

п р и к л а д н а я

# ИНФОРМАТИК@

научно-практический журнал

Journal of Applied Informatics

Том 12. №5 (71). 2017

ISSN 1993-8314



УНИВЕРСИТЕТ  
СИНЕРГИЯ | ИЗДАТЕЛЬСКИЙ  
ДОМ

П Р И К Л А Г Н А Я

# ИНФОРМАТИК@

научно-практический  
журнал

Том 12. №5 (71). 2017

Сентябрь – Октябрь

ISSN 1993-8314

Университет «Синергия»

Журнал включен в Перечень ведущих периодических изданий, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

### Главный редактор

**Емельянов А. А.**, докт. экон. н., проф., Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Национальное общество имитационного моделирования, Санкт-Петербург

### Сопредседатели редакционного совета

**Рубин Ю. Б.**, докт. экон. н., проф., чл.-корр. РАН, ректор Университета «Синергия», зав. кафедрой Теории и практики конкуренции

**Мешалкин В. П.**, докт. техн. н., проф., академик РАН, директор Института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики, РХТУ им. Д. И. Менделеева

### Члены редакционного совета

**Брекис Эд.**, докт. экон. н., оес., ассоциированный проф., зав. кафедрой Эконометрики и бизнес-информатики, Латвийский Университет, Рига, Латвия

**Волкова В. Н.**, докт. экон. н., проф., кафедра Системного анализа и управления Института информационных технологий и управления, СПбГПУ

**Дли М. И.**, докт. техн. н., проф., зав. кафедрой МИТЭ, зам. директора Филиала НИУ «МЭИ» в Смоленске

**Козлов В. Н.**, докт. техн. н., проф., зав. кафедрой Системного анализа и управления Института информационных технологий и управления, СПбГПУ

**Краковский Ю. М.**, докт. техн. н., профессор, кафедра Информационных систем и защиты информации, Иркутский государственный университет путей сообщения

**Пецольдт К.**, докт. экон. н., проф., проректор по международному сотрудничеству с Восточной Европой, Технологический Университет Ильменау, Германия

**Росс Г. В.**, докт. техн. н., докт. экон. н., проф., академик РАН, кафедра «Системный анализ в экономике», Финансовый университет при Правительстве РФ

**Стоянова О. В.**, докт. техн. н., доцент, кафедра Информационных систем в экономике, СПбГУ

**Сухомлин В. А.**, докт. техн. н., проф., зав. лабораторией Открытых информационных технологий, факультет ВМК, МГУ им. М. В. Ломоносова

**Халин В. Г.**, докт. экон. н., проф., зав. кафедрой Информационных систем в экономике, Экономический факультет СПбГУ

**Шорилов А. Ф.**, докт. физ.-мат. н., проф., кафедра Прикладной математики УралЭНИН, Уральский Федеральный Университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина

**Штельцер Д.**, докт. техн. н., reg. pol., проф., Глава Департамента информации и управления знаниями, Технологический Университет Ильменау, Тюрингия, Германия

**Юсупов Р. М.**, докт. техн. н., проф., чл.-корр. РАН, директор Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, президент Национального общества имитационного моделирования «НОИМ»

### Заместители главного редактора

**Власова Е. А.**, научная редакция Университета «Синергия»

**Прокимов Н. Н.**, канд. техн. н., доцент, кафедра Информационных систем, Университет «Синергия»

Журнал выходит с 2006 г. Периодичность издания — 6 раз в год.

Журнал индексируется в российских и зарубежных базах научной периодики eLIBRARY (РИНЦ), Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, ВИНТИ, Ulrich's Periodicals Directory

Учредитель и издатель: Негосударственное образовательное частное учреждение высшего образования «Московский финансово-промышленный университет «Синергия»

Адрес редакции и издателя:

129090, Москва, ул. Мещанская, д. 9/14, стр.1 (юр.)  
125190, Россия, Москва, Планетная ул., д. 36, оф. 301, 302.

Тел.: +7 (495) 987-43-74 (доб. 33-04); e-mail: appliedinformaticsjournal@gmail.com; www.appliedinformatics.ru

© Университет «Синергия»

2017»

ережения  
пуженный

рофессор.

e.

наук

и. 332.

# a p p l i e d INFORM@TICS

Peer-reviewed scientific journal

Vol. 12. No. 5 (71). 2017

ISSN 1993-8314

September – October

Synergy University

## EDITORIAL BOARD

### Editor-in-Chief

**A. Emelyanov**, Dr of Economics, Professor, National Research University MPEI; Executive board member of NC «National Society for Simulation Modelling», St. Petersburg

### Co-Chairs of the Editorial Board

**Yu. Rubin**, Dr of Economics, Professor, Corresponding Member of the Russian Education Academy, Head of the Theory and Practice of Competition Chair, Rector of the Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

**V. Meshalkin**, Dr of Technique, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences (RAS), Director of the Institute of Logistics and Resource Technology Innovation, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

### Members of the Editorial Board

**Ed. Brēķis**, Dr. Ec., Assoc. professor, Head of The Econometrics and Business Informatics Chair, Faculty of Economics and Management, Rīga, University of Latvia

**M. Di**, Dr of Technique, Professor, Head of The MITE Chair, Deputy Director of the National Research University MPEI Branch in Smolensk

**V. Hulin**, Dr of Economics, Professor, Head of The Economic Information Systems Department, St. Petersburg State University

**V. Kozlov**, Dr of Technique, Professor, Head of System analysis and management Chair, Institute of Information technologies and management, St. Petersburg State Polytechnical University

**Krakovskiy Yu.**, Dr of Technique, Professor, Information Systems and Information Security Department, Irkutsk State Railway Transport Engineering University

**K. Pezoldt**, Dr of Economics, Professor, Deputy Rector for International Cooperation with Eastern Europe, Ilmenau University of Technology, Germany

**G. Ross**, Dr. of Technique, Dr. of Economics, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences (RANS), System Analysis in Economics Department, Financial University under the Government of the Russian Federation

**A. Shorikov**, Dr. of Physics & Mathematics, Professor of The Applied Mathematics Chair, Ural Power Institute of El'cin Ural Federal University (Ekaterinburg)

**O. Stoyanova**, Dr. of Technique, Assoc. Professor, Economic Information Systems Department, St. Petersburg State University

**V. Sukhomlin**, Dr of Technique, Professor, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University

**D. Stelzer**, Dr., rer. pol., Professor, Head of The Information and Knowledge Management Department of Ilmenau University of Technology (TU Ilmenau), Germany

**V. Volkova**, Dr of Economics, Professor, System analysis and management Chair, Institute of Information technologies and management, St. Petersburg State Polytechnical University

**R. Yusupov**, Dr of Technique, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences (RAS), Director of the Saint Petersburg RAS Institute of Informatics and Automation, President of NC «National Society for Simulation Modeling», St. Petersburg

### Deputy Chief Editors

**E. Vlasova**, Scientific Edition Department, Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

**N. Prokimnov**, PhD in Technique, Associate Professor, the Information Systems Chair, Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

Published since 2006. Periodicity: six times a year.

The journal is indexed in

Russian Science Citation Index (RSCI) on Web of Science platform, VINITI (Russian Academy of Sciences), Ulrich's Periodicals Directory

**Publisher: Moscow University for Industry and Finance «Synergy»**

Publisher address: 9/14 s.1, Meshchanskaya str., Moscow, 129090, Russia

Editorial office address: of. 301; 36, Planetnaya st., Moscow, 125319, Russia

Tel: +7 (495) 987-43-74 (ext. 33-04); e-mail: appliedinformaticsjournal@gmail.com; www.appliedinformatics.ru

© Moscow University for Industry and Finance «Synergy»

ПРИКЛАД

ИТ-БИЗН

Информа

Е. В. Роман

Теоретиче  
разработк  
элементов

ИТ-МЕНЕ

Управлен

Д. С. Курен

Построени  
на основе  
в системе

ИНСТРУМ

Модели и

В. В. Байне

Иерархиче  
реализаци  
оптически

В. А. Чекан

Программе  
эффективн  
для задач  
различной

Сетевые

Ю. Н. Лавре

Адаптивно  
системой п  
нейронной  
элементам

► Читайте

*Д. С. Куренной, аспирант кафедры исследования операций факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, dima-kurennoy@yandex.ru*

*Д. Ю. Голембиовский, докт. техн. наук, профессор кафедры исследования операций факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М. В. Ломоносова, профессор кафедры банковского дела Московского финансово-промышленного университета «Синергия», г. Москва, golemb@cs.msu.ru*

## Построение сценариев дефолта предприятий на основе системно-динамических моделей в системе insightmaker

Статья посвящена построению системно-динамических моделей кредитного риска предприятий торговой и сельскохозяйственной отраслей российской экономики. Данное исследование демонстрирует возможность использования системно-динамических моделей для определения макроэкономических сценариев, приводящих к дефолту компании. Реализация моделей осуществляется в системе insightmaker.

**Ключевые слова:** системная динамика, insightmaker, кредитные риски, обратное стресс-тестирование, управление рисками, имитационное моделирование.

### Введение

В настоящее время одной из основных процедур, рекомендованных банкам для оценки рисков, является обратное стресс-тестирование [6, 9, 14, 15], которое заключается в построении сценариев, приводящих к определенному уровню финансовых потерь. Знание таких сценариев позволяет банкам смягчить последствия их реализации.

В контексте кредитного риска обратное стресс-тестирование [5, 8], в частности, дает возможность выявить макроэкономические условия, способные привести к заданному уровню потерь кредитного портфеля. Однако модели оценки кредитного риска [7], распространенные на данный момент времени, не приспособлены для решения задач обратного стресс-тестирования. Известные модели не учитывают структуру конкретных компаний, не позволяют исследовать развитие кри-

зисных явлений во времени и предполагают наличие большой выборки данных об аналогичных предприятиях.

Данная работа демонстрирует возможность использования системно-динамических моделей для определения макроэкономических сценариев, приводящих к дефолту заемщика [11]. С помощью основных инструментов системной динамики компания представляется в виде системы непрерывно взаимодействующих элементов и внешних параметров. Связи между элементами представляются функциональными зависимостями и дифференциальными уравнениями, совокупность которых задает динамику компании, определяя тем самым ее устойчивость по отношению к различным макроэкономическим сценариям.

Построение и анализ системно-динамических моделей в рамках данного исследования осуществлялись при помощи системы insightmaker. Она представляет собой веб-

среду моделирования, обладающую как простым графическим интерфейсом, обеспечивающим полноценную работу с системно-динамическими моделями, так и возможностью создавать макросы и скрипты, используя встроенный сценарный язык.

Статья имеет следующую структуру. Первый раздел посвящен изложению ключевых принципов системной динамики, лежащих в основе процедур построения и анализа системно-динамических моделей. Второй раздел разбит на две части, каждая из которых описывает системно-динамическую модель конкретного предприятия и сценарии его дефолта. Заключение содержит выводы об эффективности данных моделей в контексте обратного стресс-тестирования кредитного риска заемщиков.

### 1. Основные принципы системной динамики

Системная динамика была впервые предложена Джеймсом Форрестером в 1950-х гг. для анализа нестабильности рабочих мест в компании, с которой он сотрудничал. При помощи построенных моделей ему удалось показать, что главная причина колебаний рабочих мест была связана с внутренней структурой фирмы и не зависела от внешних факторов. После этого идея представления сложных объектов и явлений в виде системно-динамических моделей получила активное распространение, формальное описание и собственные средства компьютерного моделирования.

В настоящее время системная динамика продолжает развиваться и, обладая широким спектром эффективных методов и инструментов моделирования, позволяет из-

учать не только структуру, но и поведение во времени сложных систем различного рода. Классическими фундаментальными трудами, посвященными системной динамике, можно назвать книги Форрестера «Индустриальная динамика» [2], «Мировая динамика» [4] и «Динамика развития города» [3], раскрывающие применение подхода к моделированию города как динамической системы, а также работу Д. Стермана «Бизнес-динамика» [10].

Разработка системно-динамической модели предполагает описание структуры исследуемого объекта или явления в виде потоковых диаграмм, а также определение характеристик взаимодействия его различных частей. Представленная в такой форме модель уточняется при помощи компьютерной симуляции, тестирования различных гипотез о ее поведении и проверки построенных взаимосвязей на тестовых данных.

Основным способом описания системно-динамических моделей являются потоковые диаграммы. Ключевыми понятиями, на которых основана концепция данного представления, являются «потоки», «накопители», «связи», «обратные связи» и «вспомогательные переменные». Потоки определяют изменение состояния системы во времени. Накопители отражают текущее состояние системы и, аккумулируя определенный материальный или нематериальный фактор, изменяются вследствие влияния на них входящих и исходящих потоков. Таким образом, динамическое поведение системы, т. е. изменение системы во времени, возникает ввиду интегрирования потоков в накопителях. Простейшим примером взаимодействия потоков и накопителей может служить схема, изображенная на рис. 1.

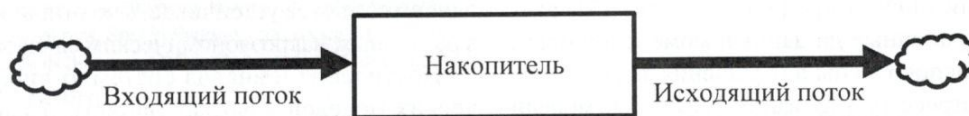


Рис. 1. Элементарная потоковая диаграмма, включающая в себя два потока и один накопитель

Состояние данных исследований. Потокам системы связаны с течением времени. Поток всегда

Потоки, частей, зависимо с, пом, но ча с другими, связей. Св на поток с ров, при э зависимым определен от других: ражается в Накопители (потом) изменение. П имеет след претацию:

$$S(t) = \int_{t_0}^t S_+ dt$$

где  $S_+$  ( $x_1, \dots$ ) - значение входящего потока в момент времени  $t$ . То же самое для исходящего потока.

$$\frac{dS}{dt} = S_+ - S_-$$

$$= S_+$$

Существование обратных связей. Они могут возникнуть через обратных



$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|\hat{y} - y|}{y},$$

где  $y$ ,  $\hat{y}$  — фактические и модельные данные.

Соответствие рассматриваемых в данной статье моделей поведенческим и структурным критериям обосновывается в ходе описания моделей и анализа полученных для них результатов.

## 2. Среда моделирования insightmaker

Распространение системно-динамического подхода к решению различных прикладных задач способствует появлению и развитию средств имитационного моделирования, одним из которых является веб-среда разработки insightmaker<sup>1</sup>. Она была представлена публике в 2009 г. и получила популярность благодаря наличию интуитивно понятного графического интерфейса, с помощью которого можно строить модели различной сложности, не обладая специальными знаниями в области программирования. Кроме того, данная система содержит расширенные средства моделирования для специалистов, позволяющие создавать скрипты на основе встроеного сценарного языка и решать оптимизационные задачи.

В основе графического интерфейса лежат три основных компонента: панель инструментов, панель конфигурации и рабочее поле. Рабочее поле предназначено для отображения потоковой диаграммы конструируемой системно-динамической модели. Панель конфигурации позволяет задавать базовые свойства элементов системы. Панель инструментов содержит основные средства управления моделью. Они определяют ключевые свойства модели и обеспечивают возможность детального редактирования ее по-

<sup>1</sup> Среда веб-моделирования Insightmaker. [URL: <https://insightmaker.com/>].

токовой диаграммы. Также важным элементом являются всплывающие окна, с помощью которых задаются расширенные свойства отдельных элементов модели. Данные свойства могут описываться скриптами и иметь сложную структуру.

Результаты моделирования в системе insightmaker представимы в виде диаграмм, графиков и таблиц, позволяющих наблюдать изменение различных элементов рассматриваемой модели во времени. При этом полученные результаты могут быть экспортированы в файлы стандартных типов, что обеспечивает возможность использования их в специальных системах анализа данных и пакетах прикладных программ.

## 3. Системно-динамические модели предприятий

В данном разделе описывается реализация системно-динамических моделей предприятий. Осуществляется построение макроэкономических сценариев, при реализации которых обнуляется накопитель, представляющий денежные средства предприятий.

### 3.1. Компания «Арома»

Основной деятельностью компании «Арома»<sup>2</sup> является импорт алкоголя из стран Европы, Океании, Южной и Северной Америки. Наибольший объем продукции компания поставляет различным сетям супермаркетов, а часть продаж осуществляет через собственную торговую сеть. Следует отметить, что компания с некоторого времени занимается первичной переработкой винома- териалов и производством алкоголя, однако эта деятельность приносит ей не более трех процентов от общего объема готовой для продажи продукции, поэтому не является существенным элементом модели и выражается в виде константы.

<sup>2</sup> Компания «Арома». URL: <http://aroma.ru/> (дата обращения 21.06.17).

Основн  
разделить  
(дорогих  
алкоголь)  
и «Шамп  
соотноше  
варов ука  
нове фин  
за 2015 г.  
на приобр  
выделяем  
коголя и ш  
ственно. I  
осущест  
может ре  
вых сорто  
делах в за  
лара к руб  
зом, доли  
( $d^2$ ) вина  
стоянные

+  
+ 0.

Форму  
( $D^1$ ) и де  
вина, име

+  
+ 0.

Данны  
согласно к  
пания сни  
водит част  
гих на вн  
мым свою  
курса дол  
ным за сче  
вого алког  
считается

важным элемен-  
та, с помощью  
ые свойства от-  
анные свойства  
и иметь слож-

ния в системе  
виде диаграмм,  
щих наблюдать  
тов рассматри-  
При этом полу-  
ть экспортиро-  
пов, что обеспе-  
вания их в спе-  
нных и пакетах

ие

ется реализация  
елей предприя-  
ение макроэко-  
реализации кото-  
представляющий  
тий.

ью компании  
коголя из стран  
й и Северной  
ем продукции  
ным сетям су-  
осуществляет  
сеть. Следует  
того времени  
боткой винома-  
коголя, однако  
й не более трех  
готовой для про-  
является суще-  
и выражается

p://aroma.ru/ (дата

risk management

Основные товары предприятия можно разделить на следующие категории: «Вина» (дорогих и дешевых сортов), «Крепкий алкоголь» (дорогих и дешевых сортов) и «Шампанское» (игристые вина). Общие соотношения трат компании на закупку товаров указанных категорий выявлены на основе финансовой отчетности предприятия за 2015 г. и считаются неизменными: затраты на приобретение вина составляют 65% всех выделяемых на закупку средств, крепкого алкоголя и шампанского — 19% и 16%, соответственно. При этом считается, что компания, осуществляя закупку и продажу алкоголя, может регулировать доли дорогих и дешевых сортов напитков в фиксированных пределах в зависимости от колебаний курса доллара к рублю (далее — *dollar*). Таким образом, доли закупки дорогого ( $d_v^1$ ) и дешевого ( $d_v^2$ ) вина представляют собой кусочно-постоянные функции от курса доллара:

$$d_v^1 = 0,2 \cdot I(dollar > 80) + 0,25 \cdot I(65 < dollar \leq 80) + 0,3 \cdot I(dollar \leq 65), d_v^2 = 1 - d_v^1,$$

$$I(x \in X) = \begin{cases} 1, x \in X, \\ 0, x \notin X. \end{cases}$$

Формулы, описывающие доли дорогих ( $D_v^1$ ) и дешевых ( $D_v^2$ ) видов продаваемого вина, имеют следующий вид:

$$D_v^1 = 0,37 \cdot I(dollar > 80) + 0,33 \cdot I(65 < dollar \leq 80) + 0,3 \cdot I(dollar \leq 65); D_v^2 = 1 - D_v^1.$$

Данные выражения описывают принцип, согласно которому в кризисной ситуации компания снижает закупку дорогих вин и переводит часть дешевых вин в категорию дорогих на внутреннем рынке, повышая тем самым свою устойчивость к резким колебаниям курса доллара. Это представляется возможным за счет наличия на внешнем рынке дешевого алкоголя, который на внутреннем рынке считается дорогим.

Доли закупаемых и продаваемых дорогих ( $d_{ka}^1, D_{ka}^1$ ) и дешевых сортов ( $d_{ka}^2, D_{ka}^2$ ) крепкого алкоголя вычисляются аналогично:

$$d_{ka}^1 = 0,2 \cdot I(dollar > 80) + 0,25 \cdot I(65 < dollar \leq 80) + 0,3 \cdot I(dollar \leq 65); d_{ka}^2 = 1 - d_{ka}^1;$$

$$D_{ka}^1 = 0,37 \cdot I(dollar > 80) + 0,33 \cdot I(65 < dollar \leq 80) + 0,3 \cdot I(dollar \leq 65); D_{ka}^2 = 1 - D_{ka}^1.$$

Основной характеристикой, определяющей конкретный тип (дорогой или дешевый) товара внутри каждой категории алкогольной продукции (вина и крепкого алкоголя), является соответствующая цена покупки или продажи. Динамика данных цен показана на рис. 10 и 11.

В терминах системной динамики общий запас готовой продукции является совокупностью трех накопителей: «Вино» ( $V$ ), «Крепкий алкоголь» ( $KA$ ) и «Шампанское» ( $Ch$ ). Данные накопители пополняются следующими потоками: «закупка вина дорогих сортов» ( $Z_v^1$ ), «закупка вина дешевых сортов» ( $Z_v^2$ ), «закупка крепкого алкоголя дорогих сортов» ( $Z_{ka}^1$ ), «закупка крепкого алкоголя дешевых сортов» ( $Z_{ka}^2$ ), «закупка шампанского» ( $Z_s$ ), «производство» ( $pr = 0,13$  млн дал.). Эти потоки показывают, какое количество (в млн декалитров) конкретной продукции приобретено в текущий момент, и могут быть представлены следующим образом:

$$Z_v^1 = d_v^1 \cdot 0,65 \cdot \overline{R_z} / C_v^{1Z};$$

$$Z_v^2 = d_v^2 \cdot 0,65 \cdot \overline{R_z} / C_v^{2Z};$$

$$Z_{ka}^1 = d_{ka}^1 \cdot 0,19 \cdot \overline{R_z} / C_{ka}^{1Z};$$

$$Z_{ka}^2 = d_{ka}^2 \cdot 0,19 \cdot \overline{R_z} / C_{ka}^{2Z};$$

$$Z_s = 0,16 \cdot \overline{R_z} / C_s^Z,$$

где  $\overline{R_z}$  — средства компании, выделяемые на приобретение алкогольной продукции и выраженные в долларах. Константы пока-



зывают, какая их часть идет на покупку вина — 65%, шампанского — 16% и крепкого алкоголя — 19%;  $C_v^{1Z}$ ,  $C_v^{2Z}$  — цены закупки вин дорогих и дешевых сортов;  $C_{ka}^{1Z}$ ,  $C_{ka}^{2Z}$  — цены закупки крепкого алкоголя дорогих и дешевых сортов;  $C_s^Z$  — цена закупки шампанского.

Снижают запасы готовой продукции потоки «продажа вина дорогих сортов» ( $P_v^1$ ), «продажа вина дешевых сортов» ( $P_v^2$ ), «продажа крепкого алкоголя дорогих сортов» ( $P_{ka}^1$ ), «продажа крепкого алкоголя дешевых сортов» ( $P_{ka}^2$ ), «продажа шампанского» ( $P_s$ ). Они показывают количество проданного товара конкретного типа в текущий момент времени. Соответствующие им формулы имеют вид:

$$P_v^1 = D_v^1 \cdot V, P_v^2 = D_v^2 \cdot V;$$

$$P_{ka}^1 = D_{ka}^1 \cdot KA, P_{ka}^2 = D_{ka}^2 \cdot KA, P_s = Ch.$$

Потоковая диаграмма, иллюстрирующая операционную деятельность компании, изображена на рис. 2. Финансовая по-

литика компании описывается при помощи потоковых диаграмм структур доходов, затрат и долга (рис. 3). Ключевым элементом финансовой части модели является накопитель «Средства в рублях» ( $M$ ), при равенстве нулю которого наступает дефолт компании (рис. 4). Потоки, пополняющие «Средства в рублях»: «Выручка» ( $B$ ), «Проценты к получению» ( $Q$ ), «Кредиты» ( $C^+$ ), «Прочие доходы» ( $L^+$ ).

Основным из них является «выручка», она представляет собой сумму произведений цен конкретного типа товара на его проданный объем. «Проценты к получению» пропорциональны части текущего значения накопителя «Средства в рублях», выражающей свободные средства компании и умноженной на соответствующую ставку (*rate*). «Кредиты» описываются кусочно-постоянной функцией от долга ( $W$ ), являющегося отдельным накопителем, который изображен на рис. 4. Подробное описание структуры взаимодействия приведено ниже. «Прочие доходы» пропорциональны объему продаж ( $P$ ) компании:

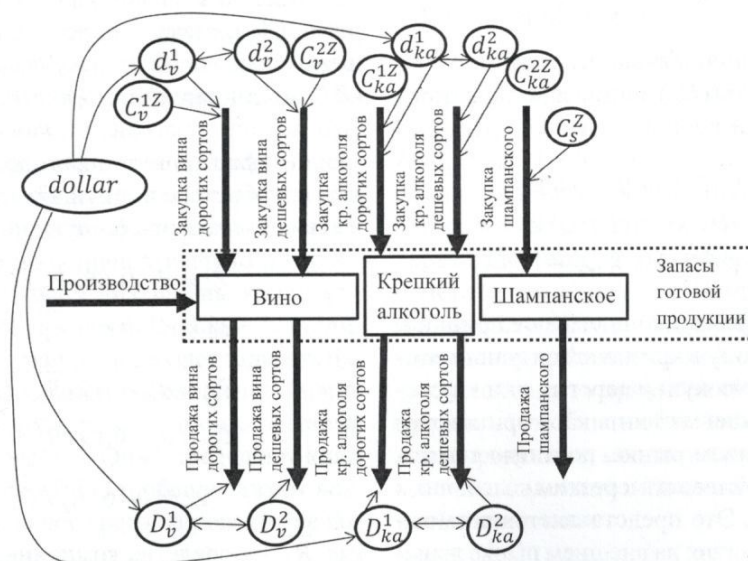


Рис. 2. Операционная деятельность компании «Арома»

$$\begin{aligned}
 B &= P_v^1 \cdot C_v^{1P} + P_v^2 \cdot C_v^{2P} + P_{ka}^1 \cdot C_{ka}^{1P} + \\
 &\quad + P_{ka}^2 \cdot C_{ka}^{2P} + P_s \cdot C_s^P, \\
 Q &= 0,2 \cdot M \cdot rate, \\
 \ln(L^+) &= 10,137 \cdot \ln(P) - 10,349, \\
 P &= P_v^1 + P_v^2 + P_{ka}^1 + P_{ka}^2 + P_s, \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C^+ &= 70 \cdot I(W > 500) + 90 \cdot I(400 < W \leq 500) + \\
 &\quad + 120 \cdot I(300 < W \leq 400) + 150 \cdot I(W \leq 300).
 \end{aligned}$$

В данных формулах  $C_v^{1P}$ ,  $C_v^{2P}$  обозначают цены продажи вин дорогих и дешевых сортов;  $C_{ka}^{1P}$ ,  $C_{ka}^{2P}$  — цены продажи крепкого алкоголя дорогих и дешевых сортов;  $C_s^P$  — цена продажи шампанского. В рамках данного исследования считается, что при резких изменениях курса доллара компания в целях обеспечения устойчивости своего финансового состояния может регулировать цены продаж алкогольной продукции в фиксированных пределах относительно среднерыночной цены товара конкретного типа.

Потоки, исходящие из накопителя «Средства в рублях», соответствуют основным затратам компании: «Коммерческие расходы» ( $Comm$ ), «Затраты на закупку», «Прочие затраты» ( $L^-$ ), «Проценты», «Дивиденды», «Погашение кредиторской задолженности» ( $C^-$ ), «Налог на прибыль».

В данной модели считается, что основная часть средств, которыми располагает компания, тратится на закупку импортируемых товаров, поэтому поток «Затраты на закупку» представляет собой 70% текущего значе-

ния накопителя «Средства в рублях». Поток процентов получается умножением долга на среднюю ставку по долговым обязательствам ( $rate_d$ ), которая формируется в специальном накопителе по следующему принципу:

$$rate_d = \int \frac{(C^+ \cdot rate_+ - C^- \cdot rate_-)}{W} dt,$$

где  $rate_-$  — ставка погашаемых кредитов,  $rate_+$  — ставка привлекаемых кредитов. «Налог на прибыль» и «Дивиденды» составляют 20% и 15% от прибыли и чистой прибыли, соответственно. Средняя ставка дивидендов получена на основе финансовой отчетности периода 2007–2015 гг. и считается постоянной. Поток погашения кредиторской задолженности имеет вид  $l \cdot W$ , где  $l$  — коэффициент погашения, вычисляемый по формуле:  $l = 0,4 \cdot I(W > 500) + 0,1 \cdot I(W \leq 500)$ . «Коммерческие расходы» пропорциональны объему закупок ( $Z$ ) компании, а «Прочие затраты» зависят от курса доллара:

$$\ln(Comm) = 1,944 \cdot \ln(Z) + 3,056, \quad (2)$$

$$\ln(L^-) = 2,104 \cdot \ln(dollar) - 3,548. \quad (3)$$

Структура долга компании представляется в форме накопителя с входящим потоком кредитов и исходящим потоком погашения кредиторской задолженности. Поточковая диаграмма, описывающая структуру заимствования, изображена на рис. 3, а полная диаграмма модели компании «Арома»



Рис. 3. Структура заимствования

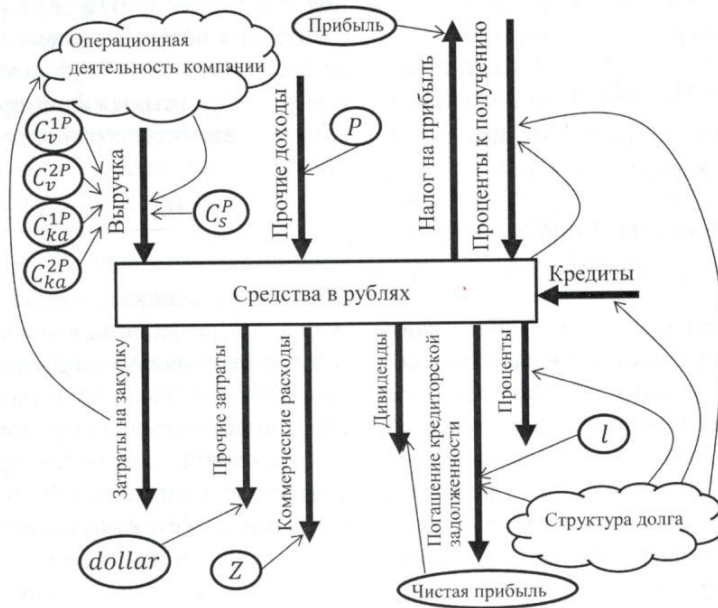


Рис. 4. Поточная диаграмма системно-динамической модели компании «Арома»

представлена на рис. 4. Отметим, что регрессии (1)–(3) построены на основе годовой финансовой отчетности рассматриваемого предприятия за период 2007–2015 гг., являются значимыми по критерию Фишера и имеют следующие показатели качества:  $R^2 \in [0,76; 0,92]$ ,  $p - value \leq 0,0035$ .

Для оценки адекватности построенной модели сравним графики поведения различных ее элементов (модельные кривые) с их реальной годовой динамикой (исторические кривые), начиная с 2007 г. и заканчивая 2015 г.<sup>3</sup>

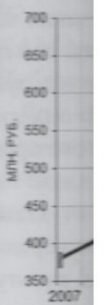
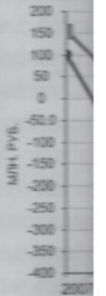
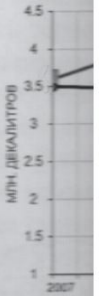
Рисунки 5–7 иллюстрируют точность моделирования операционного и финансового направлений деятельности компании. Основным показателем, определяющим количество имеющейся для продажи продукции, является объем закупок. Он изображен на рис. 5 и имеет тенденцию к снижению, связанную с невыгодной динамикой курса дол-

лара и уменьшением имеющихся для осуществления закупок средств.

Изменение валовой прибыли и долга определяет степень справедливости изложенного представления финансовой части построенной модели. Разница модельных и исторических данных в основном связана с отсутствием точной информации о ценах покупки и продажи товаров компании и простыми формулами расчетов потока кредитов и коэффициента погашения. Количественные характеристики для данных накопителей лежат в следующих пределах:  $R^2 \in [0,62; 0,93]$ ,  $MAPE \in [0,09; 0,12]$ .

Разорение компании происходит при равенстве нулю накопителя «Средства в рублях». Именно там хранятся накопления, направляющиеся на закупку новых товаров, а в случае критических ситуаций используемые для разрешения текущих проблем фирмы. В результате проведенных экспериментов был выявлен класс макроэкономических сценариев, начинающих действовать в 2016 г. и приводящих к дефолту описанной

<sup>3</sup> Исторические данные, представленные на рис. 5–7, получены при помощи информационной системы СПАРК (URL: <http://www.spark-interfax.ru/>).



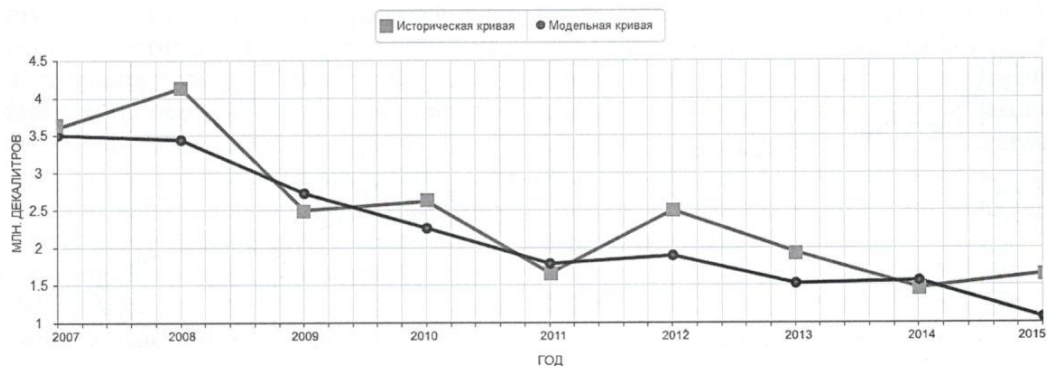


Рис. 5. Изменение годовых объемов закупок компании за период 2007–2015 гг.

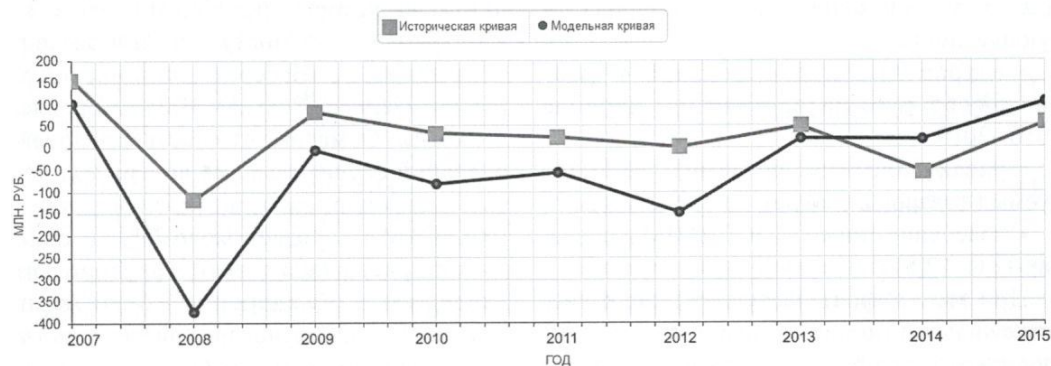


Рис. 6. Динамика годовой валовой прибыли компании за период 2007–2015 гг.

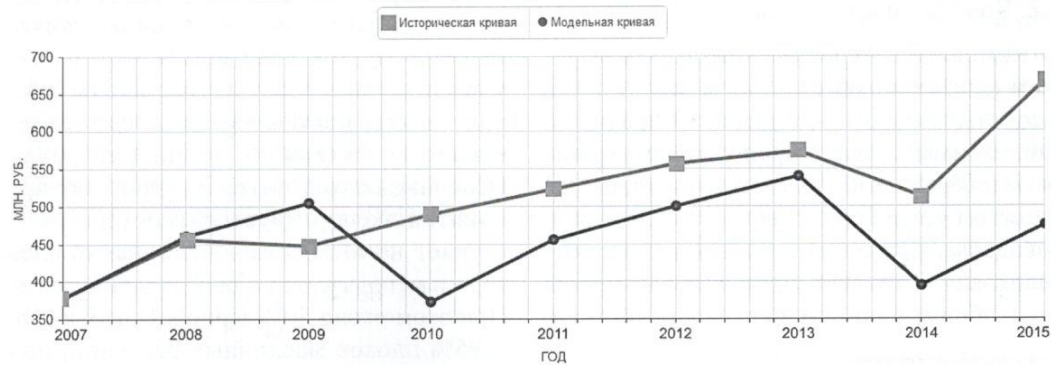


Рис. 7. Изменение долга компании за период 2007–2015 гг.

ома»

хся для осу-

ыли и долга

ивости изло-

ансовой ча-

нища модель-

в основном

информации

эваров компа-

расчетов по-

а погашения.

ки для данных

их пределах:

0,12].

ходит при ра-

едства в руб-

копления, на-

вых товаров,

дий использу-

ющих проблем

ных экспери-

акроэкономи-

х действовать

пу описанной

sk management

IT-менеджмент ► Управление рисками

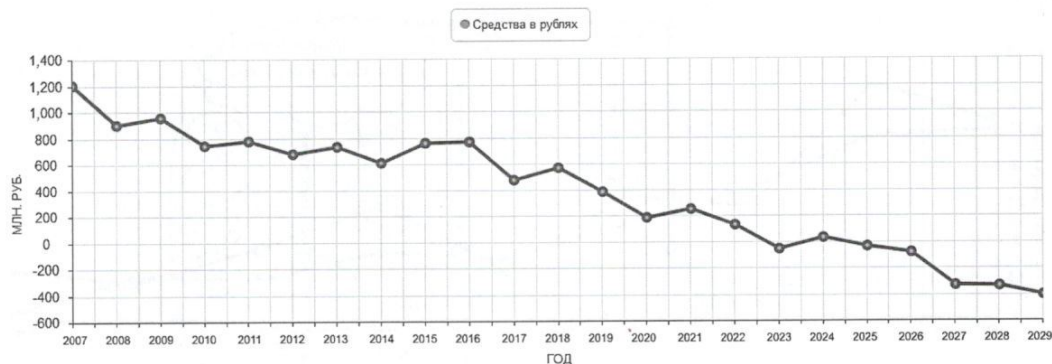


Рис. 8. Динамика накопителя «Средства в рублях». Сценарий дефолта компании «Арома»

модели в 2022 г. Основным внешним параметром в данном случае является курс доллара. Для построенных сценариев характерна следующая динамика:

- сохранение курса доллара в районе 63–65 руб. на протяжении периода 2016–2019 гг.;
- увеличение закупочных цен импортруемых товаров в среднем на треть к 2022 г.;
- колебание ставки МОСПРАЙМ в пределах 11,8–12,5%.

При этом дефолт наступает даже с учетом существенного роста цен. Рисунок 8 иллюстрирует изменение состояния накопителя «Средства в рублях» и позволяет определить момент наступления дефолта: в данном случае это временной интервал между 2022 и 2023 гг.

### 3.2. Компания «Агросила»

Компания «Агросила»<sup>4</sup> является крупным сельскохозяйственным холдингом, в составе которого находится 19 предприятий, занимающихся выращиванием, хранением и обработкой зерновых культур, производством продукции животноводства и птицеводства, производством сахара, а также реализацией готовой продукции и сервисным обслуживанием сельскохозяйствен-

<sup>4</sup> Компания «Агросила». URL: <http://agrosila-holding.ru/> (дата обращения 20.06.17).

ной техники. В рамках данного исследования будут рассмотрены предприятия холдинга, на которые приходится более 80% всех финансовых поступлений и расходов: «Агрофирмы», «Набережночелнинский элеватор», «Заинский сахар», «Челны-Бройлер», «КАМА». Отметим, что часть финансовых операций осуществляется внутри холдинга, так, например, завод по производству семян «КАМА» продает около 75% своей продукции растениеводческим предприятиям, входящим в объединение «Агрофирмы», а на внутренний рынок поставляет лишь четверть получаемых семян. Однако для построения модели наибольшую роль играет взаимодействие с внешними поставщиками и потребителями.

Предприятия, входящие в комплекс «Агрофирмы», занимаются производством зерновых, масличных культур, сахарной свеклы и продуктов животноводства, таких как мясо и молоко. Получаемые плоды сахарной свеклы поставляются заводу по производству сахара — «Заинский сахар». Основная часть (90%) продукции этого предприятия экспортируется, а остальное поступает на «Набережночелнинский элеватор» и используется в производстве кормов. При этом около 40% зернобобовых культур и 95% плодов масличных растений, получаемых «Агрофирмами», являются сырьем для создания этих кормов, а основная вы-

ручка «Аг  
дуктов ж  
сти зерно  
водимых  
ром» корм  
остальное  
нок. Наибо  
сит компа  
яся торгов  
сом и яйц  
Объем  
ленных пр  
жен регр  
от инвест  
и цен на в

ln

+ 0,796

ln

+ 1,014

ln(

+ 0,264

ln

+ 0,287

ln(

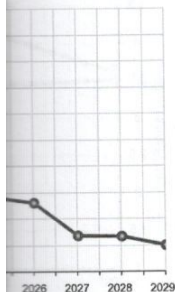
+ 1,134

Верхняя  
вых частей  
производк  
клетное п  
ЧБ — «  
«КАМА»,  
«Набереж  
Для «А  
включает  
молока ( $V_p$   
ные следу

$V_{PM}$

Это озв  
ного молов

IT-менедж



ии «Арома»

ного исследова-  
едприятия хол-  
ится более 80%  
ний и расходов:  
челнинский эле-  
лелны-Бройлер»,  
сть финансовых  
нутри холдинга,  
роизводству се-  
75% своей про-  
предприятиям,  
«Агрофирмы»,  
авляет лишь чет-  
нако для постро-  
оль играет взаи-  
тавщиками и по-

не в комплекс  
производством  
ур, сахарной све-  
дства, таких как  
ле плоды сахар-  
заводу по про-  
инский сахар».   
кции этого пред-  
а остальное по-  
нинский элева-  
зводстве кормов.  
бобовых культур  
растений, полу-  
вляются сырьем  
а основная вы-

ручка «Агрофирм» связана с продажей про-  
дуктов животноводства и оставшейся ча-  
сти зерновых культур. Три четверти произ-  
водимых «Набережночелнинским элева-  
тором» кормов используется внутри холдинга,  
остальное поставляется на внутренний ры-  
нок. Наибольшую прибыль холдингу прино-  
сит компания «Челны-Бройлер», занимающая  
торговлей продуктами птицеводства: мя-  
сом и яйцами.

Объем производства каждого из перечис-  
ленных предприятий в рамках модели выра-  
жен регрессионной зависимостью (4)–(8)  
от инвестиций ( $Inv$ ), курса доллара ( $dollar$ )  
и цен на нефть ( $C_N$ ):

$$\ln(V_P^A) = 1,117 \cdot \ln(dollar) + 0,796 \cdot \ln(C_N) + 0,121 \cdot \ln(Inv) + 8,335; \quad (4)$$

$$\ln(V_P^{ЧБ}) = 1,561 \cdot \ln(dollar) + 1,014 \cdot \ln(C_N) + 0,103 \cdot \ln(Inv) + 0,743; \quad (5)$$

$$\ln(V_P^{КАМА}) = 1,301 \cdot \ln(dollar) + 0,264 \cdot \ln(C_N) + 0,126 \cdot \ln(Inv) + 3,876; \quad (6)$$

$$\ln(V_P^{ЗС}) = 1,127 \cdot \ln(dollar) + 0,287 \cdot \ln(C_N) + 0,119 \cdot \ln(Inv) + 5,369; \quad (7)$$

$$\ln(V_P^{НЭ}) = 2,056 \cdot \ln(dollar) + 1,134 \cdot \ln(C_N) + 0,029 \cdot \ln(Inv) - 1,877. \quad (8)$$

Верхние индексы величин, стоящих в ле-  
вых частях уравнений и выражающих объемы  
производства (продаж), указывают на кон-  
кретное предприятие:  $A$  — «Агрофирмы»,  
 $ЧБ$  — «Челны-Бройлер»,  $КАМА$  —  
«КАМА»,  $ЗС$  — «Зайнский сахар»,  $НЭ$  —  
«Набережночелнинский элеватор».

Для «Агрофирм» общий объем продаж  
включает в себя объемы продаж мяса ( $V_{PM}^A$ ),  
молока ( $V_{Pm}^A$ ) и зерновых культур ( $V_{Pg}^A$ ), связан-  
ные следующими соотношениями:

$$V_{PM}^A = 1/66 \cdot V_P^A, V_{Pm}^A = 15/66 \cdot V_P^A, \\ V_{Pg}^A = 50/66 \cdot V_P^A.$$

Это означает, что на 15 тыс. т произведен-  
ного молока приходится 1 тыс. т мяса и 50 тыс. т

зерна. Данные пропорции составлены на ос-  
нове информации периода 2014–2016 гг.  
Аналогичным образом получены выражения  
для объемов производства мяса ( $V_{PM}^{ЧБ}$ ) и яиц  
( $V_{Pe}^{ЧБ}$ ):  $V_{PM}^{ЧБ} = 49/116$ ,  $V_{Pe}^{ЧБ} = 67/116$ . Формулы,  
описывающие себестоимости производства  
товаров для каждой из компаний холдинга,  
имеют следующий вид:

$$\ln(R^A) = 2,272 \cdot \ln(dollar) + 0,007 \cdot \ln(C_N) + 1,851 \cdot \ln(V_P^A) - 0,085 \cdot \ln(Inv) - 25,345; \quad (9)$$

$$\ln(R^{ЧБ}) = 0,395 \cdot \ln(dollar) + 0,119 \cdot \ln(C_N) + 0,886 \cdot \ln(V_P^{ЧБ}) - 0,019 \cdot \ln(Inv) - 4,573; \quad (10)$$

$$\ln(R^{КАМА}) = 0,655 \cdot \ln(dollar) + 0,634 \cdot \ln(C_N) + 0,704 \cdot \ln(V_P^{КАМА}) - 0,02 \cdot \ln(Inv) - 7,154; \quad (11)$$

$$\ln(R^{ЗС}) = 0,193 \cdot \ln(dollar) + 0,188 \cdot \ln(C_N) + 0,326 \cdot \ln(V_P^{ЗС}) - 0,001 \cdot \ln(Inv) + 0,395; \quad (12)$$

$$\ln(R^{НЭ}) = 0,634 \cdot \ln(dollar) + 0,29 \cdot \ln(C_N) + 0,838 \cdot \ln(V_P^{НЭ}) - 0,016 \cdot \ln(Inv) - 7,853. \quad (13)$$

В полученных уравнениях (4) — (13) счи-  
тается, что цены на нефть отражают степень  
государственного регулирования сельскохо-  
зяйственной отрасли и заинтересованность  
государства в ее защите и развитии. Общие  
тенденции улучшения состояния сельскохо-  
зяйственной отрасли наблюдаются при це-  
нах на нефть, лежащих в среднем диапа-  
зоне. Тогда государство имеет необходимость  
и возможность вкладывать средства в под-  
держку сельскохозяйственных предприятий.  
Высокие цены на нефть провоцируют увели-  
чение цен на бензин, что приводит к суще-  
ственному росту расходов данных компаний<sup>5</sup>.  
При этом заметно увеличивается объем им-  
порта сельскохозяйственной продукции, что  
также сказывается негативно на общем состо-  
янии отрасли. Низкие цены на нефть не по-

<sup>5</sup> Высокие цены на нефть губят российское сель-  
ское хозяйство, 11.03.03. URL: <http://www.finansy.ru/tend/oil/0303/t11-1.htm> (дата обращения 18.06.17).

зволюют государству обеспечить поддержку отрасли в достаточной степени и обуславливают снижение ее развития.

Потоковая диаграмма, соответствующая производственной части модели, изображена на рис. 9. Все стрелки на данном рисунке, как пунктирные, так и сплошные, представляют собой связи между элементами модели и означают наличие функциональных зависимостей между ними.

Финансовая часть модели компании «Агросила» описывается по тому же принципу, который использовался для представления финансовой части модели компании «Арома». Основной накопитель «Средства в рублях» ( $M$ ) пополняется потоками «Кредиты» ( $C^+$ ), «Прочие доходы» ( $L^+$ ), «Проценты к получению» ( $Q$ ) и «Выручка» ( $B$ ). Они рассчитываются следующим образом:

$$B = V_{PM}^A \cdot C_M^A + V_{Pm}^A \cdot C_m^A + V_{Pg}^A \cdot C_g^A + V_{PM}^{ЧБ} \cdot C_M^{ЧБ} + V_e^{ЧБ} \cdot C_e^{ЧБ} + V_p^{ЗС} \cdot C^{ЗС} + V_p^{КАМА} \cdot C^{КАМА} + V_p^{НЭ} \cdot C^{НЭ},$$

$$Q = 0,3 \cdot M \cdot rate,$$

$$\ln(L^+) = 2,383 \cdot \ln(dollar) + 1,863 \cdot \ln(C_N) - 11,581, \quad (14)$$

$$C^+ = 100 \cdot I(W > 500) + 120 \cdot I(400 < W \leq 500) + 150 \cdot I(300 < W \leq 400) + 200 \cdot I(W \leq 300),$$

где  $C_M^A$ ,  $C_m^A$ ,  $C_g^A$  — средние рыночные цены мяса, молока и зерна,  $C_M^{ЧБ}$ ,  $C_e^{ЧБ}$  — средние цены птичьего мяса и яиц,  $C^{ЗС}$ ,  $C^{КАМА}$ ,  $C^{НЭ}$  — средние цены сахара, семян и кормов.

Исходящими из накопителя «Средства в рублях» потоками являются «Себестоимость» ( $R$ ), «Инвестиции», «Коммерческие расходы» ( $Comm$ ), «Управленческие расходы» ( $U$ ), «Прочие затраты» ( $L^-$ ), «Налог на прибыль», «Дивиденды», «Проценты» и «Погашение кредиторской задолженности». Соответствующие им формулы имеют вид:

$$R = R^A + R^{ЧБ} + R^{ЗС} + R^{КАМА} + R^{НЭ}, \quad (15)$$

$$Inv = 0,2 \cdot M,$$

$$\ln(U) = -0,457 \cdot \ln(dollar) + 0,547 \cdot \ln(V_p^{НЭ}) + 0,709, \quad (16)$$

$$\ln(L^-) = 2,379 \cdot \ln(dollar) + 1,806 \cdot \ln(C_N) - 11,181,$$

$$\ln(Comm) = -0,075 \cdot \ln(dollar) + 5,1 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(V_p^{НЭ}) + 5,374 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(V_p^{ЗС}) + 2,236 \cdot 10^{-5} \cdot \ln(V_p^{КАМА}) + 2,867 \cdot 10^{-5} \cdot \ln(V_p^{ЧБ}) + 2,509 \cdot 10^{-6} \cdot \ln(V_p^A) + 0,691. \quad (17)$$

Все использующиеся в данной модели регрессии (4) — (17) являются значимыми согласно критерию Фишера и имеют следующие показатели качества:  $R^2 \in [0,79; 0,93]$ ,  $p\text{-value} \leq 0,0027$ . Годовая финансовая отчетность периода 2007–2015 гг., являющаяся основой для построения указанных регрессионных зависимостей, была получена из системы СПАРК.

Структура долга и остальные исходящие из «Средства в рублях» потоки полностью совпадают с аналогичными элементами модели компании «Арома». Итоговая потоковая диаграмма системно-динамической модели компании «Агросила» изображена на рис. 10.

Оценить справедливость сделанных при построении системы предположений позволяют графики, представленные на рис. 11–17. Основным показателем точности производственной части модели является объем продаж различных видов товаров (рис. 11–15). Имеющиеся различия модельных и исторических данных для объемов продаж компаний «Заинский сахар» и «Набережночелнинский элеватор» связаны с резкими колебаниями доли использования производимой ими продукции для нужд холдинга. Информации о внутренней политике использования производимых ресурсов в открытых источниках нет, поэтому получаемые в связи с этим колебания объемов продаж отразить при помощи построенных регрессий не представляется возможным. Получение необходимых

Рис.

данных от р  
позволить  
положений.

lar)+  
709, (16)

llar)+  
,181,

ollar)+  
)+

)+ (17)

MA)+

B)+  
0,691.

в данной мо-  
являются зна-  
ерия Фишера  
атели качества:  
,0027. Годовая  
да 2007–2015 гг.,  
строения указан-  
ностей, была по-

ьные исходящие  
си полностью со-  
ментами модели  
я потоковая диа-  
ской модели ком-  
ена на рис. 10.

ь сделанных при  
оложений позво-  
ые на рис. 11–17.

ности производ-  
ется объем про-  
ов (рис. 11–15).

ьных и историче-  
продаж компаний  
ежночелнинский

ми колебаниями  
одимой ими про-  
га. Информации

пользования про-  
рытых источни-  
е в связи с этим

отразить при по-  
сий не представ-  
не необходимых

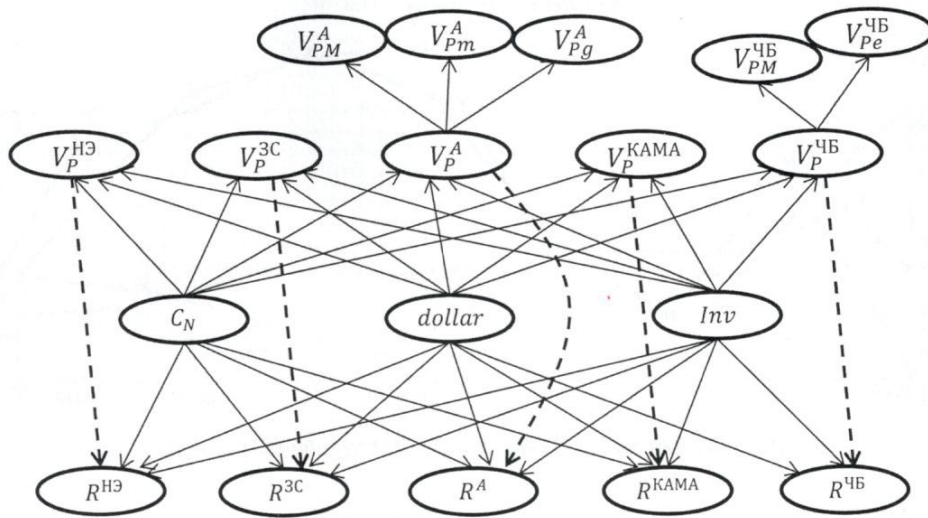


Рис. 9. Потоквая диаграмма производственной части системно-динамической модели компании «Агросила»

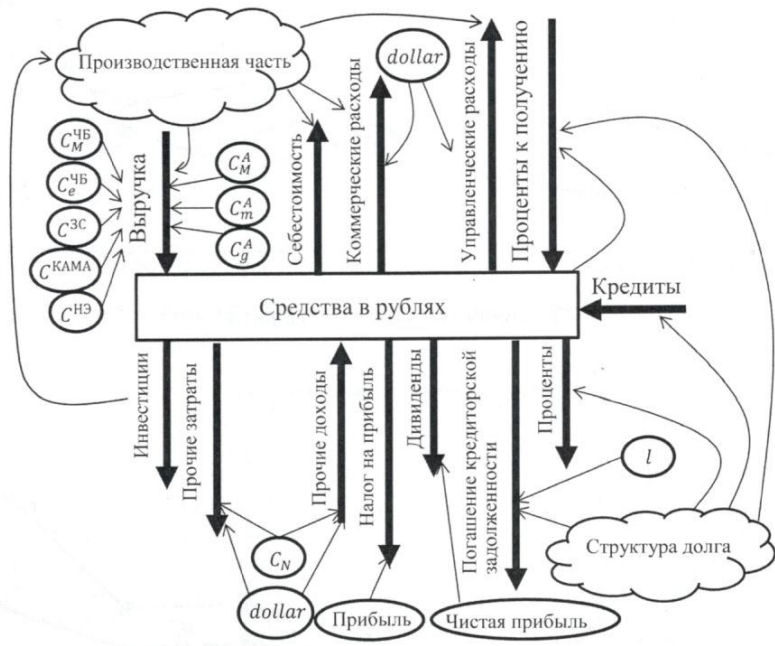


Рис. 10. Потоквая диаграмма системно-динамической модели компании «Агросила»

данных от рассматриваемой компании может позволить избавиться от подобных предположений.

Динамика валовой прибыли и изменение состояния долга компании представляют собой ключевые элементы финансовой



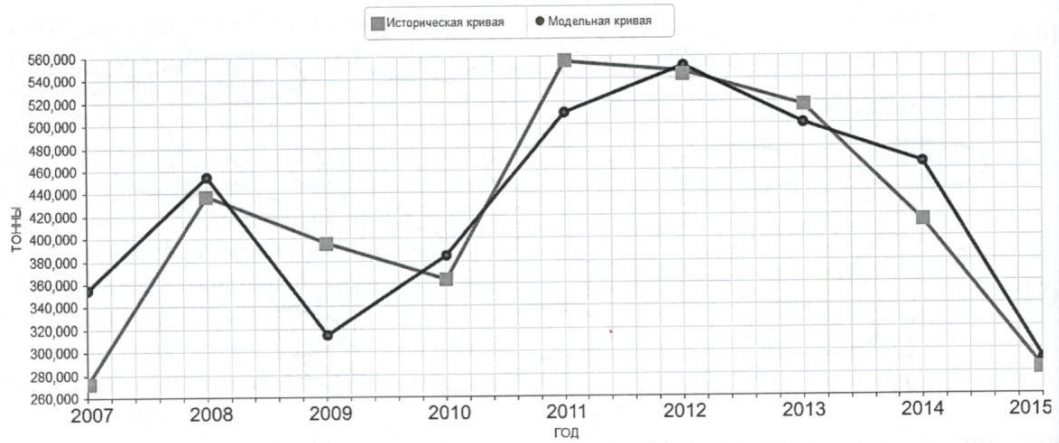


Рис. 11. Динамика объема продаж продукции «Агрофирм»

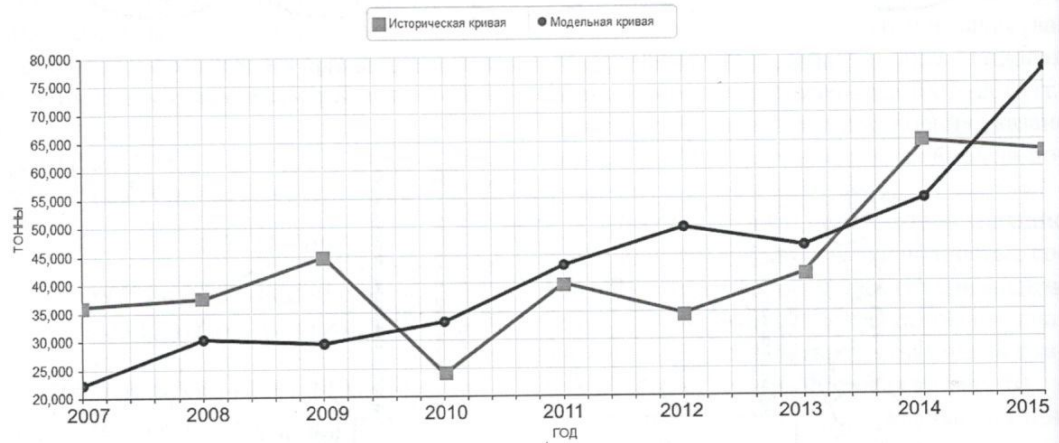


Рис. 12. Динамика объема продаж кормов

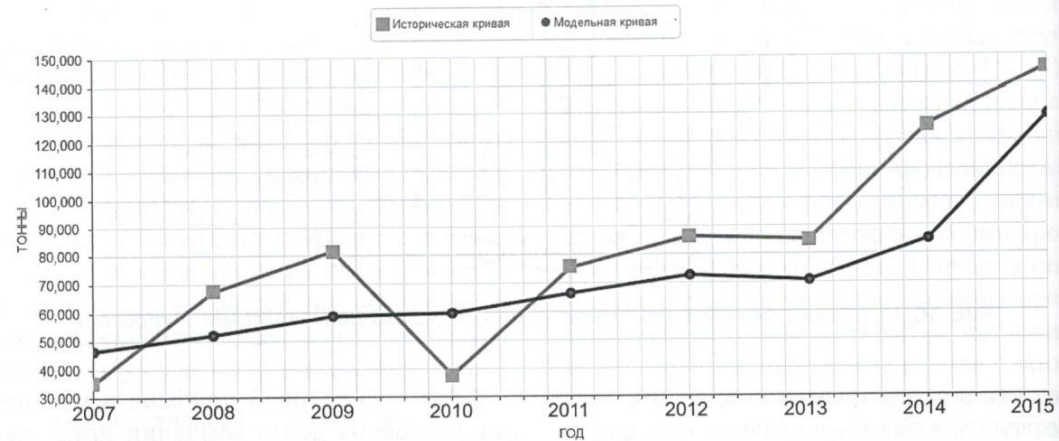


Рис. 13. Динамика объема продаж сахара

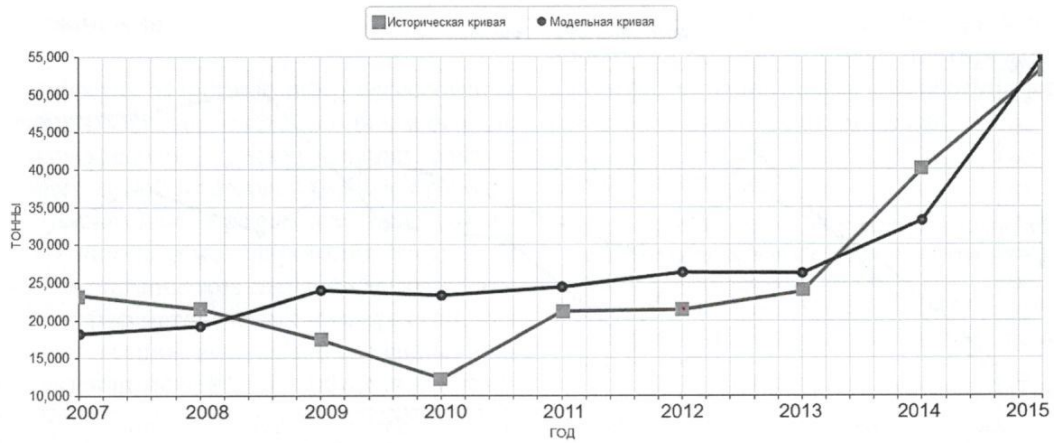


Рис. 14. Динамика объема продаж семян

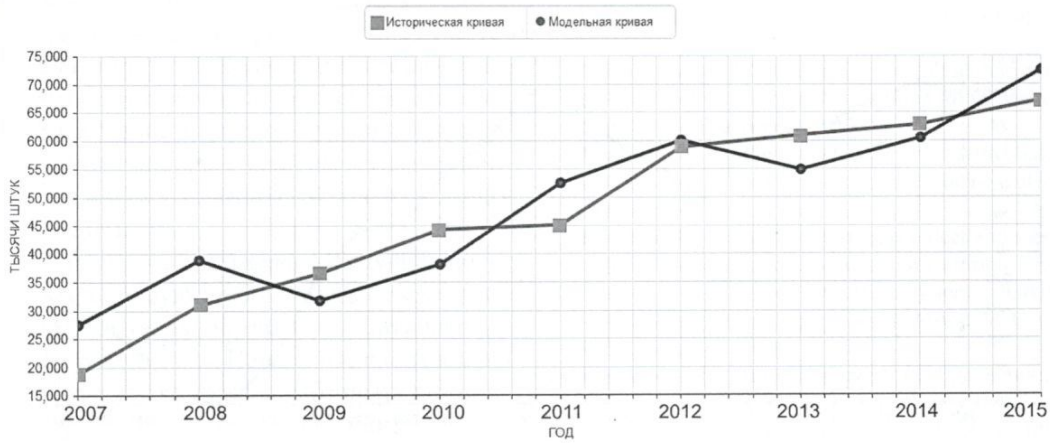


Рис. 15. Динамика объема продаж мяса птиц

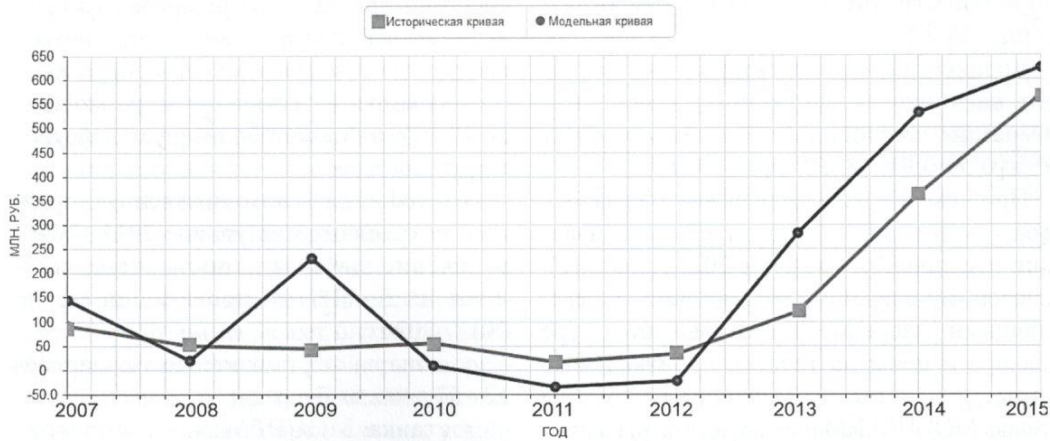


Рис. 16. Динамика валовой прибыли компании «Агросила»

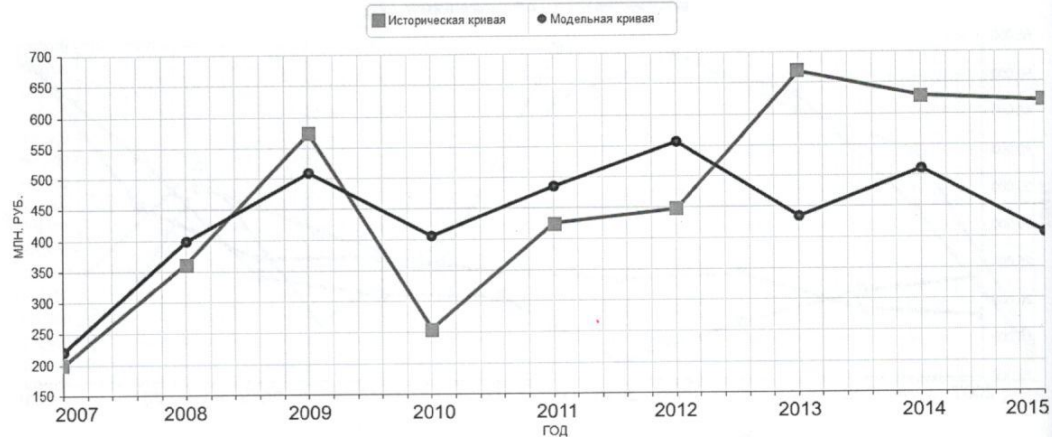


Рис. 17. Изменение долга компании «Агросила»

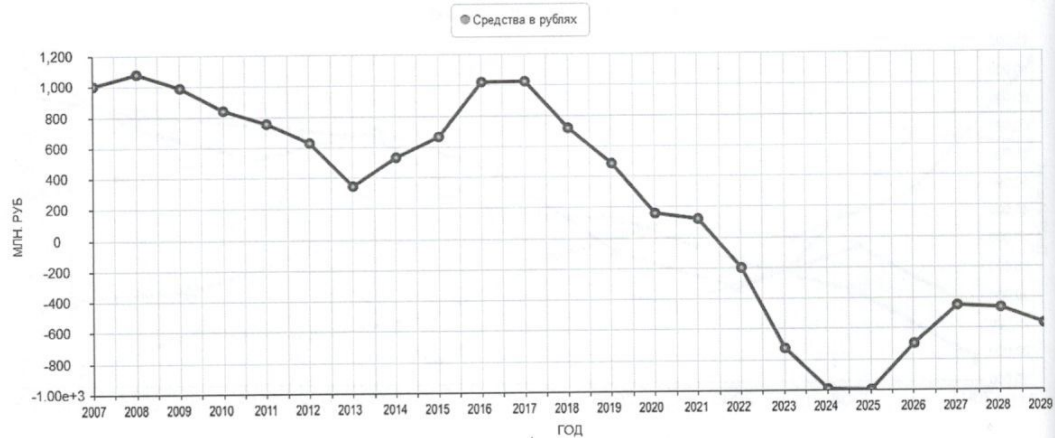


Рис. 18. Изменение накопителя «Средства в рублях». Сценарий дефолта

деятельности предприятия и изображены на рис. 16 и 17.

Количественные характеристики основных накопителей системно-динамической компании «Агросила» лежат в пределах  $R^2 \in [0,59; 0,91]$ ,  $MAPE \in [0,07; 0,11]$ .

При помощи ряда экспериментов удалось выявить сценарий дефолта рассматриваемого предприятия в течение 2022 г. (рис. 18). Ключевыми внешними параметрами, определяющими разорение фирмы, являются курс доллара и цены на товары, производимые компанией. Остальные внешние параметры (ставка МОСПРАЙМ и цены на нефть) влияют на дефолт в меньшей степени. В данном случае

сценарий, приводящий к разорению компании, начинает действовать с 2016 г. и предполагает следующее поведение основных переменных:

- курс доллара осуществляет резкий скачок до 70 руб., а затем стабилизируется на уровне 63 руб.;
- цены на сельскохозяйственную продукцию сохраняются на уровне 2015–2016 гг. в течение двух лет, после чего снижаются на 5–11% на протяжении периода 2018–2020 гг.;
- цены на нефть изменяются в пределах 53–57 долл. за баррель;
- ставка МОСПРАЙМ колеблется на уровне 12,3–12,7%.

В рам  
были раз  
модели к  
хозяйств  
ской экон  
имитаци  
макроэко  
лого из р  
предполо  
построен  
ступност  
ладимой  
ках. Одн  
данными  
И несмот  
рически  
которых  
предлож  
отражае  
ятий от р  
ских пер  
Отмет  
получить  
эмпирик  
сущую  
фолта ка  
об ее уст  
менты на  
меры сто  
дефолта,  
чение 6–  
сценарие  
Основ  
ния полу  
лированн  
кий спек  
стемно-д  
Испол  
к построе  
лей креди  
для созда  
приятной  
номики. Ч  
чивость п

### Заклучение

В рамках представленного исследования были разработаны системно-динамические модели кредитного риска компаний сельскохозяйственной и торговой отраслей российской экономики. В результате проведенного имитационного моделирования построены макроэкономические сценарии дефолта каждого из рассматриваемых предприятий. Ряд предположений, вынуждено сделанных при построении моделей, был обусловлен недоступностью и неполнотой некоторой необходимой информации в открытых источниках. Однако эти допущения оказались оправданными и не имели решающего значения. И несмотря на то, что различия между историческими и модельными процессами в некоторых случаях были весьма заметными, предложенные модели в целом адекватно отражают основные зависимости предприятий от рассматриваемых макроэкономических переменных.

Отметим, что коммерческие банки могут получить любую информацию от своих заемщиков и таким образом уточнить интересующую их модель. Найденные сценарии дефолта каждой компании дают представление об ее устойчивости, а дальнейшие эксперименты над моделью позволяют понять, какие меры стоит предпринимать, чтобы избежать дефолта, возникающего в данном случае в течение 6–7 лет в случае реализации стресс-сценариев.

Основные результаты данного исследования получены при помощи веб-среды моделирования insightmaker, которая имеет широкий спектр возможностей для работы с системно-динамическими моделями.

Использованный в данной статье подход к построению системно-динамических моделей кредитного риска может быть применен для создания подобных моделей других предприятий различных отраслей российской экономики. Это позволит определить их устойчивость по отношению к тем или иным макро-

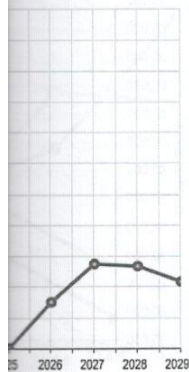
экономическим сценариям, а также применить процедуру обратного стресс-тестирования к портфелю, основанному на совокупности системно-динамических моделей.

### Список литературы

1. Flood M. D., Korenko G. G. Systematic scenario selection: stress testing and the nature of uncertainty // Office of financial research, 2013.
2. Forrester J. W. Industrial Dynamics / MIT Press, 1961.
3. Forrester J. W. Urban Dynamics / Pegasus Communications, 1969.
4. Forrester J. W. World Dynamics / Wright-Allen Press, 1971.
5. Glasserman P., Kang C., Kang W. Stress scenario selection by empirical likelihood // Office of financial research, 2012.
6. Guidelines on stress testing / Committee of European banking supervisors, 2010.
7. Gurný P., Gurný M. Comparison of credit scoring models on probability of default estimation for us banks // Prague economic papers, 2013.
8. Katalovsky D. U. Fundamentals Of Simulation Modeling And System Analysis. Moscow: Moscow University Press. — 2011.
9. Principles for sound stress testing practices and supervision / Basel committee on banking supervision, 2009.
10. Sterman J. D. Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Boston: McGraw-Hill Companies, 2000.
11. Куренной Д. С., Голембиовский Д. Ю. Системно-динамическая модель кредитного риска нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей компании // Проблемы анализа риска. 2017. № 1. С. 6–22.
12. Резчиков А. Ф., Кушиков В. А. и др. Модель для оценки состояния национальной безопасности России на основе теории системной динамики // Прикладная информатика. 2017. №2 (68). С. 106–116.
13. Симонова-Хитрова М. Ю. Международная торговля вином и региональные рынки // Российский внешнеэкономический вестник. 2015. № 10. С. 116–125.
14. Указание Банка России от 07.12.2015 № 3883-У. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_190733/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_190733/).
15. Указание Банка России от 15.04.2015 № 3624-У. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_180268/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_180268/).

### References

1. Flood M. D., Korenko G. G. Systematic scenario selection: stress testing and the nature of uncertainty. Office of financial research, 2013.



олта  
рению компании,  
г. и предполагает  
ных переменных:  
яет резкий скачок  
руется на уровне  
твенную продук-  
не 2015–2016 гг.  
ле чего снижа-  
жении периода  
ются в пределах  
колеблется на

2. Forrester J. W. *Industrial Dynamics* / MIT Press, 1961.
3. Forrester J. W. *Urban Dynamics* / Pegasus Communications, 1969.
4. Forrester J. W. *World Dynamics* / Wright-Allen Press, 1971.
5. Glasserman P., Kang C., Kang W. Stress scenario selection by empirical likelihood. *Office of financial research*, 2012.
6. *Guidelines on stress testing* / Committee of European banking supervisors, 2010.
7. Gurný P., Gurný M. Comparison of credit scoring models on probability of default estimation for us banks. *Prague economic papers*, 2013, pp. 163–181.
8. Katalovsky D. U. *Fundamentals Of Simulation Modeling And System Analysis*. Moscow, Moscow University Press, 2011.
9. *Principles for sound stress testing practices and supervision* / Basel committee on banking supervision, 2009.
10. Sterman J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, McGraw-Hill Companies, 2000.
11. Kurennoy D. S., Golembiovskiy D. Yu. System dynamics credit risk model of an oil company. *Issues of Risk Analysis*, 2017, no. 1. P. 6–22.
12. Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Yandybaeva N. V., Ivaschenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonyuk L. Yu. Model to assess the state of Russia's national security, based on system dynamics theory. *Prikladnaya informatika — Journal of Applied Informatics*, 2017, no. 2 (68), p. 106–116.
13. Simonova-Khitrova M. Y. International wine trade and regional markets. *Russian Foreign Economic Bulletin*, 2015, no. 10. P. 116–125.
14. Ukazanie Banka Rossii ot 07.12.2015 no. 3883-U. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_190733/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_190733/)
15. Ukazanie Banka Rossii ot 15.04.2015 no. 3624-U. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_180268/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_180268/).

D. Kurennoy, Moscow State University, Moscow, Russia, [dima-kurennoy@yandex.ru](mailto:dima-kurennoy@yandex.ru)

D. Golembiovskiy, Moscow State University, Moscow, Russia, [golemb@cs.msu.ru](mailto:golemb@cs.msu.ru)

### Construction of business default scenarios based on system dynamics models

One of the modern procedures, which are recommended to banks for risk assessment, is reverse stress testing. It is a procedure of building of scenarios, which lead to a specified loss level. Knowledge of such scenarios allows banks to mitigate the consequences of their implementation.

In the context of credit risk, reverse stress testing makes it possible to identify macroeconomic conditions leading to a given level of credit portfolio losses. However, the current credit risk assessment models are not suitable for solving the problems of reverse stress testing. Widely known models do not take into account the structure of specific companies, do not allow investigating the development of crisis scenarios in time and need a large sample of data on similar enterprises.

This article is devoted to the construction of system dynamics models of enterprises in commercial and agricultural sectors of the Russian economy. Research demonstrates the possibility of using system dynamics models to determine the macroeconomic scenarios, leading to the default of a company. In system dynamics enterprises are represented by system consisting of constantly interacting elements and external parameters. The links between system elements express in terms of functions and differential equations, which specify the dynamics of the model. Thus, the company's stability in relation to different macroeconomic scenarios can be considered. The models of investigated enterprises are implemented in the Insightmaker system.

**Keywords:** system dynamics, insightmaker, credit risk, reverse stress testing, risk management, simulation modelling.

**About authors:** D. Kurennoy, *Postgraduate*  
D. Golembiovskiy, *Dr. of Technical Sciences, Professor*

**For citation:** Kurennoy D., Golembiovskiy D. Construction of business default scenarios based on system dynamics models. *Prikladnaya informatika — Journal of Applied Informatics*, 2017, vol. 12, no. 5 (71), pp. 11–28 (in Russian).