

УДК 581.9

## МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ МУНИЦИПАЛЬНОГО УРОВНЯ

© 2019 Д.В. Иванова, А.А. Гаврилова, А.Г. Салов

Самарский государственный технический университет, г. Самара (Россия)

Поступила 12.01.2019

В работе рассматриваются проблемы эффективности экологического функционирования крупнейшего промышленного города в Самарском регионе. Сконструирована математическая модель для объекта, промышленно-экономической системы г.о. Самара, позволяющая оценить динамику величины загрязнения атмосферы с учетом развития промышленного производства. Проведен анализ значений факторных эластичностей математической модели. Предложены рекомендации по повышению экономической и экологической эффективности функционирования объекта, системы г.о. Самара.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, загрязнение атмосферы, экологическая эффективность, производственная функция.

**Ivanova D.V., Gavrilova A.A., Salov A.G., Mathematical modelling of environment efficiency of activity for manufacturing and economic systems on municipal level.** – In the paper the process and problems of environment efficiency of activity of largest industrial city in Samara region are considered. The mathematical model for manufacturing and economic system of Samara city has been built, which allows to assess the dynamic of the air pollution value considering the industry development. Analysis of values of mathematical model's factor elasticities was carried out. Recommendations on the management for enhancing the economic and environment efficiency of object's activity, system of Samara city, are given.

*Key words:* mathematical modeling, air pollution, environment efficiency, production function.

### ВВЕДЕНИЕ

Экономическое благополучие общества возможно без регулирования техногенного воздействия на окружающую среду. Для улучшения качества воздуха в городах производству необходима модернизация, на стимулирование этого процесса направлена государственная политика в сфере охраны окружающей среды, в т.ч. повышение платы за нормативные и сверхнормативные выбросы вредных веществ в окружающую среду. В рамках принятых законодательством мер осуществления программ экологического контроля с 2020 года плата за сверхнормативные выбросы будет увеличена в

4 раза, а также в ближайшее время на ответственных предприятиях промышленности будет необходимо устанавливать системы автоматического контроля выбросов (Лебедева, 2009; Государственная программа..., 2011).

Таким образом, актуальным является исследование экологической эффективности промышленно-экономических систем (ПЭС) муниципального уровня. На примере г.о. Самара исследуем функционирование систем муниципального уровня. Городской округ Самара представляет собой промышленно-экономическую систему (ПЭС), являясь крупнейшим промышленным центром Среднего Поволжья. В целях государственного регулирования воздействия производственной деятельности на экологию, в г.о. Самара ежедневно осуществляются наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха, определяются концентрации вредных примесей (Дилигенский

---

Салов Алексей Георгиевич, доктор технических наук, доцент; Гаврилова Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент; Иванова Дарья В., аспирант

и др., 2005; Государственные доклады..., 2002-2017).

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Г. О. САМАРА

Используя статистические данные, рассмотрим динамику величин концентраций в атмосфере ПЭС г.о. Самара наиболее вредных веществ: формальдегида, аммиака, бенз(а)пирена, углеводородов, рисунок 1. На протяжении последних лет каждый бизнес-проект, принятый к реализации, предусматривает затраты на сни-

жение вредных выбросов от вновь вводимых производственных мощностей. Несмотря на это, анализ выбросов показывает, что основные составляющие загрязнения до настоящего времени превышают допустимые значения в ПДК. По сравнению с 2012 годом загрязнение атмосферы снизилось, г.о. Самара переместился из градации с «высоким» в градацию с «низким» загрязнением атмосферы, однако основной причиной для этого является пересмотр нормативов ПДК (Государственные доклады 2002-2017).

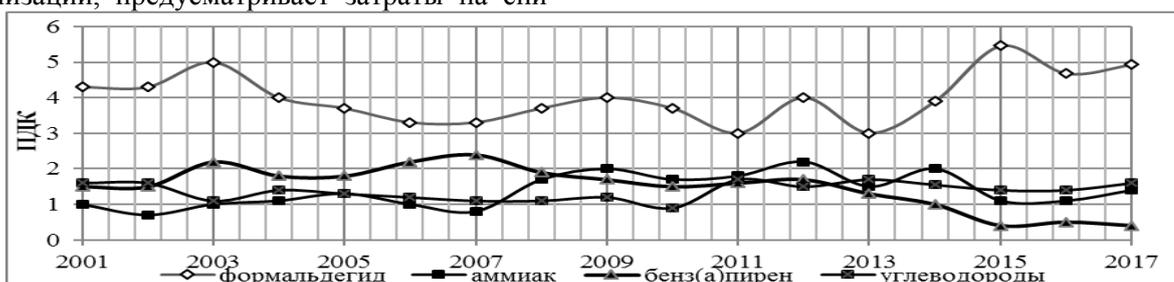


Рис 1. Величина загрязнения атмосферного воздуха г.о. Самара выбросами вредных веществ в период 2001-2017 гг. относительно норм предельно допустимых концентраций (ПДК) отдельно для каждого вещества

### МОДЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЭС Г. О. САМАРА

Для исследования экологической эффективности функционирования ПЭС г.о. Самара используем модельный анализ зависимости в форме производственных функций типа Кобба-Дугласа (ПФ), которые позволяют определить количественные связи и зависимости между входными и выходными параметрами промышленно-экономических систем. Представим в качестве выходной величины обобщенный экологический параметр  $V_b$ , характеризующий величину загрязнения атмосферы города, в виде суммы концентраций наиболее вредных веществ – формальдегида, аммиака, бенз(а)пирена, углеводородов – в атмосферном воздухе. Проанализируем влияние входных параметров производственно-экономических характеристик функционирования ПЭС г.о. Самара: величины выпуска продукции  $H$ , объема основных фондов  $K$ , объема финансирования экологических мероприятий  $C$  на экологический параметр  $V_b$  с помощью математической модели в виде [5], [6], [7] (Гаврилова А.А. и др., 2012; Салов А.Г. и др., 2013; Гаврилова А.А. и др., 2015):

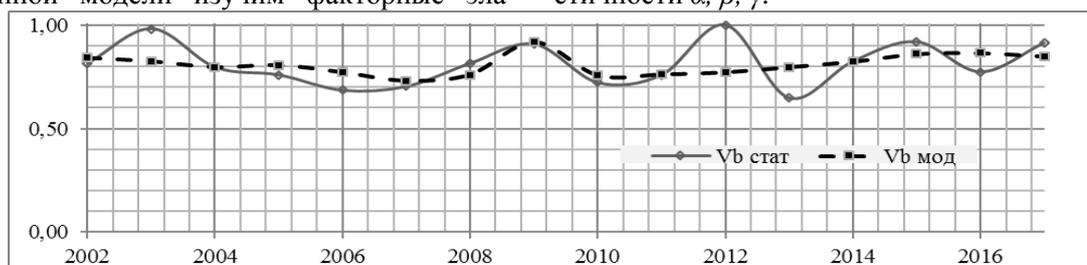
$$V_b(t) = AH(t)^\alpha C(t)^\beta K(t)^\gamma \quad (1),$$

где  $A$  – масштабный коэффициент,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – коэффициенты эластичности, являющиеся функциями логарифмической чувствительности величины  $V_b$  к изменению соответствующих входных величин:  $H$ ,  $C$ ,  $K$ .

Идентифицируем значения параметров модели (1) методом наименьших квадратов (МНК) по статистическим данным функционирования ПЭС г.о. Самара. Качество сконструированной модели оценим по показателям:  $t$ -критерию Стьюдента,  $F$ -критерию Фишера, коэффициент детерминации  $R^2$ , среднеквадратичному отклонению  $\delta$ , критерию Дарбина-Уотсона  $DW$  (Гаврилова А.А. и др., 2015). Сопоставление модельных и статистических характеристик функционирования ПЭС приведены в относительных единицах на рисунке 2.

Результаты идентификации ПФ (1) показывают, что сконструированная математическая модель адекватно характеризует функционирование ПЭС. Коэффициент детерминации  $R^2$ , значимый по статистике Фишера, принял значение 0,81. Величина критерия  $DW=2,68$  свидетельствует об отсутствии автокорреляции остатков, следовательно, модельная зависимость обладает высокими прогнозными свойствами. Все идентифицированные параметры трехфакторной модели значимы по критерию Стьюдента. На базе построенной и идентифи-

цированной модели изучим факторные эла- стичности  $\alpha, \beta, \gamma$ .



**Рис. 2. Динамика изменения величины загрязнения атмосферного воздуха г.о. Самары выбросами вредных веществ в период 2002-2017 гг.:  $V_b$  стат – статистические,  $V_b$  мод – модельные данные**

Значение факторных эластичностей  $\alpha=1,27$  указывает на существенное влияние изменения величины выпуска продукции  $H$  на экологический показатель  $V_b$ . Значения коэффициента  $\beta=-0,06$  свидетельствует о положительном, но крайне низком влиянии увеличения финансирования экологических мероприятий на экологический параметр. Для повышения эффективности инвестиций в экологию необходимо кардинальное увеличение их таким образом, чтобы коэффициент эластичности  $\beta$  имел отрицательное значение близкое к -1.

Коэффициент  $\gamma$  положителен и свидетельствует о том, что увеличение величины основных фондов хозяйствующих объектов на 1% увеличивает величину загрязнения атмосферы вредными веществами на 0,70%. Таким образом, рост объемов промышленного производства города значительно и более других факторов приводит к росту загрязнений атмосферного воздуха (Салов А.Г. и др., 2013). В условиях многократного превышения концентрации вредных веществ в атмосфере городского округа такое положение является неприемлемым.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целях исследования экологического функционирования крупнейшего промышленного города Самарской области сконструирована математическая модель, позволяющая оценить динамику величины загрязнения атмосферы с учетом развития промышленного производства. Анализ значений факторных эластичностей показал, что рост объемов промышленного производства города значительно и более других факторов приводит к росту загрязнений воздушного бассейна. Для снижения содержания вредных веществ в атмосфере наряду с модернизацией производства следует кардинально

изменить политику финансирования экологии, располагать новые производства в более экологически благоприятных районах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Гаврилова А.А., Саксонова В.В.** Системный анализ мониторинга экологической обстановки в муниципальном образовании // Интеллект, инновации, инвестиции. 2012. № 3. С. 101-106.

**Гаврилова А.А., Салов А.Г., Иванова Д.В.** Исследование экономических характеристик регионального промышленного комплекса методами статистического и модельного анализа // Научное обозрение. 2015. № 15. С. 327-333.

**Государственная программа** Самарской области «Охрана окружающей среды Самарской области на 2014-2020 годы», утверждена Постановлением Правительства Самарской области от 27 ноября 2011 года № 668 ([http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_162183/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_162183/)).

**Государственные доклады** «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Самарской области», 2002-2017 гг. ([http://www.priroda.samregion.ru/environmental\\_protection/state\\_report/](http://www.priroda.samregion.ru/environmental_protection/state_report/)).

**Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цепенко М.В.** Построение и идентификация математических моделей производственных функций. Самара: Офорт, 2005. 126 с.

**Лебедева Е. А.** Охрана воздушного бассейна от вредных технологических и вентиляционных выбросов: учебное пособие. Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. 196 с.

**Салов А.Г., Гаврилова А.А., Иванова Д.В.** Планирование инвестиций в промышленный комплекс Самарской области по результатам модельного анализа экологической обстановки региона // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: Материалы 70-й юбилейной Всерос. науч.-техн. конф. по итогам НИР 2012 года Ч. 2. Самара: СГАСУ, 2013. С. 239-243.