

4. Князева, О.В. Использование автоматизированной информационной системы в деятельности заместителя директора по учебно-воспитательной работе / О.В. Князева // Вестник Марийского государственного университета. 2010. №5. - режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-avtomatizirovannoy-informatsionnoy-sistemy-v-deyatelnosti-zamestitelya-direktora-po-uchebno-vospitatelnoy-rabote>

**УДК 004.8**

## **КОМБИНИРОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Козаков О.Д.**

Брянский государственный инженерно-технологический университет,  
Россия, г. Брянск

**Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ. Проект 18-41-32003 р\_а «Математическое моделирование социально-экономического развития региона в системах поддержки принятия решений с использованием адаптивных методов машинного обучения и имитационного моделирования в условиях неопределённости».**

***Аннотация.** В статье, на примере системной динамики, представлена методика применения методов машинного обучения в имитационном моделировании экономических систем. Описана возможность замены структурного уравнения имитационной модели на обученную модель векторной регрессии. В работе использована программная библиотека PySD для языка Python. Представленные результаты могут быть использованы в системах поддержки принятия решений для управления экономическими системами.*

***Ключевые слова:** Машинное обучение, имитационное моделирование, экономические системы, векторная регрессия.*

## **THE COMBINATION OF MACHINE LEARNING AND SIMULATION IN THE STUDY OF ECONOMIC SYSTEMS**

**Kozakov O.D.**

Bryansk State Engineering and Technological University, Russia, Bryansk

***Annotation.** The article, using system dynamics as an example, presents a methodology for applying machine learning methods in the simulation of economic systems. The possibility of replacing the structural equation of the simulation*

*model with a trained model of vector regression is described. The work uses the PySD program library for the Python language. The presented results can be used in decision support systems for managing economic systems..*

**Keywords:** *Machine learning, simulation, economics, support vector machine.*

В рамках исследования возможности применения методов машинного обучения в имитационном моделировании экономических систем авторами разработана системно-динамическая модель зависимости производительности труда от динамики невыполненных заказов/услуг (рисунок 1). Для разработки модели использована программная библиотека PySD для языка Python

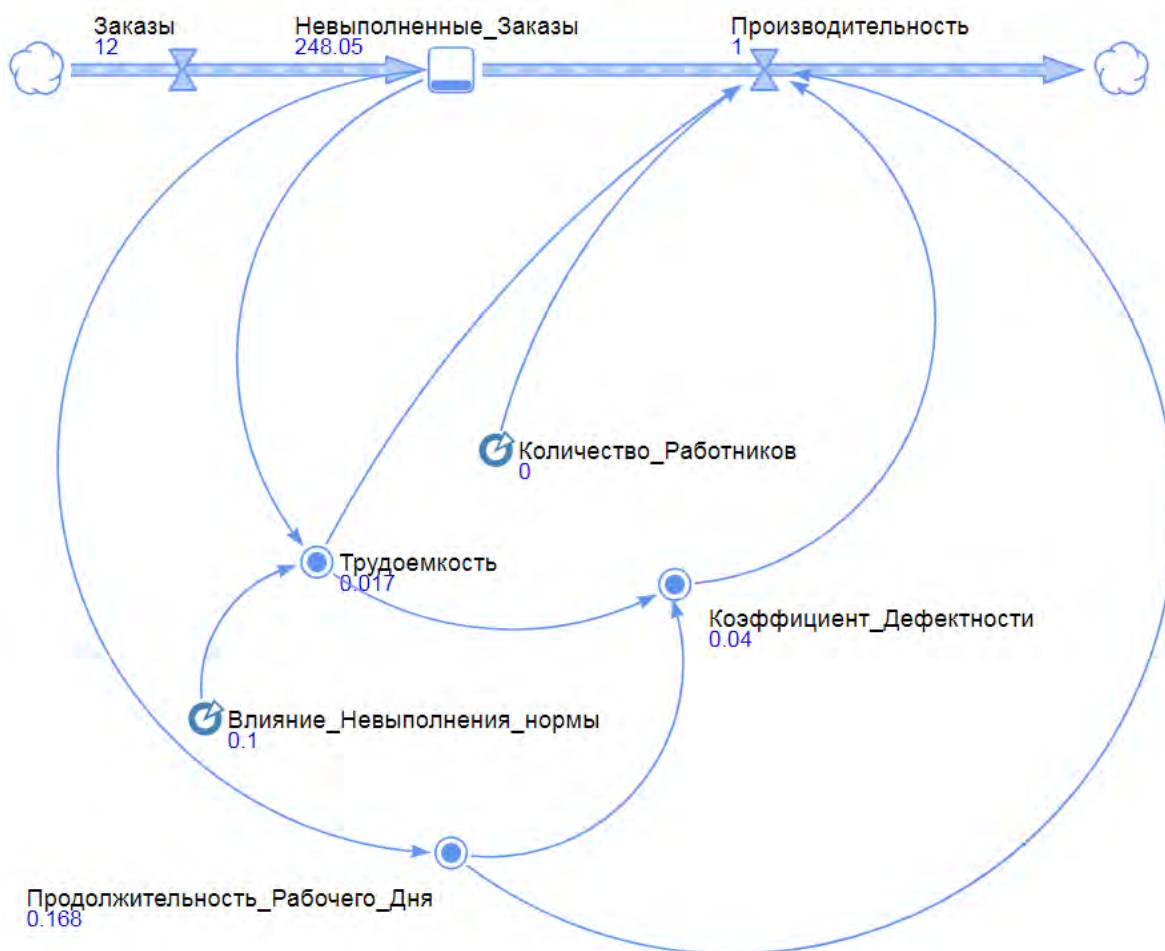


Рисунок 1 – Системно-динамическая модель зависимости производительности труда от динамики невыполненных заказов/услуг

Экономическая система реагирует на невыполнение заказов/услуг, увеличивая рабочий день сотрудников и повышением норм их выработки в контексте производства. Мы отмечаем, что доля бракованной продукции, произведенной сотрудником во время его смены, зависит как от времени, выделенного для выполнения задачи, так и от продолжительности рабочего дня.

Предполагается, что в MES –системе собираются данные о рабочем дне, времени выполнения задачи и количестве браков по каждому работнику за каждую смену:

Рабочий день (workday)	Трудоемкость (Time_Per_Task)	Коэффициента дефектности (Defect_Rate)
0.168	0.039	0.022
0.271	0.033	0.040
...	...	...
0.400	0.402	0.024

В этом случае мы видим, что частота дефектов не является линейной функцией двух переменных, существует некоторый эффект сложения, который приводит к неизвестной и неотделимой функциональной форме для частоты дефектов как функции рабочего дня и трудоемкости производства единицы продукции (Рисунок 2).

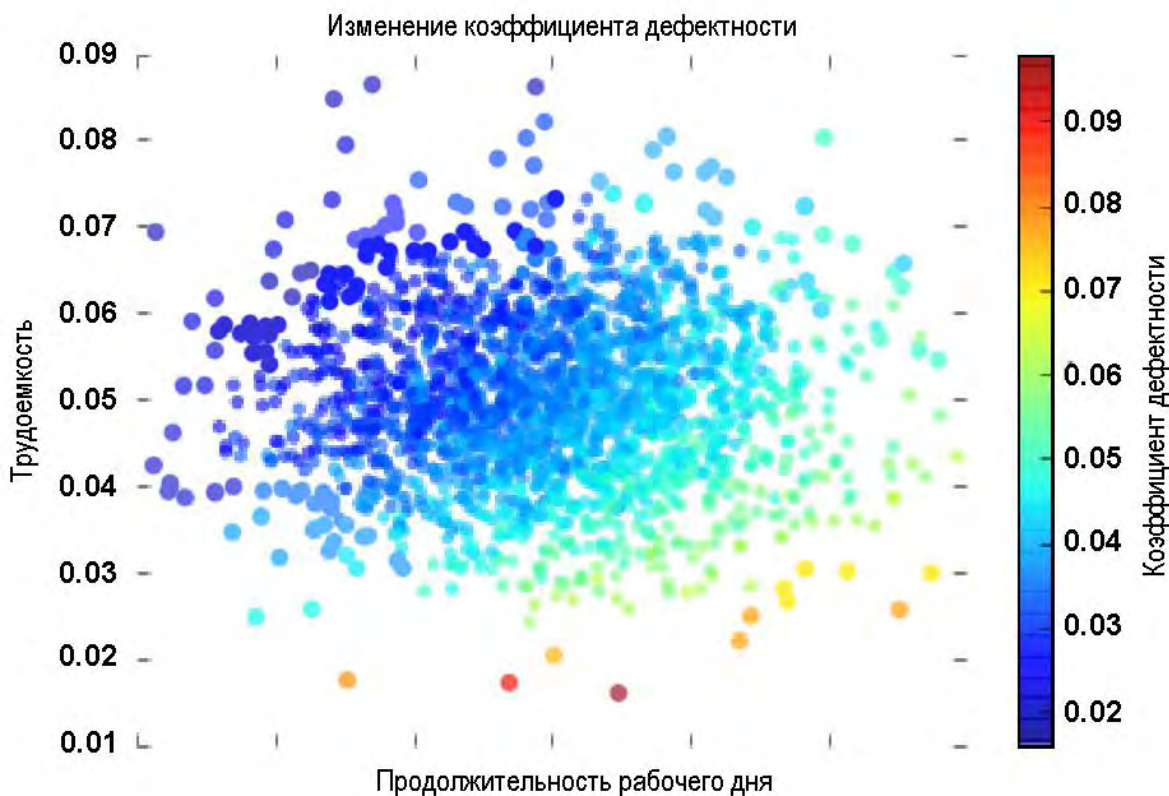


Рисунок 2 – Зависимость частоты дефектов от рабочего дня и трудоемкости производства единицы продукции

Для того, чтобы учесть это в нашей модели мы можем заменить уравнение для коэффициента дефективности предикативной моделью, обученной на алгоритме с поддержкой векторной регрессии. Для этого воспользуемся библиотекой Scikit-Learn. Эта регрессия машинного обучения

использует рабочий день и время на единицу в качестве факторов (Листинг 1)

#### Листинг 1

```
[17] from sklearn.svm import SVR
      regression = SVR()
      regression.fit (Factors,Outcome)
```

Создадим функцию для сопряжения регрессии с нашей моделью системной динамики, а затем подставляем ее в исходное уравнение дефекта (Листинг 2).

#### Листинг 2

```
[18] def new_defect_function():
      workday = model.components.length_of_workday()
      time_per_task = model.components.time_allocated_per_unit()
      return regression.predict([workday, time_per_task])[0]
      model.components.defect_rate = new_defect_function
```

В качестве следующего шага в нашем процессе моделирования мы могли бы изменить влияние, которое отставание оказывает на скорость и сверхурочные, чтобы оптимизировать функцию потерь на основе стоимости дефектных деталей и переноса невыполненных заказов.

### Библиографический список

1. Kazakov, O D. Mathematical modeling of the using of the innovative intermediate products at the stage of production of gross regional product / O D Kazakov, S. P. Novikov, N A. Afanasyeva // Journal of Physics Conference Series 1050 (2018) 012060
2. Kazakov, OD Machine learning in the analysis of medical data / O D Kazakov, AV Averchenkov, NY Kulagina // Journal of Physics Conference Series, 1210 (2019) 012061