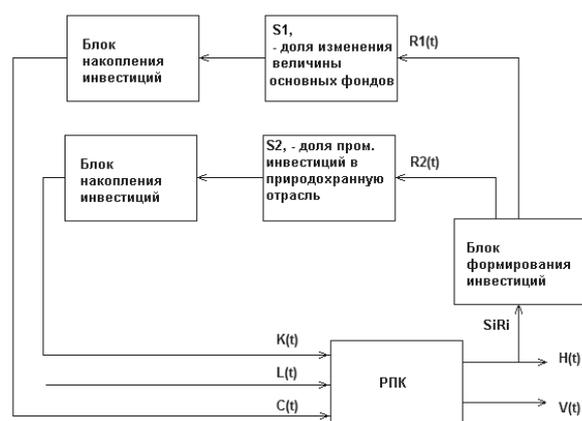


Рис. 4. Структурная схема управления макроэкономическим объектом (РПК)

Общий объем внутреннего инвестирования $\sum R_i(t)S_i(t)$ в промышленно-экономической системе формируется из прибыли за предыдущий финансовый год $H(t)$ как сумма всех потоков финансирования $R_i(t)$ с коэффициентом $S_i(t)$. В блоке формирования инвестиции распределяются на ряд инвестиционных потоков $R_1...R_n(t)$ в различные сферы региональной деятельности. Поток $R(t)$ является совокупностью долгосрочных вложений средств, фондов, капитала в производство, транспорт, сельское хозяйство, социальную сферу, в природоохранную деятельность, обновление основных фондов, развитие науки и другие. Прибыль за предыдущий финансовый год складывается из величины валового регионального продукта $H(t)$, на который влияют величина основных фондов $K(t)$ и трудовых ресурсов $L(t)$.

Выбрав оптимальную долю изменения основных фондов $K(t)$, определим необходимый объем изменения прибыли $H(t)$ и объема финансирования природоохранных мероприятий $C(t)$, который позволит добиться снижения выбросов вредных веществ в атмосферу. Для этого используем математические модели (1)-(2) в качестве прогнозных.

На первом этапе управляющей переменной используем долю изменения основных фондов в структуре годового выпуска промышленной продукции. Положим, что на входные ресурсы, определяющие выпуск продукции, – объем основных фондов производства и численность работающего персонала, – накладываются естественные разумные ограничения:

$$0 < K(t) < K_{\max}, \quad 0 < L(t) < L_{\max}, \quad (3)$$

где K_{\max} и L_{\max} определяются величиной производственного потенциала производства.

Примем, что в производственно-экономической системе базовый технологический цикл длится один год. Размеры материальных и трудовых ресурсов, используемых в течение года в процессе производства, будем брать в объеме, рассчитанном на начало года. Валовой объем выпущенной продукции будем исчислять на конец года и конец одного технологического цикла.

Положим изменение валового регионального продукта $H(t)$ зависимым от управляющей переменной $S_1(t)$ – доли изменения величины основных фондов в структуре ежегодного выпуска продукции, согласно математической модели (2).

Величину $S_1(t)$ охарактеризуем на основе формулы

$$K(t) = K(t-1) + S_1(t)K(t-1). \quad (4)$$

Численные значения долей изменения основных фондов определим подбором, согласуя с реально применяемыми в промышленности величинами. Дальнейшее аналитическое продолжение траектории управляющей переменной осуществим путем прогнозирования на основе экспертных оценок нескольких вероятных вариантов ее развития.

Определив прогнозные значения основных фондов $K(\cdot)$ по формуле (5) и величины выпуска продукции H на период 2015-18 г.г. с помощью модели (2), далее используем эти данные в качестве исходных для имитационной модели управления производственно-экономической системой регионального уровня по экологическому критерию – снижению выбросов вредных веществ.

В качестве управляющей переменной на втором этапе примем относительную долю промышленных инвестиций в природоохранную отрасль в структуре годового выпуска промышленной продукции $S_2(t)$. Ежегодные капиталовложения в природоохранную деятельность $C(t)$ формируются согласно управляющей переменной $S_2(t)$ в блоке накопления инвестиций:

$$C(t) = C(t-1) + S_2(t)H(t). \quad (6)$$

Определим необходимый объем финансирования природоохранных мероприятий, который позволит добиться снижения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Результаты имитационного моделирования

Имитационную модель используем для исследования вариантов возможной производственной деятельности промышленного комплекса на

период до 2018 г. В качестве базового периода, статистические данные которого используются для построения имитационной модели, будем рассматривать временной интервал 2003-14 г.г. Идентифицируем параметры математической модели (2) методом наименьших квадратов.

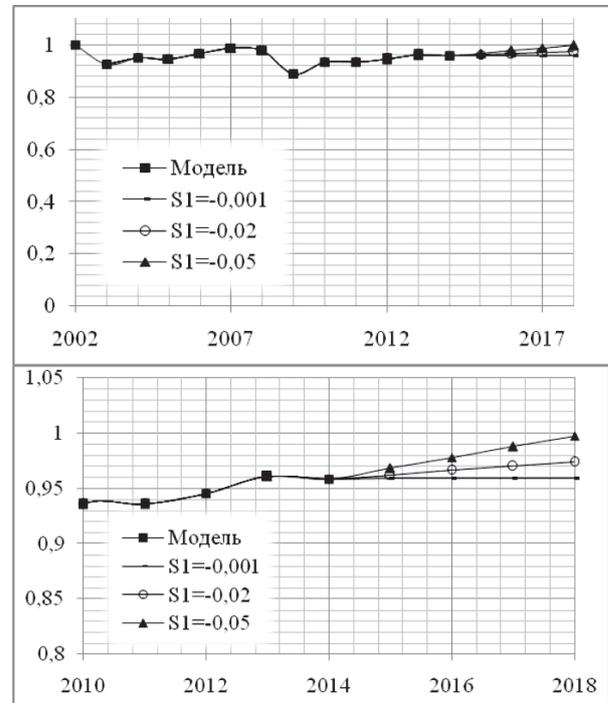


Рис. 5. Прогноз функционирования РПК на основе модели (2) $H(K,L)$ 2003-14 г.г. при различной величине инвестиций на основные фонды в структуре ежегодного выпуска продукции $S_1(t)$ на 2015-2018 г.г. в обычном и увеличенном масштабе

Проанализируем результаты имитационного моделирования. На рис. 5 представлены модельные траектории, построенные с прогнозом до 2018 г. Были рассмотрены три сценария, различающиеся величиной изменения основных фондов $S_1(t)$: от $-0,001$ до $-0,05$.

Показатели качества модели свидетельствуют об удовлетворительности ее прогнозных свойств. При величине изменения основных фондов $S_1(t) = -0,001$ наблюдается стабилизация величины валового регионального продукта на уровне 2014 г. При воздействии $S_1(t) = -0,02$ и $S_1(t) = -0,05$ прогнозируется соответствующий рост производства. Выберем наиболее реалистичный прогноз уменьшения основных фондов и роста валового регионального продукта при воздействии $S_1(t) = -0,02$, соответствующий нормативным, реально применяемым в промышленности величинам.

Для исследования механизма снижения выбросов вредных веществ на период до 2018 г., с

учетом полученных вариантов производственной деятельности промышленного комплекса, применим имитационную модель (1), использующую статистические данные по Самарской области за 2001-14 г.г.

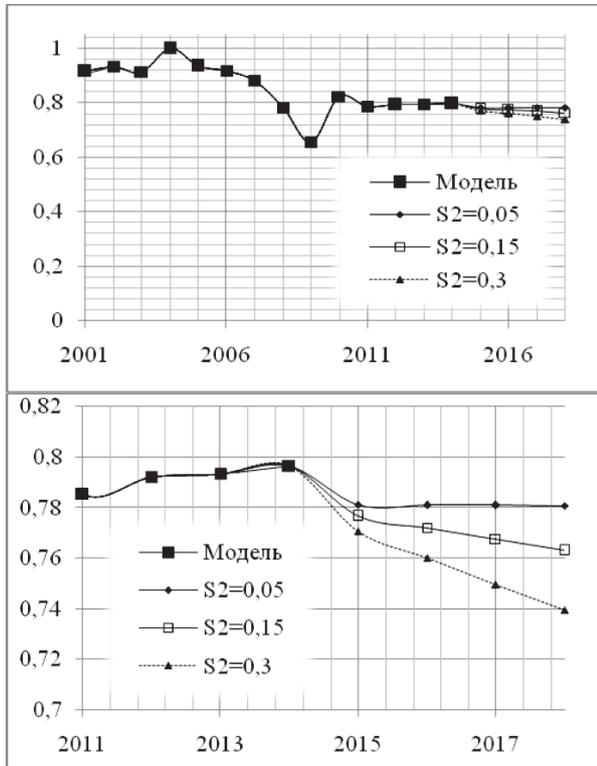


Рис. 6. Прогноз функционирования РПК на основе математической модели (1) $V(H,C)$ 2001-14 г.г. при различной величине отчислений на природоохранные мероприятия $S_2(t)$ на 2015-18 г.г. в обычном и увеличенном масштабе

Рассмотрим три сценария развития промышленной системой на 2015-18 г.г., различающиеся величиной инвестиций в природоохранную отрасль $S_2(t)$ – от 0,05 до 0,3. Численные значения долей производственных инвестиций положим постоянными.

На рис. 6 представлены модельные прогнозные траектории. Проанализируем результаты имитационного моделирования. При величине инвестиций $S_2(t) = 0,05$ к 2018 г. наблюдается стабилизация величины выбросов на уровне, практически равном уровню 2011 г., при $S_2(t) = 0,15$ и $S_2(t) = 0,3$ прогнозируется соответствующий спад валовых выбросов на 3,26% и 5,51% соответственно.

Экономические возможности региона, к сожалению, в настоящее время не позволяют выделять значительные финансовые ресурсы, необходимые для адекватного возмещения понесенного ущерба и ликвидации негативных экологических

последствий производственно-экономической деятельности региона. При этом очевидно, что величина инвестиций менее 5% является недостаточной, показатели функционирования по экологическому критерию будут продолжать ухудшаться.

Выводы

Построенные математические модели адекватно описывают функционирование сложного производственно-экономического объекта – регионального промышленного комплекса по экологическому критерию. Проведенный анализ устойчивости системы показал неэффективность использования и низкую управляемость основных ресурсов. Построенная на основе имитационных моделей система управления позволяет прогнозировать деятельность системы на ближайшие четыре года.

Таким образом, построен прогноз деятельности производственно-экономической системы и определены инвестиции, направленные на улучшение эффективности деятельности, как доля величины валового регионального продукта, выделяемая ежегодно на природоохранную отрасль региона и необходимая для снижения выбросов вредных веществ в Самарской области.

Литература

1. Гаврилова А.А. Организация управления энергетическим производством на основе комплексных критериев деятельности // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева/ №1 (23), 2015. – С. 11-16.
2. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Иванова Д.В. Анализ устойчивости природоохранной деятельности региональной производственно-экономической системы // Материалы МНК МКЭ-СТУ-2014-011 «Современные технологии управления-2014», Москва, 2014. – С. 1704-1714.
3. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Иванова Д.В. Комплексный анализ природоохранной деятельности промышленных систем регионального уровня // Промышленная энергетика. №12, 2014. – С. 45-48.
4. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Иванова Д.В., Чиркова Ю.В. Методика оценки комплексной эффективности использования ресурсов энергетическими предприятиями по экологическим критериям // Материалы РНТК с МУ «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность». Томск, 2013. – С. 74-76.

Получено 16.03.2015

Гаврилова Анна Александровна, к.т.н., доцент Кафедры экономических и информационных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. 8-909-329-92-88. E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

Салов Алексей Георгиевич, д.т.н., доцент, профессор Кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарского государственного архитектурно-строительного университета (СГАСУ). Тел. (8-846) 337-80-89.

Иванова Дарья Валерьевна, аспирантка СГАСУ. Тел. 8-927-724-07-51. E-mail: darya.i@inbox.ru

SIMULATION OF MACROECONOMIC OBJECT PERFORMANCE BASED ON ECO-LOGICAL CRITERION

Gavrilova A.A.¹, Salov A.G.², Ivanova D.V.²

¹Povolzhskiy State University of Telecommunication and Informatics, Samara, Russian Federation

²Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russian Federation

E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

Complex analysis of regional ecology situation requires research of all regional system interconnections both with each other and with external environment. This work presents results of estimation of macroeconomic object stability corresponding to industrial complex of Samara region. Proposed analysis is based on research of marginal productivity of business-recourses usage. Mathematical models are represented that adequately describe the operation of complex productive-economic object based on ecological criterion. We produced analysis of the main business resource influence on system performance indicators by simulation methods. Control and management system is developed and proposed, it provides prediction of managerial decisions in the field of investment activity for regional ecological situation improving. We present approaches for decision making that improve ecological situation in the region.

Keywords: monitoring, management, performance, discharge, mathematical model, environmental protection, production function, gross regional product, decision making.

DOI: 10.18469/ikt.2015.13.2.10.

Gavrilova Anna Aleksandrovna, PhD in Technical Science, Associate professor of the Department of Economic and information systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation. Tel.: +7 909 329 92 88. E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

Salov Aleksey Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of the Heating and gas-supply and ventilation, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russian Federation.

Ivanova Daria Valer'evna, PhD-student, Department of the Heating and gas-supply and ventilation, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russian Federation. Tel.: +79277240751. E-mail: darya.i@inbox.ru.

References

1. Gavrilova A.A. Organizatsiya upravleniya energeticheskim proizvodstvom na osnove kompleksnykh kriteriev deyatelnosti. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva*, 2015, vol. 23, no. 1, pp. 11-16.
2. Salov A.G., Gavrilova A.A., Ivanova D.V. Analiz ustoychivosti prirodoohrannoy deyatelnosti regionalnoy proizvodstvenno-ekonomicheskoy sistemy. *Materialy MNK MKE-STU-2014-011 «Sovremennyye tehnologii upravleniya-2014»*, Moscow, 2014. – pp. 1704-1714.
3. Salov A.G., Gavrilova A.A., Ivanova D.V. Kompleksnyy analiz prirodoohrannoy deyatelnosti promyshlennyykh sistem regionalnogo urovnya. *Promyshlennaya energetika*. 2014, no. 12, pp. 45-48.
4. Salov A.G., Gavrilova A.A., Ivanova D.V., Chirkova Yu.V. Metodika otsenki kompleksnoy effektivnosti ispolzovaniya resursov energeticheskimi predpriyatiyami po ekologicheskim kriteriyam. *Materialy konferencii «Energetika: effektivnost, nadezhnost, bezopasnost»*. Tomsk, 2013, pp. 74-76.

Received 16.03.2015