

ISSN 2686-679X

# ВЕСТНИК РГГУ

*Серия*  
«Информатика.  
Информационная безопасность.  
Математика»

Научный журнал

# RSUH/RGGU BULLETIN

“Information Science.  
Information Security. Mathematics”  
*Series*

Academic Journal

Основан в 2018 г.  
Founded in 2018

4  
2019

VESTNIK RGGU. Seriya «Informatica. Informacionnaya bezopasnost. Matematika»

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” Series Academic Journal

There are 4 issues of the printed version of the journal a year.

Founder and Publisher  
Russian State University for the Humanities (RSUH)

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” series is included: in the Russian Science Citation Index; in the List of leading scientific magazines journals and other editions for publishing PhD research findings peer-reviewed publications fall within the following research area:

20.00.00 Informatics

81.03.29 Information security, data protection,

27.00.00 Mathematics

#### *Objectives and areas of research*

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” series publishes the results of research by scientists from RSUH and other universities and other Russian and foreign academic institutions. The areas covered by contributions include theoretical and applied computer science, up-to-date IT, means and technologies of information protection and information security as well as the issues of theoretical and applied mathematics including analytical and imitation models of different processes and objects. Special emphasis is put on articles and reviews covering research in indicated directions in the areas of social and humanitarian problems and also issues of personnel training for these directions.

RSUH/RGGU BULLETIN. “Information Science. Information Security. Mathematics” series is registered by Federal Service for Supervision of Communications Information Technology and Mass Media. 25.05.2018, reg. No. FS77-72977

Editorial staff office: 6, Miusskaya sq., Moscow, Russia, 125993, GSP-3

tel: +7 (916) 250-90-85

e-mail: adkozlov@mail.ru

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика»

Научный журнал

Выходит 4 номера печатной версии журнала в год.

Учредитель и издатель – Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика» включен: в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ); в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки:

20.00.00 Информатика

81.93.29 Информационная безопасность, защита информации

27.00.00 Математика

### *Цели и область*

В журнале «Вестник РГГУ», серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика» публикуются результаты научных исследований ученых и специалистов РГГУ, а также других университетов и научных учреждений России и зарубежных стран. Направления публикаций включают теоретическую и прикладную информатику, современные информационные технологии, методы, средства и технологии защиты информации и обеспечения информационной безопасности, а также проблемы теоретической и прикладной математики, включая разработку аналитических и имитационных моделей процессов и объектов различной природы. Особое внимание уделяется статьям и обзорам, посвященным исследованиям по указанным направлениям в области социальных и гуманитарных проблем, а также вопросам подготовки кадров по соответствующим специальностям для данных направлений.

ВЕСТНИК РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика» зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 25.05.2018 г., регистрационный номер ПИ № ФС77-72977.

Адрес редакции: 125993, ГСП-3, Россия, Москва, Миусская пл., 6

Тел: +7 (916) 250-90-85

электронный адрес: adkozlov@mail.ru

## Founder and Publisher

Russian State University for the Humanities (RSUH)

## Editor-in-chief

*V.V. Arutyunov*, Dr. of Sci. (Engineering), Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

## Editorial Board

*V.K. Zharov*, Dr. of Sci. (Pedagogy), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation (*deputy editor-in-chief*)

*A.D. Kozlov*, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation (*executive secretary*)

*Sh.A. Alimov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, academician, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*M.N. Aripov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*G.S. Ivanova*, Dr. of Sci. (Computer Science), professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

*O.V. Kazarin*, Dr. of Sci. (Engineering), Russian State University for the Humanities (RSUH), Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*V.M. Maximov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Russian State University for the Humanities (RSUH), Moscow, Russian Federation

*I.Yu. Ozhigov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*E.A. Primenko*, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*S.M. Sokolov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russian Federation

*Sh.K. Formanov*, Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), professor, academician, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

*V.A. Tsvetkova*, Dr. of Sci. (Engineering), professor, Library for Natural Sciences of the RAS, Moscow, Russian Federation

## Executive editor:

*A.D. Kozlov*, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor (RSUH)

Учредитель и издатель

Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ)

Главный редактор

*В.В. Арутюнов*, доктор технических наук, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

Редакционная коллегия

*В.К. Жаров*, доктор педагогических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация (*заместитель главного редактора*)

*А.Д. Козлов*, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация (*ответственный секретарь*)

*Ш.А. Алимов*, доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

*М.М. Арипов*, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

*Г.С. Иванова*, доктор технических наук, профессор, Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

*О.В. Казарин*, доктор технических наук, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

*В.М. Максимов*, доктор физико-математических наук, профессор, Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Москва, Российская Федерация

*И.Ю. Ожигов*, доктор физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

*Э.А. Применко*, кандидат физико-математических наук, профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), Москва, Российская Федерация

*С.М. Соколов*, доктор физико-математических наук, профессор, Институт прикладной математики им. М.И. Келдыша РАН, Москва, Российская Федерация

*Ш.К. Форманов*, доктор физико-математических наук, профессор, академик Академии наук Узбекистана, Ташкент, Республика Узбекистан

*В.А. Цветкова*, доктор технических наук, профессор, Библиотека по естественным наукам РАН, Москва, Российская Федерация

Ответственный за выпуск:

*А.Д. Козлов*, кандидат технических наук, доцент (РГГУ)

# Contents

## Information Science

---

- A.I. Kapustin, A.V. Kurov*  
Overview of prediction methods  
for tennis match scores ..... 8
- A.V. Kurov, Yu.V. Stroganov*  
Modeling the process of asserting educational  
programming tasks ..... 19

## Information Security

---

- N.V. Grishina*  
Issues of ensuring information security of museum activities ..... 33
- D.S. Karpov, A.A. Rakovenko*  
Measures to neutralize the impact of the information security violator  
on the biometric authentication subsystem of the special  
information system ..... 42

## Mathematics

---

- A.N. Bogdanov*  
A distinguished graduate of Moscow State University,  
Lev Vasil'evich Ovsyannikov (1919–2014) and a development  
of the theory of transonic gas flows ..... 53
- A.A. Yakimchuk*  
The relevance of mathematical modeling in philosophy ..... 75

## Содержание

### **Информатика**

---

<i>А.И. Капустин, А.В. Куров</i> Обзор методов прогнозирования результатов теннисных матчей .....	8
---	---

<i>А.В. Куров, Ю.В. Строганов</i> Моделирование процесса защиты учебных заданий по программированию .....	19
---	----

### **Информационная безопасность**

---

<i>Н.В. Гришина</i> Вопросы обеспечения информационной безопасности музейной деятельности .....	33
---	----

<i>Д.С. Карпов, А.А. Раковенко</i> Меры нейтрализации воздействия нарушителя информационной безопасности на подсистему биометрической аутентификации специальной информационной системы .....	42
---	----

### **Математика**

---

<i>А.Н. Богданов</i> Выдающийся воспитанник Московского университета Лев Васильевич Овсянников (1919–2014) и развитие теории околосвуковых течений газа .....	53
--	----

<i>А.А. Якимчук</i> Актуальность математического моделирования в философии .....	75
---	----

## Обзор методов прогнозирования результатов теннисных матчей

Алексей И. Капустин

*Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия, akapustin@mail.ru*

Андрей В. Куров

*Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Москва, Россия, avkur7@mail.ru*

*Аннотация.* В работе проведен сравнительный анализ современных методов прогнозирования результатов спортивных соревновательных теннисных матчей. Рассмотрены методы осуществления прогнозов на основе априорной статистической информации: данных о том, как игрок сыграл матч против определенного соперника, данных о розыгрыше каждого очка в каждом конкретном матче и другой информации. Также рассматриваются необходимость наличия подробных данных для каждого из подходов.

Для подхода, основанного на методе подсчета очков, приводятся формулы, позволяющие рассчитать вероятность выигрыша гейма, сета и матча в целом, основанные на вероятности выигрыша конкретного очка в теннисном матче. Для методов попарного сравнения описывается принцип работы, а также приведен пример формулы для расчета рейтинга, основанной на количестве выигранных каждым игроком геймов в матче.

В описании подхода прогноза теннисных матчей, основанном на применении методов машинного обучения, приводится описание применения нейронных сетей, логистической регрессии, метода опорных векторов и случайного леса.

Для каждого подхода рассматриваются его достоинства, недостатки и трудоемкость разработки нового метода, дается итоговая рекомендация подхода, показывающего наилучший результат.

*Ключевые слова:* прогнозирование, теннисные матчи, машинное обучение



*Для цитирования:* Капустин А.И., Куров А.В. Обзор методов прогнозирования результатов теннисных матчей // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 8–18. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-8-18

## Overview of prediction methods for tennis match scores

Aleksei I. Kapustin

*Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia, akapustin@mail.ru*

Andrey V. Kurov

*Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia, avkur7@mail.ru*

*Abstract.* A comparative analysis of modern methods for predicting the scores of tennis matches is carried out in the work. Methods for making forecasts based on the a priori statistical information are considered: data on how a player played a match against a specific opponent, data on the drawing of every point in every specific match, and other information. The need for detailed data for each approach is also considered.

For an approach based on the method of scoring, formulas are described that allow calculating the probability of winning a game, set and match in general, based on the probability of winning a specific point in a tennis match. For pairwise comparison methods, the principle of operation is schematically described, as well as an example of a formula for calculating the rating based on the number of games won by each player in a match.

The description of the prediction approach for tennis matches based on the use of machine learning methods describes the use of the neural networks, logistic regression, the support vector method, and random forest.

For each approach, its advantages and disadvantages and the complexity of developing a new method are considered, the final recommendation of the approach showing the best result is given.

*Keywords:* forecasting, tennis matches, machine learning

*For citation:* Kapustin, A.I., Kurov, A.V. (2019), "Overview of prediction methods for tennis match scores", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 8–18. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-8-18

## *Введение*

Спортивные соревнования – это события, на результат которых влияет огромное количество факторов. Результаты соревнований носят недетерминированный характер. Научиться прогнозировать исходы спортивных событий – первый шаг к прогнозированию исходов событий, влияющих напрямую на жизни людей (политика, сложные международные конфликты).

На тему предсказания результатов спортивных событий написано большое количество статей, две основные группы статей – предсказание исходов соревнований и предсказание результата конкретного матча (события). Основная часть статей посвящена футболу, баскетболу и американскому футболу – командным видам спорта. Тот факт, что в каждом матче принимает участие большое количество людей, возможно большое количество различных исходов матчей, ограничивает исследователей в выборе методов исследований. Наиболее простой спорт для анализа тенниса – два возможных исхода, два участника, большое количество информации о матчах в открытом доступе.

Добиться стопроцентной точности прогнозов невозможно априори, но можно ее повышать путем улучшения существующих алгоритмов, их совмещения (например, путем ансамблирования).

## *Основные подходы к прогнозированию результатов теннисных матчей*

Существует три основных подхода к прогнозированию теннисных матчей: методы попарного сравнения, методы вычисления очков и методы машинного обучения.

### *Методы вычисления очков*

Методы вычисления очков (также их называют иерархическими методами) фокусируются на оценке вероятности выигрыша каждого очка в матче. В этом подходе предполагается, что достаточно знать вероятность выигрыша игроком А  $P_a^r$  очка на своей подаче и вероятность выигрыша очка игроком В на своей подаче  $P_b^r$ . Аналогичные подходы применяются при подсчете вероятности выигрыша игрока в бадминтоне и сквоше [Enrick 1976]. Впервые такой метод был применен к теннису в работах Кси и Бюрича [Burych 1971], Картера и Крю [Carter, Crews 1974], Полларда

[Pollard 1983]. Такие работы одинаково определяют вероятность выигрыша очка в матче как равномерную случайную величину, т. е. вероятности  $p_a^r$  и  $p_b^r$  принимаются за постоянные величины на протяжении всего матча. После анализа статистических показателей можно сделать вывод, что такое предположение допустимо [5], т. к. отклонения от ожидаемой величины невелики.

*Вероятность выиграть гейм.* Игрок А может выиграть гейм у игрока В со счетом [4,0], [4,1], [4,2] в случае если игрок А выиграл 4 очка за гейм, а игрок В выиграл не более двух. Если же счет в гейме стал [3,3], то такая ситуация называется «ровно». В этом случае игрок А может выиграть гейм, закончив его с итоговым счетом  $[n + 5, n + 3]$ , где  $n > 0$ . Чтобы посчитать вероятность  $p_{G_A}^R$  выигрыша игроком А гейма на своей подаче, введем следующие обозначения:

$p_A^R$  – вероятность выигрыша очка на своей подаче игроком А,  
 $q_A^R = 1 - p_A^R$ ,  $q_A^G = 1 - p_A^G$ ,  $p_A^G(i,j)$  – вероятность того, что  $i$  очков в гейме наберет игрок А, а  $j$  очков в гейме наберет игрок В.

В результате получим следующую формулу:

$$p_A^G = \sum_{j=0}^2 p_A^G(4,j) + p_A^G(3,3) \sum_{n=0}^{\text{inf}} p_a^{DG}(n+2, n) \quad (1)$$

Пусть  $p_A^{DG}(n+2, n)$  – вероятность того, что игрок А выиграет с преимуществом в 2 мяча, после того как был достигнут счет [3,3] на подаче игрока А.

$$\begin{aligned} p_A^{DG}(n+2, n) &= \sum_{j=0}^n (p_A^R q_A^R)^j (q_A^R p_A^R)^{n-j} \frac{n!}{j!(n-j)!} (p_A^R)^2 = \\ &= (p_A^R)^2 (p_A^R q_A^R)^n 2^n \end{aligned} \quad (2)$$

В результате из формул 1 и 2 можно вывести следующую формулу – вероятность выигрыша игроком А гейма на своей подаче.

$$p_A^G = (p_A^R)^4 \left( 1 + 4q_A^R + 10(q_A^R)^2 \right) + 20(p_A^R q_A^R)^3 (p_A^R)^2 (1 - 2^R q_A^R)^{-1} \quad (3)$$

*Вероятность выиграть сет.*

Пусть  $p_A^S$  – вероятность того, что игрок А выиграет сет у игрока В, если игрок А начинает подавать первым,  $q_A^S = 1 - p_A^S$ . Чтобы вывести  $p_A^G$  из  $p_A^G$  и  $p_B^G$ , определим  $p_A^S(i,j)$  как вероятность того, что в розыгрыше сета игрок А выиграет  $i$  геймов, игрок В  $j$  геймов. Тогда

$$p_A^S = \sum_{j=0}^4 p_A^S(6,j) + p_A^S(7,5) + p_A^S(6,6)p_A^T, \quad (4)$$

где  $p_A^T$  – вероятность того, что игрок А выиграет 13-очковый тайм-брейк, начинающийся с подачи игрока А.

*Вероятность выиграть матч.*

Пусть  $p_A^M$  – вероятность того, что игрок А выиграет матч у игрока В. Определим  $p_{AB}^M(i,j)$  как вероятность того, что игрок А выиграет в матче после того, как количество выигранных им сетов достигнет  $i$ , а количество выигранных сетов у игрока В будет  $j$ , где матч начинается с подачи игрока А, а заканчивается на подаче В. Аналогично –  $p_{AA}^M$ . Зададим вероятности победы для сетов

$p_{AB}^S, p_{BA}^S, p_{AB}^S, p_{BB}^S$ , где  $p_{XY}^S$  – вероятность того, что игрок сет закончится выигрышем игрока X, начинающийся с подачи X и заканчивающийся на подаче Y. Очевидно, что количество разыгранных геймов для  $p_{XX}^S$  будет нечетным. Ограничим формулу (4)

$$p_A^S = \sum_{j=1,3} p_A^S(6,j) + p_A^S(6,6)p_A^T \quad (5)$$

Если игрок X подает в первом сете матча, а Y в последнем, количество геймов в сете будет нечетным. Преобразуем (4):

$$p_A^S = \sum_{j=0,2,4} p_A^S(6,j) + p_A^S(7,5) \quad (6)$$

Итоговая формула для матчей, где для достижения победы надо первым выиграть 3 сета (матчи мужского тенниса), будет выглядеть следующим образом (с более детальным выводом формул можно ознакомиться в [Pollard 1983], [Magnus, Lassen 2001]).

$$p_A^M = \sum_{j=0,2,4}^2 (p_{AA}^M(3,j) + p_{AB}^M(3,j)) \quad (7)$$

Для матчей до 2 выигранных сетов (женский теннис)

$$p_A^M = \sum_{j=0}^1 (p_{AA}^M(2,j) + p_{AB}^M(2,j)) \quad (8)$$

### *Преимущества и недостатки методов вычисления очков*

Вариативность модификации методов достигается за счет различных подходов к подсчету того, что игрок выиграет конкретное очко. Методы строятся на спорном предположении, что вероятность выигрыша очка в матче – равномерная случайная величина [Magnus, Lassen 2001]. Для прогнозирования результатов матчей методы подходят не очень хорошо из-за невысокой точности, но позволяют достаточно точно спрогнозировать количество геймов и сетов, разыгранных в матче. Преимуществом методов также является простота использования, а недостатком – значительная трудоемкость улучшения результатов прогнозирования. Успешность прогнозов в рамках этого класса методов на достаточно больших выборках данных обычно не превышает 60%.

### *Методы попарного сравнения*

Основная идея методов попарного сравнения заключается в том, что каждому игроку присваивается некий положительный рейтинг, который характеризует уровень его навыков. Эти методы основаны на алгоритме, предложенном Бредли-Терри [Bradley, Terry 1952] и адаптированном для тенниса Ианом МакХолом [McHale, Morton 2011].

Основная идея заключается в том, что вероятность победы игрока А над игроком В рассчитывается как

$$p_A = \frac{\alpha_A}{\alpha_A + \alpha_B}, \quad (9)$$

где  $\alpha_A$  – рейтинг игрока А, а  $\alpha_B$  – игрока В. Вариативность алгоритмов данного класса достигается за счет различных методик подсчета этого рейтинга, например при помощи ЭЛО-рейтинга [Glickman 1999]. Рассмотрим один из вариантов – подсчет рейтинга, основанный на количестве выигранных геймов. Преимуществом этого метода является тот факт, что берется в расчет информация о ходе матча, т. е. разница между матчем, проигранным со счетом 6 – 0, 6 – 0 и со счетом 7 – 6, 7 – 6, существенна. Тогда вклад можно оценить по следующей формуле

$$p_A^M = L(\alpha_A, \alpha_B) \propto \frac{\alpha_A^{g_A} \alpha_B^{g_B}}{(\alpha_A + \alpha_B)^{g_A + g_B}}, \quad (10)$$

где  $g_A$  – количество выигранных геймов игроком А, а  $g_B$  – игроком В (тайм-брейк считается за обычный гейм). Приведем формулу для расчета рейтинга игрока из одной из последних работ, посвященной данному классу методов

$$L(\alpha_a(t,); a = 1, \dots, n) = \prod_{k \in Z_t} \left( \frac{\alpha_a(t, S)^{g_A} + \alpha_B(t, S)^{g_B}}{(\alpha_A(t, S) + \alpha_B(t, S))^{g_A + g_B}} \right)^{\exp(\epsilon(t - t_k)) S_k}, \quad (11)$$

где  $t$  – время матча на поверхности теннисного корта  $S$ ,  $k$  – индекс сыгранного матча,  $t_k$  – продолжительность матча  $k$ ,  $Z_t = k : t_k < t$ ,  $n$  – количество игроков в модели, параметр, зависящий от  $S$ .

Преимущества и недостатки методов попарного сравнения: методы попарного сравнения вариативны, придумать и воплотить свой метод в рамках данного класса – тривиальная задача. Однако формулы для подсчета рейтинга игрока в большинстве работ получаются эмпирическим путем. Разработать свою формулу, которая будет давать высокую точность прогнозов, – крайне нетривиальная задача, очень специфичная для каждого вида спорта. Поэтому этот подход не слишком популярен у современных исследователей. Успешность прогнозов в рамках этого класса методов на достаточно больших выборках данных обычно не превышает 65–67%.

### *Нейронные сети*

Искусственная нейронная сеть, или просто нейронная сеть – это математическая модель, а также ее программные или аппаратные реализации, построенная в некотором смысле по образу и подобию сетей нервных клеток живого организма. В настоящее время является наиболее популярным инструментом для осуществления прогнозов. Нейронная сеть работает по принципу «черного ящика», на вход ей поступает набор параметров, на выход – результат. Задачу прогнозирования выигрыша того или иного спортсмена можно отнести к задаче бинарной классификации. В задаче классификации (в частности бинарной) на выходе нейронной сети будет получена вероятность принадлежности объекта к каждому из классов классификации.

Исследователи используют исторические данные для обучения и тренировки нейронных сетей. Среди большого количества различных статистических показателей выбирается ограниченный набор показателей (обычно не более 5–7), по которым производится обучение нейронной сети. Например, показателями могут служить: процент выигранных матчей, среднее количество заработанных очков за игру, среднее время матча, среднее количество очков в розыгрыше одного гейма, среднее количество «подач навылет» за матч, «двойных ошибок» и пр. Вариативность выбора показателей и простота создания нейронных сетей при помощи современных фреймворков привлекают большое количество исследователей.

Логистическая регрессия применяется для прогнозирования вероятности возникновения некоторого события по значениям множества признаков. Для этого вводится так называемая зависимая переменная  $y$ , принимающая лишь одно из двух значений – как правило, это числа 0 (событие не произошло) и 1 (событие произошло), и множество независимых переменных (также называемых признаками, предикторами или регрессорами) вещественных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , на основе значений которых требуется вычислить вероятность принятия того или иного значения зависимой переменной. Для простоты записи вводится фиктивный признак  $x_0 = 1$ . В случае прогнозирования теннисного матча событием можно считать выигрыш матча определенным игроком.

Предположим, что вероятность наступления события  $y = 1$  равна:

$$P\{y=1|x\} = f(z), \quad (12)$$

где  $z = \theta^T x = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \dots + \theta_n x_n$ ,  $x$  и  $\theta$  – векторы-столбцы значений независимых переменных  $1, x_1, \dots, x_n$  и параметров (коэффициентов регрессии) – вещественных чисел  $\theta_0, \dots, \theta_n$  соответственно, а  $f(z)$  – так называемая логистическая функция.

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (13)$$

Тогда функцию распределения  $y$  при заданном  $x$  можно записать следующим образом:

$$P\{y=1|x\} = f(\theta^T x)^y (1 - f(\theta^T x))^{1-y}, \quad y \in 0,1 \quad (14)$$

### *Другие методы*

Существует большое количество различных классов методов машинного обучения, кратко опишем еще два наиболее популярных.

Основная идея метода опорных векторов заключается в переводе исходных векторов в пространство более высокой размерности и поиск разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором в этом пространстве. Две параллельных гиперплоскости строятся по обеим сторонам гиперплоскости, разделяющей классы. Разделяющей гиперплоскостью будет гиперплоскость, максимизирующая расстояние до двух параллельных гиперплоскостей. Алгоритм работает в предположении, что чем больше разница или расстояние между этими параллельными гиперплоскостями, тем меньше будет средняя ошибка классификатора.

Основная идея алгоритмов RandomForest заключается в использовании большого ансамбля решающих деревьев, каждое из которых само по себе дает очень невысокое качество классификации, но за счет их большого количества результат получается хорошим.

### *Преимущества и недостатки методов машинного обучения*

Благодаря современным средствам прототипирования и разработки решение задачи создания и модификации методов машинного обучения стало тривиальным. Методы разнородны, но зачастую требовательны к количеству и качеству данных для анализа. Отладка алгоритмов, основанных на принципе черного ящика, является сложной задачей, что затрудняет усовершенствование уже существующих алгоритмов. Однако методы машинного обучения позволяют прогнозировать результаты соревнований с точностью до 70% (некоторые исследователи заявляют о создании нейронных сетей, позволяющих осуществлять прогнозы с точностью до 85%, но эти работы еще не были проверены должным образом научным сообществом).

### *Заключение*

В работе рассмотрены три основных подхода для создания методов прогнозирования теннисных матчей: попарного сравнения, подсчета очков и машинного обучения. В научном сообществе в настоящее время активно развиваются методы, основанные на



алгоритмах машинного обучения, они же показывают наилучший результат прогнозирования.

Методы машинного обучения обладают гибкостью, простотой создания, показывают в целом высокие результаты прогнозирования. Именно машинное обучение можно рекомендовать взять за основу для решения задачи осуществления прогноза на теннисные матчи.

### *Литература*

---

- Burych 1971 – *Burych B.P.* Games of two players // *Applied Statistics*. 1972. Vol. 20. P. 86–88.
- Carter, Crews 1974 – *Carter S.L., Crews W.H.* An analysis of the game of tennis // *Journal of the American Statistical Association*. 1974. Vol. 28. P. 131–132.
- Enrick 1976 – *Enrick J.R.* Optimal strategies at decision points in singles squash // *Quart. Exercise Sport*. 1976. Vol. 47. P. 562–564.
- Glickman 1999 – *Glickman M.E.* Parameter estimation in large dynamic paired comparison experiments // *Applied Statistics*. 1999. Vol. 48. P. 379–381.
- Magnus, Lassen 2001 – *Magnus J.R., Lassen F.J.* Are points in tennis independent and identically distributed? Evidence from a dynamic binary panel data model // *Journal of the American Statistical Association*. 2001. Vol. 454. P. 505.
- McHale, Morton 2011 – *McHale I., Morton A.* A Bradley-Terry type model for forecasting tennis match results // *International Journal of Forecasting*. 2011. Vol. 27. P. 620.
- Pollard 1983 – *Pollard G.H.* An analysis of classical and tie-breaker tennis // *Journal of the Australian Mathematical Society*. 1983. Vol. 25. P. 498–500.
- Bradley, Terry 1952 – *Bradley R.A., Terry M.E.* Rank analysis of incomplete block designs I: the method of paired comparison // *Biometrika*. 1952. Vol. 39. P. 324–330.

### *References*

---

- Burych, B.P. (1971), “Games of two players”, *Applied Statistics*, no. 20, pp. 86-88.
- Carter, S.L. and Crews, W.H. (1974), “An analysis of the game of tennis”, *Journal of the American Statistical Association*, no. 28, pp. 131–132.
- Enrick, J.R. (1976), “Optimal strategies at decision points in singles squash”, *Quart. Exercise Sport*, no.47, pp. 562–564.
- Glickman M.E. (1999), “Parameter estimation in large dynamic paired comparison experiments”, *Applied Statistics*, no. 48, pp. 379–381.
- Magnus J.R. and Lassen F.J. (2001), “Are points in tennis independent and identically distributed? Evidence from a dynamic binary panel data model”, *Journal of the American Statistical Association*, no. 454, p. 505.
- McHale I. and Morton A. (2011), “A Bradley-Terry type model for forecasting tennis match results”, *International Journal of Forecasting*, no. 27, p. 620.

Pollard, G.H. (1983), “An analysis of classical and tie-breaker tennis”, *Journal of the Australian Mathematical Society*, no. 25, pp. 498–500.

Bradley R.A. and Terry M.E. (1952), “Rank analysis of incomplete block designs I: the method of paired comparison”, *Biometrika*, no. 39, pp. 324–330.

### *Информация об авторах*

*Алексей И. Капустин*, студент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия; 105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5; akapustin@mail.ru

*Андрей В. Куров*, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия; 105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5; avkur7@mail.ru

### *Information about the authors*

*Alexey I. Kapustin*, student, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2<sup>nd</sup> Bauman str., Moscow, 105005, Russia; akapustin@mail.ru

*Andrey V. Kurov A.*, Cand of Sci (Computer Engineering), associate professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2<sup>nd</sup> Bauman str., Moscow, 105005, Russia; avkur7@mail.ru

## Моделирование процесса защиты учебных заданий по программированию

Андрей В. Куров

*Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, avkur7@mail.ru*

Юрий В. Строганов

*Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, stroganovyu@bmsu.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрена технология тестирования студенческих программ при защите лабораторных работ. Процесс защиты предполагает внесение преподавателем изменений в программу и умение обучающегося правильно предсказать поведение программы в изменившихся условиях и дать правильные ответы. Традиционный подход предполагает выполнение проверок преподавателем. Предложен формализованный подход внесения ошибок в программу, экономящий время преподавателя. Он предполагает предоставление помимо задания шаблона, включающего директивы `#include`, `#define`, условную компиляцию. Рассматриваются программы, включающие ввод данных и некоторые вычислительные операции. Для достижения поставленных целей программа должна быть написана в соответствии с принципами структурного программирования: иметь одну точку входа и одну точку выхода, не изменять исходные данные, иметь вычисленные значения в точке выхода. Рассмотрены варианты организации шаблонов. В первом случае используются два файла: один предшествует тестируемому коду и содержит заранее подготовленные данные или операторы, создающие такие данные. Второй файл, вставляемый после тестируемого кода, содержит операторы, выполняющие проверку результата тестирования. Во втором случае используется дополнительная макропеременная, а содержимое указанных двух файлов распределено в директивах условной компиляции. Предложен вариант шаблона, позволяющий проверить структуру алгоритма, предполагающий проведение замеров времени выполнения программы. Предлагаемый подход апробирован при проведении лабораторных работ по курсу «Информатика».

*Ключевые слова:* тестирование, программа, шаблон, файл, модуль

Для цитирования: Куров А.В., Строганов Ю.В. Моделирование процесса защиты учебных заданий по программированию // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 19–32. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-19-32

## Modeling the process of asserting educational programming tasks

Andrei V. Kurov

*Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia, avkur7@mail.ru*

Yurii V. Stroganov

*Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russia, stroganovyu@bmtu.ru*

*Abstract.* The article discusses the technology of testing student programs in the assertion of laboratory work. The assertion process involves the teacher making changes to the program and the student demonstrating the ability to correctly predict the program's behavior in the changed environment and give the correct answers. Traditional approach involves also performing checks by the teacher. A formalized approach is offered for introducing errors into the program and saving the teacher's time. The approach implies the provision, in addition to the template task, including the directives #include, #define, the conditional compilation. The programs including the data input and several calculating operations are reviewed. To achieve these goals, the program must be written in accordance with the principles of structural programming: it should have one entry point and one exit point, not change the source data, and have calculated values at the exit point. The options for organizing templates are considered. In the first case, two files are used; one of them precedes the tested code and contains pre-prepared data or the statements that create them. The second file inserted after the test code contains statements that verify the test result. In the second case an additional macro variable is used and the contents of these two files is distributed in conditional compilation directives. A version of the template is proposed that allows checking the structure of the algorithm, involving measurements of the execution time of the program. The proposed approach was tested during laboratory works in the Informatics course.

*Keywords:* testing, program, template, file, module

*For citation:* Kurov, A.V. and Stroganov, Yu.V. (2019), "Modeling the process of asserting educational programming tasks", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 19–32. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-19-32

## *Введение*

Одной из важнейших дисциплин, изучаемых студентами первого курса, является информатика, основное содержание которой составляет программирование. Наряду с разработкой алгоритмов решения инженерных задач, записью их на одном из языков программирования важным этапом является выполнение тестирования и отладки создаваемой программы.

Завершающим этапом выполнения поставленного задания является предъявление программы преподавателю и защита ее. Задание считается выполненным, если программа работает в соответствии с заданием, обучающийся может ответить на вопросы, связанные с реализуемым методом, а также может спрогнозировать поведение программы при внесении в нее небольших изменений или внести необходимые изменения в программу при небольшой коррекции задания.

При традиционном подходе к проведению учебного процесса эти проверки обычно выполняет преподаватель. Но некоторые из них можно формализовать и возложить на компьютер. В первую очередь это можно отнести к тестированию программы, так как получение результата, требуемого по заданию, предполагает наличие работоспособной программы.

## *Технология тестирования студенческих программ*

В предлагаемой работе речь идет о моделировании внесения ошибок в программу и последующем тестировании [Винниченко 2005, Канер, Фолк, Нгуен 2001], встроенном в саму программу, разрабатываемую обучающимся. Для этого помимо собственно задания на разработку программы предоставляется шаблон. В таких шаблонах с помощью директив и подключаемых модулей реализуется тестирование, которое предполагается использовать после отладки программы. Структуры шаблонов могут быть одинаковыми для однотипных заданий, но наборы тестовых данных могут отличаться. Работу по созданию шаблона и тестовых данных должен заранее готовить преподаватель, так как именно ему известны метод, особенности его реализации и типовые ошибки, допускаемые обучающимися.

Согласно предлагаемой технологии тестирования студенческих программ предлагается организовать работу программы в двух режимах – без тестирования (в обычном режиме) и с тестированием. Здесь рассматривается тестирование определенных частей программы, выполняющих вычислительные операции

по обработке данных, и некоторые элементы ввода данных. При реализации поставленных целей на структуру программы накладываются некоторые ограничения, соответствующие принципам структурного программирования [Дал, Дейкстра, Хоор 1975]. К числу этих ограничений отнесены следующие: части программы должны быть функционально законченными, части программы должны иметь только одну точку входа и одну точку выхода, вычислительные части программы не должны каким-либо образом менять входные данные, должны иметь вычисленные значения в точке выхода, не должны никаким образом, кроме как путем преобразования, менять переменные, являющиеся и входными и выходными.

При создании нового проекта в консольном режиме VS C++ основная программа – файл с именем проекта и расширением .сpp изначально содержит стандартный шаблон, а разработка программы будет состоять в добавлении в стандартный шаблон операторов, объявлений, директив и т. д.

В предлагаемой технологии для автоматизации тестирования требуется заменить стандартный шаблон новым, специально разработанным для каждого задания. В новом шаблоне в минимальной реализации должны присутствовать:

- директива `#define`,
- одна или несколько директив `#include`,
- директивы условной компиляции,
- комментарии, сопровождающие эти директивы, или имеющие иное назначение.

Для нового шаблона, как и для стандартного, запрещается редактировать, удалять и изменять положение директив и комментариев и других частей шаблона. Исключением является директива `#define`, которая изначально закомментирована, т. е. представлена в виде однострочного комментария, что соответствует обычному, без тестирования, режиму работы программы.

Директивы `#include` содержат ссылки на файлы, в которых есть добавляемые в главную программу коды тестирования. Эти директивы делят разрабатываемый код программы на части, реализующие отдельные подзадачи задания, которые явно формулируются в задании, если требуется соблюсти определенные требования (например, использовать определенный метод вычисления или определенным образом организовать ввод, вывод или задание значений данным), или по умолчанию, когда нет специальных требований (например, если в задании формулируется только, какие вычисления должна выполнять программа, то ввод исходных данных должен выполняться с клавиатуры и вывод результатов – в окно программы).

В новом шаблоне могут присутствовать отдельные комментарии, не связанные с директивами, обозначающие место начала и/или конца части кода программы. Таким образом, новый шаблон может дополнять задание.

### *Варианты организации шаблонов для тестирования программ*

Рассмотрим варианты организации шаблонов для тестирования. При создании шаблонов выполняются следующие соглашения: все имена, определенные в кодах тестирования, начинаются с символа T, все файлы шаблона находятся в папке проекта и доступны просто по имени.

#### **Вариант 1 с использованием двух файлов Tf1.tst и Tf2.tst.**

Содержимое файла Tf1.tst предшествует тестируемому коду и содержит операторы, создающие или заранее подготовленные тестовые данные, далее следует тестируемый код, а за ним – операторы файла Tf2.tst, выполняющие проверку результата тестирования, а в случае необходимости, например при выявлении ошибки, вывод результата проверки и завершение работы программы.

Для проверки тестируемого кода на различных тестовых данных в файл Tf1.tst может входить оператор цикла и начало его блока, например:

```
for(int Ti = 0; Ti < Tn; Ti++)  
{
```

```
    // операторы подготовки данных для Ti-того шага тестирования.
```

```
    // где Tn – количество разных проверок при одном запуске программы.
```

```
    // А файл Tf2.tst должен содержать
```

```
        // операторы проверки результата для Ti-го шага тестирования
```

```
    } // конец цикла for(int Ti = 0; Ti < Tn; Ti++)
```

Организация цикла с параметром Ti может быть любой, но главное, чтобы подготовка тестовых данных для каждого Ti и проверка результата соответствовали друг другу.

#### **Вариант 2 с использованием одного файла Tf.tst.**

Файл содержит еще одну макропеременную Ttest2, которая изначально не определена, а содержимое файлов Tf1.tst и Tf2.tst распределено в блоках директивы условного ассемблирования так:

```
#ifndef Ttest2
    #define Ttest2
// Далее содержимое файла Tf1.tst

#else
    #undef Ttest2
// Далее содержимое файла Tf2.tst

#endif
```

При необходимости использования дополнительных библиотечных файлов и/или глобальных тестовых данных с начальными значениями или без потребуется создать содержащий их файл Tf0.tst и расположить для его вставки в программу директиву #include “Tf0.tst” непосредственно под строкой //-#define Ttest

Первыми строками во всех файлах с расширением .tst должна быть директива #ifdef Ttest.

При использовании варианта 2 файл главного модуля и включаемого по директивам #include файлами с расширением .tst шаблон программы примет следующий вид.

Структура модуля проверяемой программы:

```
#include “stdafx.h”
// -#define Ttest
#include <Tf.tst>
// <--ПП----
/*Определения переменных с начальными значениями или задаваемые операторами, заменяющими операторы ввода на время отладки. Эти переменные должны быть доступны и из кодов, вставленных в проверяемую программу из проверяющих файлов */
// >-- ПП ----
int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
{
// <--ПП----
// Здесь после отладки размещаются операторы ввода исходных данных в соответствии с // заданием
// >-- ПП ----
#include “Tf.tst”
// <-- ПП ----
// Далее должен находиться код программы, подлежащий тестированию.
// >-- ПП ----
#include “Tf.tst”
// <-- ПП ----
// Здесь размещаются операторы вывода результатов, если ранее этого сделано не было
```



```
// >-- ПП ----  
    getch();  
    return 0;  
}
```

В представленной структуре части, имеющие самостоятельное значение в проверяемой программе выделены парами комментариев вида `// <-- ПП ----` и `//>-- ПП ----`.

### Структура включаемого модуля Tf.tst (вариант 2)

```
#ifndef Ttest  
#ifndef Ttest1  
    #define Ttest1  
        // Здесь расположено содержимое файла Tf.tst, которое  
        // должно предшествовать  
        // тестируемому коду и содержит заранее подготовлен-  
        // ные тестовые  
        // данные или операторы, создающие их  
#else  
    #undef Ttest1  
// Здесь расположено содержимое файла Tf.tst, которое должно  
// следовать за  
// тестируемым кодом и выполнять проверку результата тестиро-  
// вания.  
#endif  
#undef Ttest  
#endif
```

Пример использования этого варианта шаблона был представ-лен в [Алексеев, Куров 2013].

Тестирование можно использовать не только для проверки результатов счета, но в какой-то степени и структуры алгоритма, использованного в проверяемой программе, как показано в следу-ющем примере.

**Задание.** Требуется выполнить сортировку всего массива  $mx(n)$ ,  $n \leq 100000$  модифицированным методом пузырька. Про-грамма должна работать в отладочном режиме, т. е. с начальными значениями элементов массива  $mx$  и количеством обрабаты-ваемых элементов  $n$ . Эти значения должны задаваться не путем ввода, а операторами проверяемой программы непосредственно перед сортировкой.

Разработку программы выполнить на шаблоне, включающем два файла (вариант 1) тестирования Tf1.tst и Tf2.tst, коды которых до проверки представляют директивы `#include "Tf1.tst"` и `#include "Tf2.tst"`. Наряду с этим для разметки структуры кода использо-ваны еще и комментарии вида:

```
// <---- Tf1.tst ----- начало фрагмента кода проверяемой програм-
мы,
// >---- Tf1.tst ----- конец фрагмента кода проверяемой программы,
и т. п.
```

Код главного модуля после отладки кода сортировки, но до включения режима тестирования директивой `#define Ttest` (в шаблоне она не активна, так как является частью комментария

```
// -#define Ttest) будет иметь вид:
```

```
// <----ПП-----
```

```
#include «stdafx.h»
```

```
#include <conio.h>
```

```
#include <windows.h> //для использования русских букв
```

```
#include <ctime>
```

```
//-#define Ttest
```

```
int i,j,k,d,n=20, mx[100000];
```

```
int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
```

```
{
```

```
    SetConsoleCP(1251);
```

```
    SetConsoleOutputCP(1251);
```

```
// после тестирования здесь расположить ввод исходных данных
```

```
// >----ПП-----
```

```
// <----Tf1.tst -----
```

```
#include «Tf1.tst»
```

```
// >---Tf1.tst -----
```

```
// <---ПП-----код сортировки
```

```
for( j=0; j<n-1; j++)
```

```
{
```

```
    d=0;
```

```
    for(k=0; k<n-j-1; k++)
```

```
    {
```

```
        if(mx[k] > mx[k+1])
```

```
        {
```

```
            D = mx[k];
```

```
            mx[k] = mx[k+1];
```

```
            mx[k+1] = d;
```

```
            d = 1;
```

```
        } //if(mx[k]>mx[k+1])
```

```
    } //for(k=0
```

```
    if(d == 0)
```

```
    {
```

```
        J = n-1; break;
```

```
    }
```

```
} //for( j=0;j<n-1;j++)
```

```
// >---ПП-----
```

```
// <--- Tf2.tst -----
    #include «Tf2.tst»
// >-----Tf2.tst ----
// <---ППП-----вывод результата
    for(i =0; i<20; i++)
        printf(«%3d»,mx[i]);
    printf(«\n»);
    getch();
    return 0;
} // >---ППП-----
```

Представленный ниже код главного модуля в таком виде, как если бы мы увидели его после препроцессорной обработки, то есть после выполнения директив #include “Tf1.tst” и #include “Tf2.tst”. Для запуска препроцессорной обработки следует вывести директиву #define Ttest из комментария //-#define Ttest так: поставить курсор перед знаком # и нажать Enter.

```
// ПРИМЕР 2.cpp:
// РАБОТАЕТ сравнение времени работы пузырька без модификации
// и с модификацией для массива mx из n = 100000 целых чисел:
// без модификации пузырька: n = 100000 a = 18 b = 9360 b-a =
9342 миллисекунд
// с модификацией пузырька: n = 100000 a = 9360 b = //9360 b-a
= 0 миллисекунд
```

```
// <----ППП-----
#include «stdafx.h»
#include <time.h>
#include <conio.h>
#include <windows.h>
int i,j,k,d,n=20, mx[1000000];

int _tmain(int argc, _TCHAR* argv[])
{
    SetConsoleCP(1251);
    SetConsoleOutputCP(1251);
// После тестирования здесь расположить ввод исходных данных
// >----ППП-----
// <----Tf1.tst -----
// #include «Tf1.tst»
    int a, b, c, Ti, d1, d2;
    for(Ti = 0;Ti < 3; Ti++)
    {
```

```

if(Ti == 0)
{ // подготовка к проверке упорядоченности массива
  N = 20;
  for(i = 0; i < n; i++)
    mx[i] = n-i; //по убыванию
  printf("0) ПРОВЕРКА СОРТИРОВКИ НА
  УБЫВАЮЩЕМ", "МАССИВЕ ПРИ
  n=%d:\n",n);
}
else
  if(Ti == 1)
  { // подготовка к проверке времени
  без модификации
    n = 100000;
    for(i = 0 ; i < n; i++)
      mx[i] = n - i; // по убыванию
    printf("1) ПРОВЕРКА ВРЕМЕНИ
    СОРТИРОВКИ НА",
    "УБЫВАЮЩЕМ МАССИВЕ ПРИ
    n=%d:\n",n);
    a = clock();
//получить время НАЧАЛА СОРТИРОВКИ
    printf("start a = %d\n",a);
  } //if(Ti == 1)
  else
    if(Ti == 2)
    { //подготовка к проверке
    времени с модификацией
      n = 100000;
      for(i = 0 ; i < n; i++)
        mx[i] = i; //по возрастанию
      printf("2) ПРОВЕРКА
      ВРЕМЕНИ", "СОРТИРОВКИ
      НА ВОЗРАСТАЮЩЕМ",
      "МАССИВЕ ПРИ n=%d:\n",n);
      a = clock(); //получить время
      НАЧАЛА //СОРТИРОВКИ
      printf("start a = %d\n»,a);
    } //if(Ti == 2)

//>---Tf1.tst -----
//<---ПП-----код сортировки
  for( j=0; j<n-1; j++)
  {
    d = 0;

```

```

        for(k=0; k<n-j-1; k++)
        {
            if(mx[k] > mx[k+1])
            {
                d = mx[k];
                mx[k] = mx[k+1];
                mx[k+1] = d;
                d = 1;
            } //if(mx[k]>mx[k+1])
        } // for(k=0
    if(d == 0)
    {
        j = n-1; break;
    }
} // for( j=0;j<n-1;j++)
// >---ПП-----
// <--- Tf2.tst -----
// #include «Tf2.tst»
    if(Ti == 0)
    {
        printf("\nПРОВЕРКА
        УПОРЯДОЧЕННОСТИ МАССИВА:");
        for(j=0; j<n-1; j++)
            if(mx[j] > mx[j+1])
            {
                printf("\nМАССИВ НЕ УПОРЯДОЧЕН!
                i=%d\n\n",i);
                printf("ДАЛЬНЕЙШИЕ ПРОВЕРКИ ",
                "ПРЕКРАЩЕНЫ!\nВЫХОД ИЗ
                ПРОГРАММЫ!\n");
                getch();
                return -1;
            }

        printf("\nМАССИВ УПОРЯДОЧЕН!\t");
        printf("ПРОВЕРКИ БУДУТ
        ПРОДОЛЖЕНЫ!\n\n");
    }
else
    if(Ti == 1)
    {
        b = clock();//получить время
        ОКОНЧАНИЯ СОРТИРОВКИ
        printf(«stop b = %d\n»,b);
    }
}

```

```

printf("ВРЕМЯ СОРТИРОВКИ
в миллисекундах: b-a = %d \n\n",b-a);
} //if(Ti == 1)
else
    if(Ti == 2)
        {
            b = clock();//получить время
            ОКОНЧАНИЯ СОРТИРОВКИ
            printf(«stop b = %d\n»,b);
            printf("ВРЕМЯ СОРТИРОВКИ
в миллисекундах: b-a = %d
\n\n",b-a);
        } //if(Ti==2)
    } //for( ;Ti<3;Ti++)
//>-----Tf2-----

//<---ПП----вывод результата
printf("\nВЫВОД ПРОВЕРЯЕМОЙ ПРОГРАММОЙ
20-ТИ ПЕРВЫХ “, “ЭЛЕМЕНТОВ МАССИВА:\n”);
    for(i=0; i<20; i++)
        printf(«%3d»,mx[i]);
    printf(«\n»);
    getch();
//>---ПП-----
    return 0;
} //КОНЕЦ ПРОГРАММЫ

```

Ниже представлены результаты трех проверок:

- 0) ПРОВЕРКА СОРТИРОВКИ НА УБЫВАЮЩЕМ МАССИВЕ ПРИ  $n=20$ :  
 ПРОВЕРКА УПОРЯДОЧЕННОСТИ МАССИВА:  
 МАССИВ УПОРЯДОЧЕН! ПРОВЕРКИ БУДУТ  
 ПРОДОЛЖЕНЫ
- 1) ПРОВЕРКА ВРЕМЕНИ СОРТИРОВКИ НА УБЫВАЮЩЕМ  
 МАССИВЕ ПРИ  $n=100000$ :  
 start a = 18  
 stop b = 14759  
 ВРЕМЯ СОРТИРОВКИ в миллисекундах: b-a = 14741
- 2) ПРОВЕРКА ВРЕМЕНИ СОРТИРОВКИ  
 НА ВОЗРАСТАЮЩЕМ МАССИВЕ ПРИ  $n=100000$ :  
 start a = 14760  
 stop b = 14760  
 ВРЕМЯ СОРТИРОВКИ в миллисекундах: b-a = 0

Первая проверка показала, что использованная реализация алгоритма сортировки соответствует заданию.

Вторая и третья проверки должны рассматриваться в паре. Вторая проверка на убывающем массиве фактически исключает преимущества модификации алгоритма, а третья проверка на возрастающем массиве показывает, что именно за счет модификации алгоритма обработка выполнялась практически мгновенно.

Используя в файле главного модуля тексты вариантов проверки между комментариями вида `// <--- Tf2.tst -----` и `// >--- Tf2.tst -----`, отладку можно разделить во времени и накапливать во вставляемых файлах по мере готовности.

### *Заключение*

В статье рассмотрена технология тестирования студенческих программ при защите лабораторных работ. Процесс защиты предполагает внесение преподавателем изменений в программу и умение обучающегося правильно предсказать поведение программы в изменившихся условиях и дать правильные ответы. Предложен формализованный подход внесения ошибок в программу, экономящий время преподавателя. Он предполагает предоставление помимо задания шаблона, включающего директивы `#include`, `#define`, условную компиляцию. Рассмотрены варианты организации шаблонов. Предложен вариант шаблона, позволяющий проверить структуру алгоритма. Предлагаемый подход апробирован при проведении лабораторных работ по курсу «Информатика».

### *Литература*

---

- Алексеев, Куров 2013 – *Алексеев Ю.Е., Куров А.В.* Автоматизация тестирования студенческих программ. [Электронный ресурс] // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 6. URL:<http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/768.html> (дата обращения 17 марта 2019).
- Винниченко 2005 – *Винниченко И.В.* Автоматизация процессов тестирования. СПб.: Питер, 2005.
- Дал, Дейкстра, Хоор 1975 – *Дал У., Дейкстра Э., Хоор К.* Структурное программирование. М.: Мир, 1975.
- Канер, Фолк, Нгуен 2001 – *Канер С., Фолк Дж., Нгуен Е.К.* Тестирование программного обеспечения. Киев: ДиаСофт, 2001.

*References*

---

- Alekseev, Yu.E. and Kurov, A.V. (2013), "Student programs testing automation", *Injenerny journal: nauka i innovacii* [Electronic], vol. 6, available at: <http://engjournal.ru/catalog/it/hidden/768.html> (Accessed 17 march 2019).
- Dahl, U., Dijkstra, E. and Hoar, K. (1975), *Strukturnoye programmirovaniye* [Structure programming], Mir, Moscow, Russia.
- Kaner, S., Folk, J. and Nguen, E.K. (2001), *Testirovaniye programmnoy obespecheniya* [Software testing], Diasoft, Kiev, Ukraine.
- Vinnichenko, I.V. (2005), *Avtomatizatsiya processov testirovaniya* [Testing processes automation], Piter, St. Petersburg, Russia.

*Информация об авторах*

*Андрей В. Куров*, кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия; 105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5; avkur7@mail.ru

*Юрий В. Строганов*, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия; 105005, Россия, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5; stroganovyv@bmstu.ru

*Information about the authors*

*Andrei V. Kurov*, Cand of Sci (Computer Engineering), associate professor Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2<sup>nd</sup> Bauman str., Moscow, 105005, Russia; avkur7@mail.ru

*Yurii V. Stroganov*, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; bld. 5, 2<sup>nd</sup> Bauman str., Moscow, 105005, Russia; stroganovyv@bmstu.ru



# Информационная безопасность

---

УДК 069:004.056

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-33-41

## Вопросы обеспечения информационной безопасности музейной деятельности

Наталия В. Гришина

*Российский государственный гуманитарный университет,  
Москва, Россия, grnat@rambler.ru*

*Аннотация.* Статья направлена на анализ проблемы обеспечения информационной безопасности в музейной деятельности.

Использование современных информационных технологий в учреждениях культуры призвано обеспечить сохранение культурного наследия и формирование единого культурного пространства России и мирового сообщества.

Современные технологии позволяют качественно изменить подход к хранению, использованию и организации учета музейных ценностей. Современные информационные технологии также позволяют реализовать и принципиально новые возможности музеев, например дистанционный доступ к музейным ценностям.

В то же время появилось множество новых проблем, связанных с использованием и корректным функционированием информационных технологий в музейной деятельности. Поскольку музеи как объекты культуры одновременно стали и объектами информатизации, к ним должны предъявляться соответствующие требования по обеспечению информационной безопасности.

Информация на таких объектах подвержена различным дестабилизирующим воздействиям, которые могут привести к нарушению установленного ее статуса: физической сохранности, целостности, доступности, а в случае необходимости – конфиденциальности.

Следовательно, для обеспечения успешного функционирования объектов культуры необходимо обеспечить решение целого комплекса принципиально новых для музеев проблем, связанных с обеспечением информационной безопасности объектов указанной категории.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, защита информации, человеческий фактор, музейная деятельность, информационные риски, объекты культуры

---

© Гришина Н.В., 2019

Для цитирования: Гришина Н.В. Вопросы обеспечения информационной безопасности музейной деятельности // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 33–41. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-33-41

## Issues of ensuring information security of museum activities

Nataliya V. Grishina

*Russian State University for the Humanities,  
Moscow, Russia, grnat@rambler.ru*

*Abstract.* The article is aimed at analyzing the issue of ensuring information security in museum activities.

The use of modern information technologies in cultural institutions is designed to ensure the preservation of the cultural heritage and the formation of an integrated cultural space of Russia and the world community.

Modern technologies allow a qualitative change in the approach to the storage, use and organization of accounting for museum values. Modern information technologies also make it possible to realize fundamentally new opportunities for museums, for example, remote access to museum values.

At the same time, many new issues appeared related to the use and correct functioning of information technologies in museum activities. Since museums as objects of culture also became objects of informatization, they should meet certain requirements for ensuring information security.

Information at such facilities is subject to various destabilizing influences that may lead to a violation of its established status: physical safety, integrity, accessibility, and, if necessary, confidentiality.

Consequently, to ensure the successful functioning of cultural objects, it is necessary to provide a solution to a whole range of fundamentally new issues for museums related to ensuring information security of objects of that category.

*Keywords:* information security, information protection, the human factor, museum activities, information risks, cultural objects

*For citation:* Grishina, N.V. (2019), "Issues of ensuring information security of museum activities", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 33–41. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-33-41

## *Введение*

В государственной программе Российской Федерации «Информационное общество (2011–2020)», первая редакция которой была одобрена распоряжением Правительства от 20 октября 2010 г. № 1815-р., в «Доктрине информационной безопасности Российской Федерации», и ряде других документов подчеркнута необходимость применения «информационных технологий в интересах сохранения культурных, исторических и духовно-нравственных ценностей многонационального народа Российской Федерации»<sup>1</sup>.

Использование современных информационных технологий в учреждениях культуры призвано обеспечить сохранение культурного наследия и формирование единого культурного пространства России и мирового сообщества.

Можно сказать, что в XXI в. информационное общество уже сформировалось. Сегодня важным фактором стал уровень культуры, образование населения. А развитие сферы культуры России можно назвать одним из национальных приоритетов страны. Множество людей стремятся повысить свой культурный уровень, в том числе и занимаясь самообразованием. Музеи, конечно, вовлечены в этот процесс, поскольку они, распространяя огромные объемы информации, представляют собой особое явление культуры.

Получение доступа к культурным ценностям является одним из важнейших прав человека. Роль государственного участия в культурной жизни общества невозможно переоценить.

## *Информационная безопасность современного музея*

За последние десятилетия в музеях страны произошли серьезные изменения. Появились новые и порой качественно новые музеи. Музеи перестали быть просто хранилищами экспонатов. Особого внимания в музее требует организация процесса трансляции новых знаний и передачи накопленного культурного наследия обществу.

История развития музеев в информационном направлении насчитывает несколько десятилетий.

В России работа по информатизации музейной деятельности началась в прошлом веке. В восьмидесятые годы XX в. Международной совет музеев коллегиальным решением предложил

---

<sup>1</sup> Доктрина информационной безопасности Российской Федерации. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г., № 646.

внедрять информационные технологии в музейную деятельность. Именно это решение и положило начало работ в указанном направлении.

В мае 1996 г. в России была учреждена Ассоциация по документации и новым информационным технологиям в музеях. Также было принято решение о проведении ежегодной конференции. Причем с целью привлечения все новых регионов для обсуждения проблем информатизации музеев, архивов, библиотек предполагалось ее проведение в разных регионах России.

Начиная с 1997 г. указанная конференция стала одним из важнейших всероссийских мероприятий. Она объединила руководителей музеев, библиотек и архивов, хранителей, специалистов по связям с общественностью, менеджеров мультимедиа и интернет-проектов, IT-специалистов, а также представителей коммерческих компаний, производителей оборудования и разработчиков цифровых продуктов для учреждений культуры.

Ассоциация по документации и новым информационным технологиям в музеях – это дружественная среда общения технических специалистов и гуманитариев, объединенных одной идеей – сохранения культурного наследия и обеспечения широкого доступа к культурным ценностям с помощью цифровых технологий.

Профессиональное общение на указанном форуме рассчитано как на опытных специалистов, так и тех, кто только начинает заниматься вопросами оцифровки культурного наследия, составлением Госкаталога, созданием сайтов и мультимедиа продуктов.

Поскольку в настоящее время в условиях нового информационного общества в деятельности объектов культуры широко применяются информационные технологии, музеи как объекты культуры стали и объектами информатизации.

Поэтому для обеспечения успешного функционирования музеев необходимо обеспечить решение целого комплекса принципиально новых для музеев проблем, связанных именно с обеспечением информационной безопасности объектов указанной категории.

Информация о таких объектах подвержена различным дестабилизирующим воздействиям, которые могут привести к нарушению установленного ее статуса: физической сохранности, целостности, доступности, а в случае необходимости – конфиденциальности.

Таким образом, наряду с охраной материальных объектов культуры актуальным является вопрос обеспечения информационной безопасности, гарантирующей целостность, достоверность и доступность культурно-исторической информации в современном обществе.

В то же время механизмы обеспечения целостности, доступности и, при необходимости, конфиденциальности имеющихся и вновь создаваемых информационных активов в сфере культуры проработаны в недостаточной мере. И это при наличии многочисленных информационных угроз, направленных на культурные ценности. Причем большинство угроз даже не идентифицированы и не ранжированы. А это должно быть сделано, особенно в отношении уникальных объектов, поскольку относительно них трудно оценить риски и ущерб.

В общем случае можно выделить основные информационные риски функционирования музейных информационных систем:

- риск перебоев в работе и (или) прекращение работы средств вычислительной техники;
- риск хищения информации;
- риск искажения информации;
- риск разрушения данных;
- риск нарушения авторских прав музея;
- риск ошибки операторов информационной системы;
- риск сбоев программного обеспечения;
- риск неисправности аппаратных устройств (в результате халатных действий сотрудников, несоблюдения техники безопасности, природных катаклизмов, сбоев программных средств и т. д.) [Гришина 2018, с. 99].

Для организаций культуры должна быть сформирована методика разработки политики информационной безопасности как объекта информатизации. Необходимо закрепить цель, задачи и принципы обеспечения информационной безопасности.

Вместе с тем процесс защиты информации должен иметь регулярный характер и осуществляться на всех этапах жизненного цикла систем обработки информации.

Организация защиты информации должна быть системной и обеспечивать уровень защиты соответствующий категории объектов культурных ценностей, для чего требуются значительные финансовые затраты. Поэтому существенной проблемой при реализации мероприятий по организации защиты информации может оказаться недостаточность финансирования.

Отдельно отметим проблему «человеческого фактора». Человек – самое главное и самое слабое звено в системе обеспечения информационной безопасности. Причем порой и вина человека не очевидна: он может не знать необходимых требований, а следовательно, не может их выполнять.

Его действия могут быть как преднамеренными, так и случайными. Он может руководствоваться разными мотивами, попасть под влияние злоумышленника и т. д.

Обязательным требованием для объекта информатизации является текущая работа с персоналом. Прежде всего это обучение, проведение воспитательной работы, контроль, инструктирование. Важное значение имеет мотивация. Необходимо организовать работников таким образом, чтобы для них сам процесс обеспечения защиты информации был не только обязательным требованием, но и осознанной необходимостью.

Регулярное проведение служебных расследований по фактам утраты информации и нарушений персоналом требований по защите информации также может быть хорошей профилактической мерой повышения информационной безопасности.

В Институте информационных наук и технологий безопасности Российского государственного гуманитарного университета также ведется научно-исследовательская работа в рассмотренной предметной области. Работает ежегодная межвузовская научно-практическая конференция «Проблемы формирования, развития и обеспечения безопасности единого цифрового культурно-исторического пространства России». В 2019 году конференция состоялась 14 ноября. Было представлено 17 докладов по четырем направлениям:

- проблемы развития и обеспечения сохранности культурного наследия;
- проблемы безопасности цифрового наследия России;
- противодействие экстремизму в цифровом пространстве культуры;
- проблемы информатизации в гуманитарной сфере.

Подготовлены и защищены несколько выпускных квалификационных работ. Все представленные работы объединяет один вывод: в учреждениях культуры не уделяют должного внимания защите объектов культурного наследия, а именно не проработаны мероприятия по защите, не разработан комплекс локальной документации, не проводится систематическая работа с персоналом и т. д.

Исследования проходили по различным направлениям: разработка программного обеспечения и организационного обеспечения.

В рамках разработки программного обеспечения представлены две работы.

Выпускная квалификационная работа Костина С.Д. направлена на разработку 3D-модели музейного экспоната для виртуальной экспозиции в ГЦТМ им А.А. Бахрушина. В работе проведен анализ

продуктов-аналогов. Сформулированы требования к разрабатываемой модели. Результатом работы стал алгоритм создания трехмерной модели по плоскостному изображению. Используя современные информационные технологии и программное обеспечение, автору удалось реализовать 3D-изображение «Палаты Берендея», нарисованной для оперы Н.А. Римского-Корсакова «Снегурочка» К.Ф. Вальцем.

Следующая работа подготовлена Юдиным А.Н. на тему «Разработка информационной системы учета единиц хранения для ГЦГМ им А.А. Бахрушина». Ее целью является разработка многофункциональной информационной системы управления. Реализация и внедрение такой системы позволит автоматизировать процесс регистрации поступивших единиц экспонатов и упростит поиск сведений, систематизацию информации. Также благодаря автоматизации снизится риск погрешностей при введении сведений и их потери. В работе описана концептуальная, логическая и физические модели данных. Выполнено проектирование и разработка ресурса. Используются современные информационные технологии: СУБД MySQL5, язык программирования PHP5, Веб сервер Apache 2.4.12.

В выпускной квалификационной работе Ереминой М.А. рассмотрены вопросы, связанные с анализом организационно-технических мер защиты баз данных музея. Подробно проанализировано текущее состояние защиты баз данных и разработаны предложения по совершенствованию организационно-технических мер ее защиты.

В работе показано, что предложенные меры позволяют уменьшить вероятность проявления угроз информационной безопасности, обеспечить сохранность персональных данных сотрудников, коммерческой тайны и иной информации.

Фенина И.Ю. представила выпускную квалификационную работу, цель которой – разработка технологии оцифровки музейных предметов и организация методов безопасного хранения данных в деятельность сектора современных технологий и маркировки музейных предметов Государственного центрального театрального музея им. А.А. Бахрушина.

Актуальность данной работы определяется развитием информационной среды, что привело к тому, что оцифровка музейных предметов стала неотъемлемой частью деятельности музеев. Создаются электронные копии подлинников для того, чтобы их можно было использовать, например в читальных залах, при этом сберечь оригинал, а также для выполнения государственных программ и планов по переводу в цифровой формат культурного исторического наследия.

В выпускной квалификационной работе представлена модель угроз безопасности. В соответствии с этой моделью сформулированы требования к организации хранения электронных копий архивно-рукописных материалов. Разработаны инструкция по оцифровке архивно-рукописных материалов, рекомендации по сканированию документов и хранению электронных копий музейных предметов.

Практика оцифровки документов, имеющих культурно-историческое значение, все больше распространяется в музеях Российской Федерации. С ее помощью возможно решить несколько задач:

- повысить уровень доступа к информации о музейных предметах;
- обеспечить сохранность подлинников;
- уменьшить площади архивных помещений;
- организовать удобный поиск информации и ее эффективный учет.

Основным преимуществом электронных документов является оптимизация работы, увеличение эффективности в целом и упрощение ведения учета музейных предметов. Так, например, при частом обращении к бумажным документам есть риск их повреждения (особенно старинных, ветхих архивно-рукописных материалов), а из-за плохо организованной системы хранения есть вероятность их «потери» в огромном количестве документов.

И еще одна работа. Ее представила Чиркунова А.В. Целью работы является анализ и разработка организационно-технических мероприятий по защите объекта культурного наследия Государственного центрального театрального музея им. А.А. Бахрушина.

В работе показано, что внедрение системы защиты музейных объектов и коллекций в музее является одной из основных задач в культурной сфере для эффективного функционирования всей деятельности в этой области, а также для сохранения музейных ценностей. Разработка организационно-технических мероприятий – первоначальная стадия внедрения системы защиты.

## *Заключение*

В статье затронуты далеко не все проблемы, которые возникают в связи с использованием информационных технологий в музейной деятельности, да такая задача и не ставилась. Главная задача состояла в том, чтобы показать, что в век цифровизации и информационных технологий учреждения культуры должны рассматриваться как объекты информатизации. Следовательно, на объектах культуры – объектах информатизации необходимо обеспечивать требования информационной безопасности.



*Литература*

---

Гришина 2018 – *Гришина Н.В.* Музейные информационные системы и информационные риски их использования // Вестник Московского финансово-юридического университета. 2018. № 4. С. 95–101.

*References*

---

Grishina, N.V. (2018) “Museum information systems and information risks of their use”, *Vestnik Moscovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta*, no. 4, pp. 95–101.

*Информация об авторе*

*Наталья В. Гришина*, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125993, Россия, Москва, Миусская пл., 6; grnat@rambler.ru

*Information about the author*

*Nataliya V. Grishina*, Cand. of Sci. (Computer Science), associate professor. Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld.6, Miusskaya sq., Moscow, Russia, 125993; grnat@rambler.ru

Меры нейтрализации воздействия  
нарушителя информационной безопасности  
на подсистему биометрической аутентификации  
специальной информационной системы

Дмитрий С. Карпов

*Российский государственный гуманитарный университет,  
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова,  
Москва, Россия, kds-zn@mail.ru*

Андрей А. Раковенко

*Военная академия РВСН имени Петра Великого,  
Балашиха, Россия, gonza028@yandex.ru*

*Аннотация.* Обеспечение требуемого уровня информационной безопасности подсистемы биометрической аутентификации системы контроля и управления доступом специальной информационной системы диктует необходимость определения возможностей нарушителя по воздействию на подсистему биометрической аутентификации: выявления ее уязвимых компонентов, этапов переработки информации, на которых воздействия наиболее вероятны, сценариев атак, связанных с воздействием на процесс биометрической аутентификации для последующего принятия защитных мер по противодействию нарушителю.

В работе проведен анализ необходимых условий для реализации возможностей нарушителя по воздействию на подсистему биометрической аутентификации, классификация воздействий нарушителя по типу активности используемых им механизмов и по способу реализации воздействий. Определены характерные точки воздействия нарушителя на типовую подсистему биометрической аутентификации, реализованную на основе статической биометрии и классического решающего правила, соответствующие определенным этапам процесса биометрической аутентификации.

На основе анализа возможностей нарушителя информационной безопасности по воздействию на подсистему биометрической аутентификации специальной информационной системы предложены меры предупреждения его воздействий и противодействия им.

Полученные результаты могут быть использованы для выработки политики безопасности, нейтрализующей либо значительно снижающей

эффективность атак и позволяющей обеспечить необходимый уровень информационной безопасности.

*Ключевые слова:* угроза безопасности информации, подсистема биометрической аутентификации, биометрический образ, система контроля и управления доступом, информационная система, нарушитель информационной безопасности, информационная безопасность

*Для цитирования:* Карпов Д.С., Раковенко А.А. Меры нейтрализации воздействия нарушителя информационной безопасности на подсистему биометрической аутентификации специальной информационной системы // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 42–52. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-42-52

## Measures to neutralize the impact of the information security violator on the biometric authentication subsystem of the special information system

Dmitrii S. Karpov

*Russian State University for the Humanities,  
Plekhanov Russian University of Economics,  
Moscow, Russia, kds-zn@mail.ru*

Andrei A. Rakovenko

*The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great,  
Balashikha, Russia, gonza028@yandex.ru*

*Abstract.* Providing the required level of information security for the biometric authentication subsystem of the access control system of a special information system dictates the need to determine the capabilities of the intruder to affect the biometric authentication subsystem. That is to identify its vulnerable components, the stages of the information processing at which such impact is most likely to occur, the attack scenarios related to the impact on the biometric authentication process for the subsequent taking the protective measures against action of the violator.

The article analyzes the conditions necessary for the intruder to realize his capabilities in influencing the biometric authentication subsystem, it classifies actions of the intruder by the operation type of the mechanisms he used and by the method of the impact realization.

The paper determines characteristic points of the intruder's influence upon a typical subsystem of biometric authentication, which are realized on the basis of static biometrics and the classical decisive rule, corresponding to certain stages of the biometric authentication process. Proceeding from the

analysis of possibilities of the information security violator in terms of the impact on the biometric authentication subsystem of the special information system measures of the prevention of its influences and counteraction to them are offered.

The results obtained can be used to develop a security policy that neutralizes or significantly reduces the effectiveness of attacks and allows providing the necessary level of information security.

*Keywords:* threat to the security of the information, subsystem of the biometric authentication, the biometric image, the system control and the access control, information system, the information security violator, information security

*For citation:* Karpov, D.S. and Rakovenko, A.A. (2019), "Measures to neutralize the impact of the information security violator on the biometric authentication subsystem of the special information system", *RSUH/RGGU Bulletin. "Informatics. Information security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 42–52. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-42-52

## *Введение*

Высокая сложность и одновременно уязвимость специальных информационных систем (СИС), а также возросшие технические возможности нарушителей приводят к возникновению принципиально новых угроз и ужесточению требований по обеспечению безопасности информации в СИС [Карпов, Спивак 2015]. Эти угрозы связаны прежде всего с потенциальной возможностью формирования механизмов внутри СИС, позволяющих использовать саму систему и ее ресурсы для решения задач, несовместимых с ее основным предназначением [Роганов, Борисов, Карпов 2013]. Ужесточение требований по обеспечению безопасности информации в СИС обуславливает необходимость повышения уровня безопасности в системах контроля управления доступом (СКУД) СИС. В этих условиях для повышения уровня безопасности информации актуальным является применение подсистемы биометрической аутентификации (ПБА) в СКУД СИС [Раковенко, Карпов, Гладышев 2016]. Преимущества использования методов биометрической аутентификации (БА) в СКУД СИС очевидны – биометрическое распознавание позволяет обеспечить аутентификацию пользователей, более надежную по сравнению с применением классических методов, таких как пароли, карты доступа и т. д.

Основными, применяемыми в ПБА СКУД СИС методами БА, использующими статические биометрические характеристики пользователя, являются методы аутентификации по папиллярному рисунку пальцев рук, радужной оболочке и/или сетчатке глаза,

геометрии лица, геометрии рук, рисунку сосудов ладони. Помимо этого существует класс методов, использующих динамические биометрические характеристики пользователя: голос, сердечный ритм, динамику рукописного почерка, походку. Динамические биометрические характеристики, в отличие от статических, зависят от физического и психологического состояния пользователя и имеют более низкую достоверность аутентификации, что не позволяет их использовать в ПБА СКУД СИС в качестве основного способа аутентификации, но они могут применяться как дополнительный или вспомогательный способ аутентификации для снижения уровня ошибок 1-го и 2-го рода.

Обеспечение требуемого уровня информационной безопасности ПБА СКУД СИС требует определения возможностей нарушителя по воздействию на ПБА: выявления уязвимых компонентов ПБА, этапов переработки информации, на которых воздействия наиболее вероятны, сценариев атак, связанных с воздействием на процесс БА и последующего принятия защитных мер по противодействию нарушителю.

Нарушитель информационной безопасности для реализации атак на ПБА СКУД СИС должен обладать:

- информацией о недостатках аппаратной реализации ПБА и системы в целом;
- информацией о способах и структуре хранения информации в системе;
- знанием протоколов, используемых при передаче данных в ПБА СКУД СИС;
- знанием методов и алгоритмов переработки данных в СИС;
- умением синтезирования данных в соответствии с требованиями системы;
- умением выбирать эффективные и результативные методы при планировании и реализации атаки на систему [Раковенко 2016].

Возможности воздействия нарушителя информационной безопасности на ПБА СКУД СИС нужно определять с учетом структурно-функциональных характеристик, возможных уязвимостей ПБА, способов реализации угроз безопасности информации и последствий от нарушения свойств безопасности информации.

Воздействия нарушителя на ПБА по типу активности используемых им механизмов могут быть классифицированы на два класса:

- использующие активные механизмы – тип воздействий, при которых существует возможность записывать, модифицировать, читать и перехватывать информацию на программном и аппаратном уровнях ПБА СКУД СИС;

- использующие пассивные механизмы – тип воздействий, при которых воздействие возможно только на уровне сканера захвата биометрического образа.

Воздействия нарушителя на компоненты ПБА и соответствующие им процессы преобразования и обработки информации по способу реализации могут быть классифицированы на следующие классы:

- с использованием процедуры извлечения шаблона;
- с использованием уровня порогового значения при принятии решения;
- с использованием протокола аутентификации;
- с использованием нелегитимной модификации шаблона;
- с использованием протокола передачи данных.

#### *Точки воздействия нарушителя на проведение биометрической аутентификации СИС*

Определим характерные точки воздействия нарушителя на типовую ПБА СКУД СИС, реализованную на основе статической биометрии и классического решающего правила, соответствующие определенным этапам процесса БА (рис. 1). Каждая из этих точек характеризуется уязвимым компонентом ПБА, объектом воздействия, временным этапом процесса БА и возможными сценариями воздействия нарушителя (атак).

В точке 1 уязвимым компонентом ПБА является устройство захвата и первичного преобразования биометрического образа (сканер). Злоумышленник в этой точке способен осуществить несколько типовых атак:

- атака на анонимность пользователей системы с различными правами доступа (определяются персональные данные пользователя для последующей компрометации);
- компрометация или случайный подбор статистического биометрического образа человека на физическом уровне;
- воздействие с использованием методов случайного подбора;
- использование муляжа для получения доступа в систему.

Вероятность компрометации физического биометрического образа может быть снижена при организации проведения БА в контролируемой зоне или в зоне, где выполнены организационно-технические мероприятия по обеспечению требуемого уровня безопасности для проведения аутентификации<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> ГОСТ Р 52633.0-2006 Защита информации. Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации [Электронный ресурс] // АО «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200048922/> (дата обращения 09 ноября 2019).

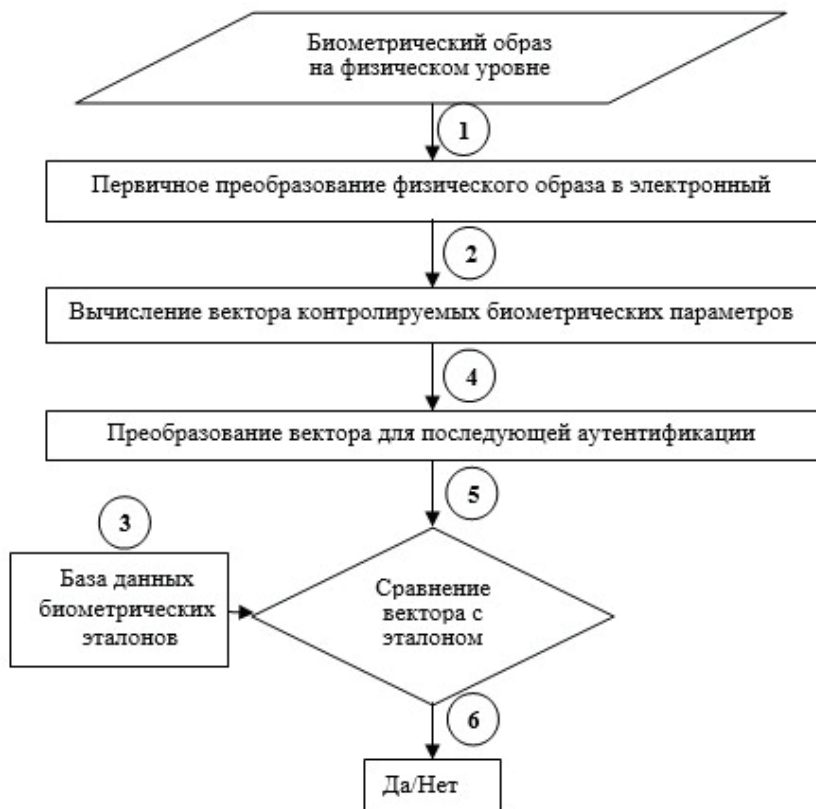


Рис. 1. Точки типовых атак в ПБА СКУД СИС

Вероятность случайного подбора биометрического образа пользователя на физическом уровне может быть снижена путем назначения граничного числа попыток аутентификации и повышения его информативности<sup>2</sup>.

Воздействие нарушителя на ПБА в точках 2–6 может осуществляться при условии наличия у нарушителя возможности получения доступа к программному обеспечению (ПО) ПБА СКУД СИС.

<sup>2</sup> ГОСТ Р ИСО/МЭК 19795-1-2007 Автоматическая идентификация. Идентификация биометрическая. Эксплуатационные испытания и протоколы испытаний в биометрии. Часть 1. Принципы и структура [Электронный ресурс] // АО «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200067413> / (дата обращения 09 ноября 2019).

В точке 2 объектом воздействия нарушителя является биометрический образ, преобразованный в электронную форму. При этом возможна реализация трех сценариев атак:

- компрометация электронного биометрического образа;
- случайный подбор электронного биометрического образа или использование базы электронных биометрических образов, заготовленной заранее, для перебора;
- использование ранее скомпрометированного биометрического образа пользователя, имеющего доступ в систему.

Вероятность компрометации электронного биометрического образа нарушителем может быть снижена путем использования механизма контроля целостности применяемого в ПБА ПО и аудита вычислительных процессов, выполняющихся параллельно процедурам биометрической аутентификации. Возможен частичный или полный перенос всех биометрических и криптографических операций в специализированную вычислительную среду (токен, флэш-память, карта доступа и т. д.). Кроме того, компрометация тайного биометрического образа человека может быть снижена за счет смены с различной периодичностью биометрического образа (биометрического кода) пользователя, что в свою очередь снизит возможности нарушителя.

Возможность случайного подбора электронного биометрического образа может быть снижена путем увеличения сложности преобразователя и изменения процедуры преобразования биометрического вектора параметров.

В точке 3 воздействие нарушителя осуществляется на шаблон биометрического образа пользователя, хранящийся в системе. Очевидно, что подмена биометрического шаблона легитимного пользователя на шаблон злоумышленника в ПБА СКУД СИС не позволит системе реализовать соответствующую функцию по разграничению доступа в СИС.

В этом случае возможна реализация двух сценариев атак:

- компрометация шаблона биометрического образа пользователя для возможности создания нарушителем баз биометрических шаблонов;
- подмена шаблона легитимного пользователя, имеющего право доступа в систему на биометрический шаблон нарушителя.

В точке 4 воздействие нарушителя осуществляется на механизм преобразования биометрического образа в вектор биометрических параметров, что позволяет нарушителю реализовать три сценария атаки на ПБА:

- компрометация вектора параметров биометрического образа;
- подмена вектора на ранее скомпрометированный;



- случайный подбор из заранее заготовленной базы электронных биометрических образов.

Наиболее уязвимым в процедуре биометрической аутентификации является механизм принятия решения или решающее правило, определяющее легитимность пользователя. Воздействие на этот механизм возможно как с начала преобразования информации в механизм принятия решения, так и на его выходе, путем подмены решения.

В точке 5 наиболее эффективным сценарием воздействия нарушителя может стать метод, основанный на искажении допусков решающего правила. При этом допуски решающего правила достаточно изменить до состояния, когда решение о признании легитимности пользователя будет осуществляться при применении любого биометрического образа.

Наиболее эффективным воздействием нарушителя на точку 6 является атака на «последний бит» решающего правила. Выявление в информации, используемой механизмом принятия решения, «последнего бита» решающего правила позволит нарушителю изменить его и таким образом нейтрализовать систему защиты.

Не стоит также забывать о возможности блокирования работы системы, связанной с потенциальной недоступностью биометрического образа легитимного пользователя из-за утраты и существенного искажения. Для предотвращения подобной ситуации необходимо предусмотреть в ПБА наличие режима, в котором процедура биометрической аутентификации дополняется классическими процедурами аутентификации под контролем системы безопасности. Информация для проведения классических процедур аутентификации при этом должна находиться в специализированном защищенном месте хранения, а доступ к этой информации осуществляться в присутствии лица, отвечающего за обеспечение информационной безопасности системы. Данный режим аутентификации может использоваться в случае невозможности получения биометрического образа пользователя при нахождении его в физическом или психоэмоциональном состоянии, не позволяющем получить биометрический образ, например при получении им травм. Для повышения уровня защищенности системы необходимо ввести в процедуру аутентификации в этом режиме проверку для определения соответствия полученного ключа действительному для исключения возможности компрометации (например, с использованием процедуры сравнения хэш-функций).

Проведенный анализ возможностей воздействия нарушителя на ПБА позволяет выработать соответствующие меры противодействия с целью обеспечения требуемого уровня информационной безопасности СИС.

*Меры предупреждения воздействий нарушителя  
информационной безопасности на ПБА СКУД СИС  
и противодействия им*

1. Организация физической защиты мест размещения средств БА и ПО ПБА или организация их размещения в контролируемой зоне.
2. Проведение проверки целостности устройств и ПО средств БА с заданной периодичностью. Целостность ПО ПБА может быть обеспечена резервированием программных средств обработки информации в ПБА, которые могут быть использованы при обнаружении инцидентов информационной безопасности, связанных с нарушением целостности программных продуктов или с неисправностью механизмов ввода биометрических данных, их преобразования и переработки.
3. Обеспечение возможности применения ПБА СКУД СИС без физической защиты и/или вне контролируемой зоны только при условии обеспечения гарантий целостности программных и аппаратных компонентов средств защиты и сохранения в тайне предъявляемого биометрического образа<sup>3</sup>.
4. Ограничение количества попыток предоставления биометрического образа на различных этапах аутентификации с целью уменьшения возможности подбора нарушителем образа для авторизации в системе.
5. Использование в ПБА СКУД СИС «мультибиометрической» системы распознавания, основанной на использовании при БА нескольких биометрических признаков.
6. Использование в ПБА СКУД СИС многофакторной аутентификации, подразумевающей применение наряду с биометрическими методами методов классической аутентификации с использованием пароля, карты, токена и т. д.
7. Проведение обучения персонала по вопросам необходимости и порядка проведения биометрической аутентификации. Процедура биометрической аутентификации не должна вызывать страх и неприятие у персонала. Психофизическое состояние пользователей, проходящих процедуру аутентификации, должно соответствовать требуемому уровню. При этом персонал должен быть осведомлен и подотчетен за обеспечение информационной безопасности при исполнении своих должностных обязанностей.

---

<sup>3</sup> ГОСТ Р 52633.0-2006 Защита информации. Техника защиты информации. Требования к средствам высоконадежной биометрической аутентификации [Электронный ресурс] // АО «Кодекс». URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200048922/> (дата обращения 09 ноября 2019).

8. Назначение компетентного специалиста, ответственного за эксплуатацию и администрирование ПБА СКУД СИС.

### *Заключение*

Проведенный анализ возможностей воздействия нарушителя информационной безопасности на ПБА СКУД СИС позволяет выработать соответствующие меры предупреждения воздействий нарушителя и противодействия им. Полученные результаты могут быть использованы при разработке политики безопасности СИС, позволяющей нейтрализовать либо существенно снизить эффективность деструктивного воздействия на СИС, что позволит обеспечить требуемый уровень информационной безопасности СИС.

### *Литература*

---

- Карпов, Спивак 2015 – *Карпов Д.С., Спивак А.И.* Об одном способе воздействия на информационные ресурсы, имеющих выход в сеть интернет // *Материалы межд. науч.-практ. конф. «Ценности и интересы современного общества»*. Часть 3: «Современные парадигмы информационных технологий в развитии общества». М.: МЭСИ, 2015. С. 88–93.
- Раковенко 2016 – *Раковенко А.А.* Алгоритм повышения эффективности функционирования подсистемы биометрической аутентификации специальной информационной системы // *Двойные технологии*. 2016. № 4 (77). С. 15–19.
- Раковенко, Карпов, Гладышев 2016 – *Раковенко А.А., Карпов Д.С., Гладышев А.И.* Распознавания сосудистого русла в подсистеме биометрической аутентификации системы контроля управления доступом автоматизированной системы управления // *Цивилизация знаний: российские реалии: труды шестнадцатой Межд. науч. конф., Москва, 24-25 апреля 2015*. М.: Российский новый университет, 2015. С. 294–297.
- Роганов, Борисов, Карпов 2013 – *Роганов А.А., Борисов Р.С., Карпов Д.С.* Системы передачи информации: Учеб. пособие по специальности 230201 «Информационные системы и технологии». Часть 1. М.: РГУТиС, 2013.

### *References*

---

- Karpov, D.S. and Spivak, A.I. (2015), "About one method of influence on the information resources having access to the Internet", *Proc. of the Int. Sci. and Pract. Conf. "Values and interests of modern society", part 3 "Modern paradigms of information technologies in the development of society"*, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, Moscow, Russia, pp. 88–93.

- Rakovenko, A.A. (2016), "An algorithm to increase the efficiency of the functioning of the biometric authentication subsystem of the special information system", *Dvoynye tehnologii*, no. 4 (77), pp. 15–19.
- Rakovenko, A.A. Karpov, D.S. and Gladyshev, A.I. (2016), "Vascular bed recognition technology in the biometric authentication subsystem in the access control system in automated control systems", *Proc. of the 16<sup>th</sup> Int. Sci. Conf. "Civilization of knowledge: Russian realities"*, Moscow, April 25-26, 2015, Rossiiskii novyi universitet, Moscow, Russia, pp. 294–297.
- Roganov, A.A., Borisov, R.S. and Karpov, D.S. (2013), *Sistemy peredachi informatsii: Ucheb. posobie po spetsial'nosti 230201 "Informatsionnye sistemy i tekhnologii". Chast' 1.* [Information transfer systems: Textbook for the specialty 230201 "Information systems and technologies". Part 1], RGUTiS, Moscow, Russia.

### *Информация об авторах*

*Дмитрий С. Карпов*, кандидат технических наук, доцент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125993, Россия, Москва, Миусская пл., 6;

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия; 117997, Россия, Москва, Стремянный пер., 36, kds-zn@mail.ru

*Андрей А. Раковенко*, кандидат технических наук, Военная академия РВСН имени Петра Великого, Балашиха, Россия; 143900, Россия, Балашиха, ул. Карбышева, 8, gonza028@yandex.ru

### *Information about the authors*

*Dmitrii S. Karpov*, Cand. of Sci. (Engineering), associate professor, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld. 6, Miusskaya Square, Moscow, Russia, 125993;

Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia; bld. 36, Stremyanny lane, Moscow, Russia, 117997; karpov.ds@rea.ru

*Andrei A. Rakovenko*, Cand. of Sci. (Engineering), The Military Academy of Strategic Rocket Troops named after Peter the Great, Balashikha, Russia; bld. 8, Karbyshev str., Balashikha, Russia, 143900; gonza028@yandex.ru

УДК 533

DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-53-74

Выдающийся воспитанник  
Московского университета  
Лев Васильевич Овсянников (1919–2014)  
и развитие теории околосвуковых течений газа

Андрей Н. Богданов

НИИ механики МГУ, Москва, Россия,  
bogdanov@imec.msu.ru

*Аннотация.* В статье рассказывается о жизни и некоторых направлениях научных исследований выдающегося советского и российского ученого в области математики и механики академика Льва Васильевича Овсянникова. Воспитанник Московского университета и Ленинградской Краснознаменной военно-воздушной инженерной академии, Л.В. Овсянников являлся участником Великой Отечественной войны, после ее окончания принимал участие в создании отдельных видов ядерного оружия. Один из создателей Новосибирского академгородка, занимал руководящие должности в научных и учебных организациях Сибирского отделения АН СССР, создал научную школу в области механики. Исследования Л.В. Овсянникова в начале его научной работы, 1949–1962 гг., в основном относились к теории околосвуковых течений газа. Им были выполнены аналитические исследования тонких вопросов структуры течений при околосвуковых скоростях методами, восходящими к работам С.А. Чаплыгина. В дальнейшем научные интересы Л.В. Овсянникова перешли в область группового анализа дифференциальных уравнений механики. Дальнейшее развитие теории околосвуковых течений, связанное с учетом нестационарности и влияния вязких эффектов, пошло другим путем. В настоящей статье дан обзор основных результатов, полученных к настоящему времени в области аналитического исследования околосвуковых течений.

*Ключевые слова:* Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, уравнения в частных производных, асимптотические разложения, сопла, околосвуковые течения, пограничный слой, вязко-невязкое взаимодействие

---

© Богданов А.Н., 2019

*Для цитирования:* Богданов А.Н. Выдающийся воспитанник Московского университета Лев Васильевич Овсянников (1919–2014) и развитие теории околозвуковых течений газа // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 53–74. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-53-74

A distinguished graduate  
of Moscow State University,  
Lev Vasil'evich Ovsyannikov (1919–2014)  
and a development of the theory of transonic gas flows

Andrei N. Bogdanov

*Lomonosov Moscow State University, Institute of Mechanics,  
bogdanov@imec.msu.ru*

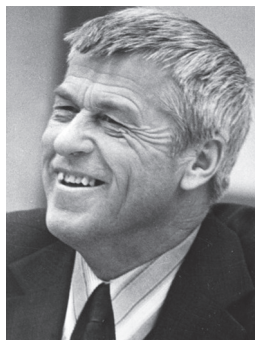
*Abstract.* The article tells about the life and some areas of scientific research of the outstanding Soviet and Russian scientist in the field of mathematics and mechanics, Academician Lev Vasil'evich Ovsyannikov. A graduate of Moscow University and the Leningrad Red Banner Air Force Engineering Academy, L.V. Ovsyannikov was a participant in the Great Patriotic War, after its end he took part in the creation of certain types of nuclear weapons. One of the founders of the Novosibirsk Academic Campus, held senior positions in scientific and educational organizations of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, created a scientific school in the field of mechanics. L.V. Ovsyannikov's research at the beginning of his scientific work, in 1949-1962, mainly related to the theory of transonic gas flows. He carried out analytical studies of the subtle issues of the structure of currents at transonic speeds using methods dating back to S.A. Chaplygin. Later scientific interests of L.V. Ovsyannikov moved into the field of group analysis of differential equations of mechanics. The further development of the theory of transonic flows, related to the non-stationary nature and influence of viscous effects, went a different way. This article provides an overview of the main results obtained to date in the field of analytical research of transonic flows.

*Keywords:* Lomonosov Moscow State University, partial differential equations, asymptotic expansions, nozzles, transonic flows, boundary layer, visco-inviscid interaction

*For citation:* Bogdanov, A.N. (2019), "A distinguished graduate of Moscow State University, Lev Vasil'evich Ovsyannikov (1919–2014) and a development of the theory of transonic gas flows", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 53–74, DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-53-74

## *Введение*

В 2019 году мировая научная общественность отмечала 100-летие со дня рождения выдающегося ученого в области математики и механики, воспитанника Московского университета, академика Л.В. Овсянникова. В судьбе этого ученого нашло отражение все – и героические, и трагические события отечественной истории XX века: становление советской власти, успехи социалистического строительства, подвиг советского народа в Великой Отечественной войне, восстановление разрушенного войной народного хозяйства, создание предотвратившего третью мировую войну ядерного щита, расцвет советской науки, перестройка, распад СССР, новые реалии российской жизни. За долгую жизнь Л.В. Овсянниковым и его учениками внесен большой вклад в различные разделы математики и механики.



## *Ранние годы*

Родившийся в Нижегородской области, в 1927 году, еще дошкольником, Лев Овсянников стал москвичом, жил в студенческом районе – на Большой Пироговской улице, в окружении созданных радением великого С.А. Чаплыгина великолепных зданий Высших женских курсов – «Второго Московского университета». В Москве Лев пошел в школу, 9-й и 10-й классы оканчивал в 25-й образцовой средней школе. В разное время там учились дети высокопоставленных советских работников, в частности сын и дочь Сталина, в целом же социальный состав учащихся был разнороден, встречались и выходцы из беднейших семей. Одноклассником и близким другом Льву стал в будущем известный математик Анатолий Дмитриевич Мышкис (1920–2009). Школа сыграла большую роль в становлении их личности. По воспоминаниям А.Д. Мышкиса [Мышкис 2007], преподавание было поставлено хорошо, поощрялось проявление самостоятельности – чтение необязательной литературы, дискуссии с высказыванием собственной точки зрения и т. п., преподаватели старались, чтобы советские «идейные основы» (которые, конечно, тщательно соблюдались) воспринимались учащимися не как догмы, а как мотивированные убеждения. «Элитные дети» не выделялись среди остальных ни одеждой, ни поведением – тогда это не было принято, главной

была успеваемость, за плохую учебу из школы «выживали». Высоко была поставлена культурно-массовая работа, в гости к школьникам приходили известные артисты, в частности солистка Большого театра Валерия Барсова; благодаря Василию Сталину была организована экскурсия учеников в Кремль, закрытый тогда для свободного посещения.

Учился Лев легко, намного опережая одноклассников, был спортивен, мог постоять за себя физически. Хотел стать инженером, но потом, увлекшись математикой, участвовал в математических олимпиадах, побеждал на них и уже по окончании 9-го класса предпринял попытку, оказавшуюся unsuccessful, поступить на механико-математический факультет Московского университета. Эту неудачу он тяжело переживал и вспоминал о ней и много лет спустя, даже после войны. Через год, в 1937-м, как отличник учебы он был принят в университет без экзаменов. Своим научным руководителем на факультете выбрал известного специалиста в области теории функций Д.Е. Миньшова (1892–1988). Много лет спустя одно лишь воспоминание о своем учителе вызывало улыбку на обычно серьезном лице Льва Васильевича. Действительно, Дмитрий Евгеньевич Миньшов имел характерные черты человека «не от мира сего», в частности, на экзамене мог требовать доказательства совершенно очевидных утверждений, в жизни был персонажем милых анекдотов [Тихомиров 1996].

## *Война*

22 июня 1941 года мирная жизнь Овсянникова, как и всех советских людей, была прервана Великой Отечественной войной. 30 июня в числе других комсомольцев он был направлен МК ВЛКСМ на выполнение спецзадания по строительству оборонительных укреплений на дальних подступах к Москве, в районе Рославля. Впоследствии Лев Васильевич рассказывал автору статьи – это были гигантские противотанковые рвы, ярусного копания, дневная норма – 8 кубометров (грешен, выступая на семинаре по истории математики, занизил норму до 1,5 кубометров, восстанавливаю истину – 8 (!) кубометров) грунта на человека, практически никто ее не выполнял. По ночам землекопов перебрасывали с места на место.

Возвратившись со спецзадания в сентябре 1941 года и сдав экзамены за полный курс университета, Лев получил диплом с отличием. 27 сентября решением Государственной экзаменационной комиссии ему была присвоена квалификация научного сотрудника



в области математики, преподавателя вуза, втуза и звание учителя средней школы.

Вместе с Овсянниковым в 1941 году механико-математический факультет окончили в будущем известные специалисты, математики и механики: В.В. Бахирев (министр машиностроения СССР с 1968 по 1987 год), Я.Р. Берман, А.Л. Брудно, И.И. Ворович (академик АН СССР с 1990 года), Ю.Б. Гермейер, Г.А. Домбровский, Н.П. Жидков, М.Ф. Жуков (академик РАН с 1992), С.Т. Завало, И.М. Кирко (академик АН ЛатССР с 1966), Н.М. Коробов, Е.А. Красильщикова, М.З. Литвин-Седой, Н.Н. Моисеев (академик АН СССР с 1984 и ВАСХНИЛ с 1985), А.Д. Мышкис, В.М. Панфёров, А.Г. Постол, В.С. Сафронов, В.М. Старжинский. Многих из них автор встречал впоследствии: в 1981 году Е.А. Красильщикова приходила на кафедру гидромеханики механико-математического факультета и приглашала студентов (в то время одним из них был и автор статьи) заняться исследуемыми ею задачами теории тонкого крыла, М.З. Литвин-Седой и В.М. Панферов работали в НИИ механики МГУ и автор (сотрудничавший в Институте с 1981 года) встречал их в институтских коридорах, в столовой, в очереди за зарплатой, А.Д. Мышкис приходил на заседания секции математики в Центральный дом ученых, а Я.Р. Берман и руководил ею; автор часто сидел за их спиной на заседаниях секции. В.С. Старжинский преподавал на мехмате. Можно было бы расспросить их о том военном времени, о том Университете, но этого не было сделано... Оставившие свои воспоминания Я.Р. Берман [Берман 2003], Н.Н. Моисеев [Моисеев 1994], Г.Г. Черный [Черный 2009] учились с Л.В. Овсянниковым в разное время, годом ранее Я.Р. Берман лишь упоминает его в числе выпускников, в книге у учившегося тремя годами ранее Н.Н. Моисеева с Овсянниковым лишь групповое много позднее фото, Г.Г. Черный, учившийся тремя годами позже, не упоминает его вовсе.

30 сентября 1941 года Лев Овсянников был призван в Красную Армию. Еще в июне его отец ушел добровольцем в ополчение и в ноябре 1941 года погиб в боях за Москву. Мама оставалась в Москве все военные годы и работала преподавателем истории в средней школе.

Военная судьба сложилась у выпускников 1941 года по-разному. Литвин-Седой в 1944–1945 годах был военным корреспондентом ТАСС в Лондоне, Франции и Западной Германии [Гризма, Ильченко 1997]. Давид Шклярский в феврале 1942 года был направлен в партизанский отряд, за линию фронта, где он погиб летом 1942 года [Головина 1970]. Особо хочется остановиться на судьбе Алексея Григорьевича Постола (1920–2011), ставшего после войны известным скульптором-монументалистом, Народ-

ным художником России. В начале войны он ушел в армию добровольцем, рядовым солдатом. Участвовал в обороне Москвы. В армии узнал о подвиге панфиловцев, огромное чувство уважения к которым сохранял всю войну и после ее окончания решил заняться созданием памятников погибшим воинам: «Я в армии впервые услышал о подвиге панфиловцев. Мы не знали, когда это точно там происходило, мы знали только, что они танки не пропустили. А я рядовой солдат с высшим образованием, старшина мне и говорит: “Ну, ты, Постол, выступи. Что ты скажешь?” И я коротко сказал: “Эти ребята не только нашей стране, но и всему миру показали, что можно грудью защитить Москву. Наверняка, будут такие архитекторы и скульпторы, которые им поставят памятник, достойный их подвига”. Мне тогда и в голову не приходило, что этим архитектором и скульптором буду я. Вот Господь Бог помог мне, сохранил жизнь, и я стал автором этих монументов» [Барсукова 2019]. В 1951 году на факультете монументальной и декоративной скульптуры Художественного института Постол защитил диплом на тему «Монумент героям-панфиловцам у разъезда Дубосеково».

Вскоре после призыва Лев Васильевич был направлен на учебу в Ленинградскую Краснознаменную военно-воздушную инженерную академию (ЛКВВИА). В ней, эвакуированной в Йошкар-Олу, он учился в годы войны. Летом 1944 года, во время прохождения практики в строевых частях ВВС, принимал участие в боевых операциях. По окончании Академии в 1945 году был оставлен в адъюнктуре при кафедре аэродинамики, преподавал в возвратившейся в Ленинград Академии и по совместительству в Ленинградском государственном университете, где среди его студентов были будущие академики Г.И. Марчук, А.С. Алексеев, Е.И. Шемякин.

### *Теория околзвуковых течений*

Приход Л.В. Овсянникова в науку во второй половине 1940-х годов, в период развития высокоскоростной, приближающейся к звуковым скоростям авиации и создания ракетной техники, определил первоначальный круг его интересов: околзвуковое обтекание профилей простейших форм, околзвуковые течения в каналах и струйные течения, течения с простейшей формой звуковой линии, определение особенностей и разработка математического аппарата для расчета течений такого рода, обоснование методов их расчета. В 1948 году он написал, а 27 декабря 1948 года в ЛКВВИА защитил диссертацию на тему «Исследование газовых течений с прямой звуковой линией». Научным консультантом по диссертации

ции выступил один из основоположников трансзвуковой аэродинамики, доктор наук с 1947 года С.В. Фалькович (1911–1982) [Шиндяпин, Чернов 2011], а оппонентами – уже состоявшийся классик аэродинамики, профессор Ф.И. Франкль (1905–1961) и тогда еще очень молодой ветеран Великой Отечественной войны, в 1946 году, еще в армии, защитивший кандидатскую диссертацию, С.В. Валландер (1917–1975). Л.В. Овсянников получил степень кандидата технических наук.

Околозвуковые течения являются самыми сложными из возможных типов движения газовых сред, сочетая в себе свойства и дозвуковых (например, влияние вверх по потоку), и сверхзвуковых течений (углы Маха, ударные волны). И у дозвуковых, и у сверхзвуковых течений существуют физические аналогии, которыми можно воспользоваться для придания наглядности рассуждениям, для смешанных течений таких аналогий почти не существует. Трансзвуковое течение во многих случаях принципиально неустойчиво, оно может стать нестационарным, в нем могут появиться ударные волны или и то, и другое сразу. Такое многообразие явлений в сложном их сочетании определило мнение [Guderley 1957], что при исследовании околозвуковых течений едва ли можно полагаться на интуицию или на соображения правдоподобности.

Основоположником теоретических исследований течений в околозвуковом диапазоне скоростей принято считать С.А. Чаплыгина [Юрьев 1969], [Cole, Cook 1986]. Впервые доложенные в 1896-ом и опубликованные в 1902 году результаты составили его докторскую диссертацию «О газовых струях» и стали редким примером namного опередивших свое время научных работ. Выполненное исследование отличала фундаментальная математическая строгость, существенным продвижением был необходимый учет сжимаемости газа. Система уравнений течения газа была сведена к линейному уравнению в частных производных с переменными коэффициентами

$$\frac{\partial}{\partial V} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \psi}{\partial V} \right) - V \frac{d}{dV} \frac{1}{\rho V} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = 0, \quad (1)$$

где  $V$  – модуль скорости,  $\rho$  – плотность,  $\theta$  – угол вектора скорости,  $\psi$  – функция тока. Решение и такого уравнения представляет очень сложную задачу, но С.А. Чаплыгин владел различными специальными функциями так, как все владели тригонометрией [Лютерник 2005].

В 1940-х годах задачи создания ракетной техники в очередной раз привлекли внимание к проблемам профилирования сопел

Лавая, созданных для ускорения газовых потоков от дозвуковых скоростей до скоростей, превышающих скорость звука. Главные задачи заключались в достижении плавности потока газа через сопло (обеспечение безударности сопла). Используемая первоначально квазиодномерная теория для выяснения этих проблем оказывалась слишком груба. Построение же более детальной теории осложнялось смешанным эллипτικο-гиперболическим типом описывающих стационарное течение уравнений (см., например, [Черный 1988])

$$\left(1 - M^2 - (\gamma + 1)M^2 \frac{u}{U}\right) \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

где  $u$  – возмущение скорости,  $U$  – скорость основного течения,  $M$  – число Маха,  $\gamma$  – показатель адиабаты. Кроме того, эти уравнения показывают, что содержательная модель стационарного течения в околосзвуковом диапазоне скоростей ( $1 \sim M$ ) должна быть нелинейна. Свободная от этих проблем модель нестационарного течения имеет на единицу большую размерность, что создает для исследователя свои трудности.

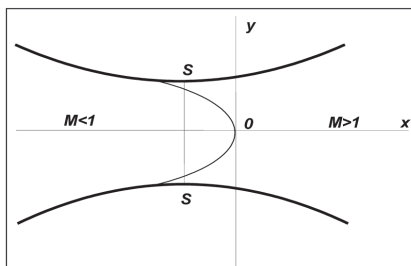
В отсутствие эффективных численных методов расчета изучение околосзвуковых течений проходило через поиск частных аналитических, в частности автомодельных, решений, упрощение базовых уравнений и построение приближенных решений, что требовало виртуозного владения аналитическими методами исследования. Накопление результатов шло медленно; так, десятилетия разделили определение параметров для основных типов околосзвукового течения в малой окрестности линии перехода, представленных рядами по пространственным координатам  $x$  и  $y$  [Sauer 1951], выполненные Мейером (1908):

$$u = a \left[ 1 + \alpha x + \frac{\gamma + 1}{2} \alpha^2 y^2 + \dots \right] \quad (3)$$

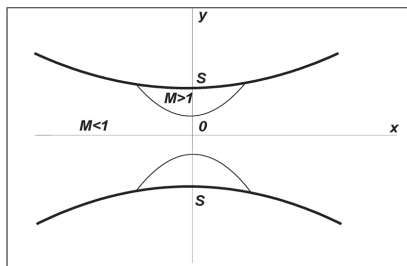
и Тейлором (1930):

$$u = a \left[ 1 - \eta - \beta x^2 + \eta(\gamma + 1)\beta y^2 + \dots \right], \quad (4)$$

где  $u$  – скорость течения,  $a$  – скорость звука,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$  – постоянные, определяемые по граничным условиям задачи.



Течение Мейера



Течение Тейлора

Публикацию результатов С.А. Чаплыгина (1902) и возврат интереса к ним (1930-е) разделил временной интервал такой же продолжительности. Аналитическое исследование перехода одного типа течения в другой было проведено Ф.И. Франклем [Франкль 1933] и Г. Гертлером [Görtler 1939] в 1930-е годы. Сходимость ряда Мейера для осесимметричного течения будет доказана в 1962 году [Овсянников 1962а].

В своей ранней работе [Овсянников 1949а] ученый рассмотрел установившееся обтекание профиля некоторой, сходной с крылом, формы при дозвуковом закритическом обтекании (критической скоростью в аэродинамике называется характерная скорость, при которой где-то в поле течения местная скорость может достигнуть звуковой скорости [Кочин, Кибель, Розе 1963]). Проведенный анализ поведения характеристик в местной сверхзвуковой зоне позволил сформулировать в несколько иной форме «критерий разрушения потенциального течения», данный ранее А.А. Никольским и Г.И. Тагановым [Никольский, Таганов 1946], получить конкретные выводы о характере течения внутри местной сверхзвуковой зоны, возможных формах и положении скачков уплотнения (в частности, условие образования слабого косоугольного скачка уплотнения, наклоненного *вперед* (выделено Овсянниковым), против потока, обнаруженного ранее экспериментально) и условие образования сильного прямого скачка.

В работе [Овсянников 1949б] было доказано, что для струи, вытекающей из отверстия в сосуде с плоскими стенками в пространстве с давлением, равным критическому при заданном начальном состоянии газа, выравнивание струйного потока достигается на конечном расстоянии от начала свободной струи, далее течение происходит с постоянной скоростью, всюду равной скорости звука, причем линия перехода к равномерному течению является прямой.

В работе [Овсянников 1950а] рассмотрен ряд задач газовых течений в области перехода через скорость звука при условии, что

звуковая линия – прямая, а вектор скорости ей перпендикулярен. Полученные результаты были использованы для анализа и расчета течений в соплах Лавала с прямой линией перехода. Как наиболее важный результат, указано обнаружение на прямой звуковой линии подвижных особых точек.

Установившееся движение клиновидного профиля со скоростью звука было рассмотрено в работе [Овсянников 1950b]. Движение полагалось симметричным безвихревым, полученные результаты позволили рассчитать область смешанного течения, форму звуковой линии и предельной характеристики, а также лобовое сопротивление профиля.

Вывод приближенных уравнений установившегося околосзвукового движения при возможном существовании вихрей в течении дан в работе [Овсянников 1952].

В 1945 году было предложено [Франкль 1945] заменить уравнение Чаплыгина уравнением Трикоми

$$y \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0. \quad (5)$$

Вопрос об эффективном представлении решения задачи Трикоми, пригодном для численных расчетов, рассмотрен в работе [Овсянников 1953].

Л.В. Овсянников выступил редактором русского перевода первой в мировой литературе монографии, систематически излагающей результаты математических методов исследования околосзвуковых течений [Guderley 1957]. В предисловии он писал: «И сейчас мы еще далеки от того, чтобы дать удовлетворительный ответ на все вопросы об особенностях околосзвуковых течений».

Подводя итоги выполненных к началу 1960-х годов работ, О.С. Рыжов указывал [Рыжов 1965], что вклад Л.В. Овсянникова в исследование околосзвуковых течений состоял в наиболее полном исследовании течений в частном случае прямой линии перехода. Им же был дан способ построения сопел с изломами стенок.

### *Нестационарные транзвуковые течения*

Ранние результаты, полученные при теоретических исследованиях в области околосзвуковых течений, основывались на применении аналитических методов, разработанных С.А. Чаплыгиным. Однако этот путь никоим образом не позволял осуществить продвижение на следующих этапах – исследование нестационарного транзвукового течения и учет вязких эффектов.

Для нестационарного трансзвукового течения определяющее уравнение было выведено в 1948 году методом асимптотических разложений (за малый параметр было принято малое отклонение характерного числа Маха течения от единицы) Ц.Ц. Линем, Е. Рейсснером и Х.Ш. Цянем [Lin, Reissner, Tsien 1948] и получило наименование по имени своих первооткрывателей – уравнение Линя–Рейсснера–Цяня (ЛРЦ):

$$\left( K_{\infty} - (\gamma + 1) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} = 0, \quad (6)$$

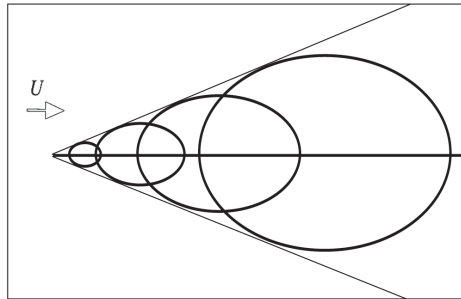
где  $\phi$  – потенциал скорости,  $K_{\infty} = (1 - M_{\infty}^2) / \delta$  – трансзвуковой параметр,  $\delta \ll 1$ .

Полученное уравнение обладало несомненными достоинствами: оно описывало и сверхзвуковую, и дозвуковую область трансзвукового течения, его неоднородный, нестационарный и нелинейный характер. С его использованием были получены основные результаты в изучении нестационарных трансзвуковых течений [Cole, Cook 1986], а в дальнейшем и при учете вязко-невязкого взаимодействия [Жук 2001].

Полученное богатство решений заслонило, однако, весьма серьезную проблему. Впоследствии выяснилось [Богданов 1997], что направление исследований пошло путем, уводящим от реальности – классическая модель, базирующаяся на уравнении ЛРЦ, была вырождена, но это обстоятельство осталось проигнорированным. В силу своей гиперболической вырожденности уравнение ЛРЦ не позволяет правильно описывать нестационарные процессы в поле течения в полной мере (так, распространение в потоке нестационарных возмущений – только вверх по течению). Возможно, позднее обнаружение этих проблем объясняется тем, что исследования столкнулись здесь со случаем сингулярных возмущений: оставаясь в рамках регулярных возмущений получить более общие результаты асимптотическими методами никоим образом нельзя – уравнение ЛРЦ является наиболее общим из возможных приближенных уравнений (характерным пределом) [Cole 1968]. В определенном смысле классическая теория оказалась в тупиковой ситуации. В этой связи для исследования задач теории нестационарного трансзвукового течения была предложена модификация [Богданов 1997], заключающаяся в регуляризации уравнения ЛРЦ – сохранении (т. е. возникающего естественным образом) в нем при проведении асимптотических выкладок сингулярного члена со второй производной по времени.

$$\left( K_\infty - (\gamma + 1) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} - \delta \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0 \tag{7}$$

Новая модель позволила преодолеть ограничения классической модели, в частности, в описании поля течения в отношении процессов вниз по потоку, картина течения стала гораздо более физической.



Картина волновых фронтов от точечного источника малых возмущений, обтекаемого сверхзвуковым потоком, получаемая на регуляризованной модели

*Свободное вязко-невязкое взаимодействие на трансзвуковых скоростях*

Следующим этапом развития теории стал учет влияния вязких эффектов, необходимость которого для проведения точного количественного исследования была указана еще в работе [Овсянников 1949а]. С конца 1960-х годов интенсивное развитие получила теория нестационарного свободного вязко-невязкого взаимодействия – развитие теории пограничного слоя Прандтля на изучение

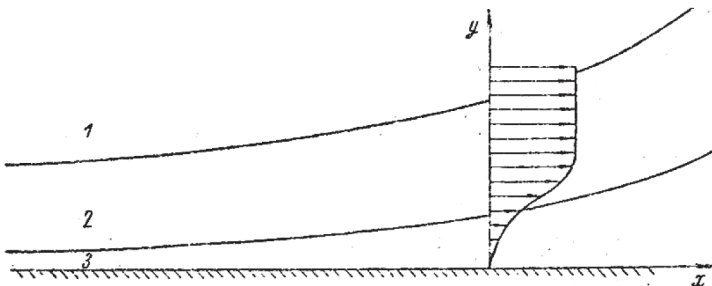


Схема течения в трехпалубной модели



предотрывных режимов обтекания. Первоначально предложенная для сверхзвуковых течений [Нейланд 1968], теория была распространена на трансзвуковой режим [Рыжов 1977].

Эта математическая модель получила, соответственно ее структуре, название трехпалубной, а для подчеркивания ее отличия от обычных пограничных слоев для нее стало использоваться также наименование неклассического (с самоиндуцированным давлением) пограничного слоя.

Уравнения, составляющие трехпалубную модель, в нижней (пристеночной) палубе имеют обычный вид уравнений нестационарного пограничного слоя для несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}, \quad (8)$$

где  $p$  – давление.

Среднюю палубу образует некоторое переходное (невязкое вихревое) течение, условия в котором являются предельными для решений уравнений пограничного слоя с решениями уравнений, моделирующих внешнее невязкое потенциальное течение, и используются для их срачивания. Условия срачивания имеют вид:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x}(t, x, 0) = -p(t, x), \quad \frac{\partial \phi}{\partial y_1}(t, x, 0) = -\frac{\partial A}{\partial x}(t, x) \\ \text{при } y_1 \rightarrow 0, \quad (9)$$

$$u \rightarrow y + A(t, x) \text{ при } y \rightarrow \infty$$

где  $A(t, x)$  – функция мгновенного смещения линий тока переходного течения). Отметим, что при переходе к трехпалубной модели производится преобразование пространственных координат и времени, так что координата  $x$  и время  $t$  при этом одинаковы для всех палуб, а поперечная координата в области внешнего течения  $y_1$  и поперечная координата в пограничном слое и переходном течении  $y$  имеют разные масштабы, поскольку толщина указанных областей течения различна.

Невязкое трансзвуковое течение вдали от пластины приближенно можно считать безвихревым. Для его описания используется линейное уравнение ЛРЦ

$$2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} + K_\infty \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial y_1^2} = 0 \quad (10)$$

Включение уравнения ЛРЦ в состав математической модели течения со временем потребовало и ее регуляризации [Богданов, Диесперов, Жук 2018] – использования модифицированного уравнения ЛРЦ в его линейном варианте

$$\delta \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} + K_\infty \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \phi}{\partial y_1^2} = 0. \quad (11)$$

### *Сибирское отделение АН СССР*

Научные интересы Л.В. Овсянникова с конца 1950-х годов перешли главным образом в область группового анализа математического аппарата течений жидкости и газа – уравнений в частных производных [Овсянников 1962b].

В 1959 году по приглашению академика М.А. Лаврентьева он переходит на работу во вновь созданное Сибирское отделение АН СССР, на всю оставшуюся жизнь связав себя с Новосибирском.

Как член программных комитетов конференций по механике жидкости и газа, Л.В. Овсянников был в курсе основных результатов проводимых исследований околосвуковых течений и всесторонне поддерживал их, не являясь их непосредственным исполнителем. Исследование трансзвуковых течений вели некоторые из учеников Л.В. Овсянникова [Мамонтов 1973].

Весьма ярко характеризует человека то, что он считает интересным, что смешным. Лев Васильевич обладал тонким и точным чувством юмора, в том числе и по отношению к себе. Так, о построенном им решении «особый вихрь» [Овсянников 1995] говорил: «Эти результаты прикладного значения не имеют. Они для любителей острых теоретических ощущений».

Показателен анекдот о годах работы Л.В. Овсянникова в Сарове (1952–1957):

В Сарове на первых этапах работы между людьми трудно было ограничить контакты, хотя и полагалось. Структура еще только формировалась. Все жили вместе, ездили на одних и тех же автобусах и с одними и теми же водителями. Чтобы пресечь утечку информации, органы (ни к чему объяснять – какие) издали приказ: запретить водителям повторять те слова, которые произносят ученые. Через неделю водители перестали «выражаться», отказались от ненормативной лексики...<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Они были первыми // Советская Сибирь. 2005. 28 апреля

Лев Васильевич был одним из основателей и руководителей (неофициально величаемый «папой») первоклассной научной конференции – Семинара по аналитическим методам газовой динамики (САМГАД). Участники конференции проходили строгий отбор, в шутейных материалах конференции Л.В. Овсянникову приписывался доклад на тему «Метод частичной инвариантности при подборе участников очередного САМГАДа с интегрируемыми в пространстве  $L_2$  достоинствами». С.П. Баутин вспоминал эпизод, случившийся на банкете при закрытии САМГАДа-72. А.А. Самарский произнес тост: «Конференция отличная, доложенные результаты прекрасные, вот только название конференции несколько странное. Но мы не делали ударение на последних трех буквах». Тут же Л.В. Овсянников, сидевший рядом, прокомментировал: «Вы, конечно, делали ударение на первых трех!» Самарский осекся, посмотрел на Льва Васильевича и сказал: «У Вас не мозг, а клещи!» «Быстрый ум» Льва Васильевича запомнился и автору статьи – на одной из конференций докладчик не сразу смог расположить свои материалы на столе оверхед-проектора (тупиковая ветвь развития оргтехники), начались подсказки из зала, помогать докладчику принялся и оргкомитет, возникла дискуссия... в это время Лев Васильевич, мгновенно оценив ситуацию, без лишних слов ловко развернул аппарат в нужном направлении.

Конференции САМГАД помимо научной программы имели и спортивную: проводились соревнования по бегу, по плаванию, волейболу, шахматам-блиц, бильярду, устраивался футбольный матч Европа–Азия и даже «конный бой». Командный кросс бежали известные ученые, бежал сам председатель оргкомитета Лев Васильевич Овсянников! До сих пор перед глазами стоит картина, как лидировавший в забеге Б.Л. Рождественский, перепрыгивая ручей, увяз по колено в топком берегу и «торчал» под углом  $45^\circ$  вместо того, чтобы победоносно завершать соревнование... По замечанию Льва Васильевича, все эти тогдашние игры предполагали хорошую физическую подготовку. В компьютерных же играх, которыми так увлечена современная молодежь, физическая форма не играет никакой роли [Богданов 2019].

Лев Васильевич Овсянников прожил долгую содержательную жизнь, отличительной чертой своего поколения считал «некое особенное душевное состояние, выраженное в стремлении к прямому общению». Он пользовался заслуженным авторитетом у коллег, относившихся к нему по-особому бережно, даже жертвенно. Вспоминается банкет по случаю 50-летия основания Института гидродинамики имени М.А. Лаврентьева СО РАН, тихие слова возглавлявшего Институт В.М. Тешукова: «Берегите Льва Васильевича! Подходите с тостами ко мне, я с каждым чокнусь,

я с каждым выпью!» Лев Васильевич, будучи старше своего ученика более чем на четверть века, пережил уход Владимира Михайловича из жизни на шесть лет... И достигнув солидного возраста, сам относился к своим годам с некоторым удивлением. Выступая на открытии конференции САМГАД-2002, он сказал: «Начинали мы эту конференцию вместе – Н.Н. Яненко, А.Ф. Сидоров, я. А вот теперь я – один...» (Яненко был моложе его на два года, Сидоров – на четырнадцать лет).

Автор сохранил к Льву Васильевичу теплые чувства. Мой отец, Николай Сергеевич (1917–1971), рано ушедший из жизни, был ровесником Овсянникова, и в лице Льва Васильевича я мог в какой-то мере ощутить и крепкую руку отца, и выразить чувства сыновьей заботы о родителе. Жившие в разных городах, за тысячи километров друг от друга, с Львом Васильевичем мы встречались реже, чем я мог рассчитывать, но я всегда ощущал и ощущаю его поддержку. Вспоминается, как в 2003 году, в тот период моего непростого пути к защите докторской диссертации, он сказал мне задумчиво: «Видишь ли, Андрей, есть люди, которые где-нибудь что-нибудь вякнут и считают, что у них докторская...» Лев Васильевич был строгим судьей, и я замер... Уже другим тоном он добавил: «Но ты не такой». С этим чувством иду я по жизни...

### *Заключение*

Эта статья была написана автором после выступления, посвященного жизни и научной работе Л.В. Овсянникова, на семинаре по истории математике в ПОМИ. Выступления по любезному приглашению Г.И. Синкевич и не сразу получившемся. Трудно писалась и эта статья. Автор благодарен А.Д. Козлову за терпение. Во всем этом автору видится незримый требовательный контроль Льва Васильевича. Удивительно также, что, готовя эту статью, автор обнаружил неизвестную ему ранее работу [Овсянников 1972], относящуюся к динамике ударных волн в неоднородных средах – области, которой автор занимается уже более 30 лет, предложил оригинальный метод решения задач такого рода («шаг вперед от Узизема») [Богданов 2020]. Но оригинальность подхода, реализованного в этой работе Овсянниковым, автор этой статьи даже не мог себе представить... Наставничество Льва Васильевича продолжается.

### *Благодарности*

Работа выполнена в соответствии с планом исследований НИИ механики МГУ (тема АААА-А19-119012990113-1) при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-01-00793).

### *Acknowledgements*

This work was carried out in accordance with the research plan of the Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University (topic АААА-А19-119012990113-1) with partial financial support from the Russian Foundation for Basic Research (project 18-01-00793).

### *Литература*

---

- Барсукова 2019 – *Арина Барсукова*. Рубеж славы. Интервью со скульптором Алексеем Постолом [Электронный ресурс] // The Wayback Machine. [https://web.archive.org/web/20170407054716/http://www.show-media-art.ru/articles/2/490\\_1.shtml](https://web.archive.org/web/20170407054716/http://www.show-media-art.ru/articles/2/490_1.shtml) (дата обращения 30 дек. 2019).
- Берман 2003 – *Берман Я.Р.* Мой родной МЕХМАТ. Воспоминания выпускника 1941 г. механико-математического факультета МГУ Я.Р. Бермана. М.: Сам Полиграфист, 2003. 43 с.
- Богданов 1997 – *Богданов А.Н.* Высшие приближения трансзвукового разложения в задачах нестационарных трансзвуковых течений // ПММ. 1997. Т. 61. Вып. 5. С. 798 – 811.
- Богданов, Диесперов, Жук 2018 – *Богданов А.Н., Диесперов В.Н., Жук В.И.* Неклассические трансзвуковые пограничные слои. К преодолению некоторых тушковых ситуаций в аэродинамике больших скоростей // ЖВММФ. 2018. Т. 58, № 2. С. 270–280.
- Богданов 2019 – *Богданов А.Н.* Воспоминания о Борисе Леонидовиче Рождественском. М.: КДУ, Университетская книга, 2019.
- Богданов 2020 – *Богданов А.Н.* Динамика ударных волн в средах с продольной стратификацией // Докл. РАН. 2020. Т. 491. С. 1–2.
- Головина 1970 – *Головина Л.И.* Давид Оскарович Шклярский (1918–1942) // УМН. 1970. Т. 25. Вып. 3 (153). С. 248–252.
- Гримза, Ильченко 1997 – *Гримза А.Ю., Ильченко Е.В.* Профессора и доктора наук Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Биографический словарь. М.: Университет, 1997. (Серия: Архив Московского университета. 1998 г.)
- Жук 2001 – *Жук В.И.* Волны Толлмина–Шлихтинга и солитоны. М.: Наука, 2001.
- Кочин, Кибель, Розе 1963 – *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. В 2 ч. Ч. 2. М.: Физматлит, 1963. 728 с.
- Люстерник 2005 – Лазарь Аронович Люстерник. Беседа 26 ноября 1970 года // Математики рассказывают. М.: Минувшее, 2005. 328 с.

- Мамонтов 1973 – *Мамонтов Е.В.* К теории нестационарных околосзвуковых течений газа: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 1973.
- Моисеев 1994 – *Моисеев Н.Н.* Как далеко до завтрашнего дня... Свободные размышления, 1917–1993. М.: Аспект Пресс, 1994.
- Мышкис 2007 – *Мышкис А.Д.* Советские математики: Мои воспоминания. М.: ЛКИ, 2007.
- Нейланд 1968 – *Нейланд В.Я.* Сверхзвуковое течение вязкого газа вблизи точки отрыва // III Всесоюзный съезд по теоретической и прикладной механике: Сб. аннотаций докладов. Москва, 25 января – 1 февраля 1968 г. М.: Наука, 1968. С. 224.
- Никольский, Таганов 1946 – *Никольский А.А., Таганов Г.И.* Движение газа в местной звуковой зоне и некоторые условия разрушения потенциального течения // ПММ. 1946. Т. 10. Вып. 4. С. 481–502.
- Овсянников 1949а – *Овсянников Л.В.* О скачках уплотнения на поверхности профиля при дозвуковом закритическом обтекании. // Труды ЛКВВИА. 1949. Вып. XXVII. С. 53–54.
- Овсянников 1949б – *Овсянников Л.В.* Об одном газовом течении с прямой линией перехода // ПММ. 1949. Т. 13. Вып. 5. С. 537–542.
- Овсянников 1950а – *Овсянников Л.В.* Исследование газовых течений с прямой звуковой линией // Труды ЛКВВИА. 1950. Вып. XXXIII. С. 3–24.
- Овсянников 1950б – *Овсянников Л.В.* О движении клиновидного профиля со скоростью звука // Труды ЛКВВИА. 1950. Вып. XXXIII. С. 25–51.
- Овсянников 1952 – *Овсянников Л.В.* Уравнения околосзвукового движения газа // Вестник ЛГУ. 1952. № 6. С. 47–54.
- Овсянников 1953 – *Овсянников Л.В.* О задаче Трикоми в одном классе обобщенных решений уравнения Эйлера–Дарбу // Докл. АН СССР. 1953. Т. 91. № 3. С. 457–460.
- Овсянников 1962а – *Овсянников Л.В.* О сходимости ряда Мейера для осесимметричного сопла // Мартенсен Е. и Зенгбуш, фон К. Расчет околосзвуковой части плоских осесимметричных сопел с криволинейной линией перехода. Новосибирск: Изд. СО АН СССР, 1962. 148 с.
- Овсянников 1962б – *Овсянников Л.В.* Групповые свойства дифференциальных уравнений. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1962. 239 с.
- Овсянников 1972 – *Овсянников Л.В.* Приближенный метод пересчета закона распространения ударных волн // ПМТФ. 1972. № 1. С. 55–57.
- Овсянников 1995 – *Овсянников Л.В.* Особый вихрь // ПМТФ. 1995. Т. 36. № 3. С. 45–52.
- Рыжов 1965 – *Рыжов О.С.* Исследование трансзвуковых течений в соплах Лавала. М.: ВЦ АН СССР, 1965. 238 с.
- Рыжов 1977 – *Рыжов О.С.* О нестационарном пограничном слое с самоиндуцированным давлением при околосзвуковых скоростях внешнего потока // Докл. АН СССР. 1977. Т. 236. № 5. С. 1091–1094.
- Тихомиров 1996 – *Тихомиров В.М.* О математиках – с улыбкой // Квант. 1996. № 4. С. 24–26.
- Франкль 1933 – *Франкль Ф.И.* О плоскопараллельных воздушных течениях через каналы при околосзвуковых скоростях // Математический сборник. 1933. Т. 40. Вып. 1. С. 59–72.

- Франкль 1945 – *Франкль Ф.И.* К теории сопел Лаваля // Известия АН СССР. Сер. Математика. 1945. Т. 9, вып. 5. С. 387–422.
- Черный 1988 – *Черный Г.Г.* Газовая динамика. М.: Наука, 1988. 424 с.
- Черный 2009 – *Черный Г.Г.* Долгий путь // *Черный Г.Г.* Избранные труды. М.: Наука, 2009.
- Шиндяпин, Чернов 2011 – *Шиндяпин Г.П., Чернов И.А.* К 100-летию со дня рождения Савелия Владимировича Фальковича (1911–1982) // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2011. Т. 11, вып. 3, ч. 2. С. 118–120.
- Юрьев 1969 – *Юрьев И.М.* Значение исследования С.А. Чаплыгина «О газовых струях» для газовой динамики. М.: ЦАГИ, 1969.
- Cole 1968 – *Cole J.D.* Perturbation Methods in Applied Mathematics. Waltham, MA: Blaisdell Publishing Company, 1968.
- Cole, Cook 1986 – *Cole J.D., Cook L.P.* Transonic aerodynamics. Amsterdam : North-Holland, 1986.
- Guderley 1957 – *Guderley K.G.* Theorie Schallnaher Strömungen. Berlin: Springer-Verl., 1957.
- Görtler 1939 – *Görtler H.* Zum Übergang von Unterschall – zu Überschallgeschwindigkeiten in Düsen // ZAMM. 1939. Bd. 19, Ht. 6. S. 325–337.
- Lin, Reissner, Tsien 1948 – *Lin C.C., Reissner E., Tsien H.S.* On two-dimensional non-steady motion of a slender body in a compressible fluid // J. of Mathematics and Physics. 1948. Vol. 27. № 3. P. 220–231.
- Sauer R. 1951 – *Sauer R.* Ecoulement des fluides compressibles: Paris: Beranger, 1951.

## References

---

- Barsukova, A. (2019), “Frontier of Glory. Interview with sculptor Alexei Postol”, *The Wayback Machine* [Online], available at: [https://web.archive.org/web/20170407054716/http://www.show-media-art.ru/articles/2/490\\_1.shtml](https://web.archive.org/web/20170407054716/http://www.show-media-art.ru/articles/2/490_1.shtml) (Accessed 30 Dec. 2019).
- Berman, Ya.R. (2003), *Moi rodnoi MEKhMAT. Vospominaniya vypusknika 1941 g. mekhaniko-matematicheskogo fakul'teta MGU Ya.R. Bermana* [My native MECHMAT. (Faculty of Mechanics and Mathematics). Memoirs of a 1941 graduate of the Faculty of Mechanics and Mathematics of Moscow State University Ya.R. Berman], Sam Poligrafist, Moscow, Russia.
- Bogdanov, A.N. (1997), “Higher approximations of transonic expansion in problems of non-stationary transonic flows”, *Prikladnaya matematika i mekhanika*, vol. 61, no. 5, pp. 798-811.
- Bogdanov, A.N., Diesperov, V.N. and Zhuk, V.I. (2018), “Non-classical transonic boundary layers. To overcoming some deadlocks in high-speed aerodynamics”, *Zhurnal vychislitel'noi matematiki I matematicheskoi fiziki*, vol. 58, no. 2, pp. 270-280.
- Bogdanov, A.N. (2019), *Vospominaniya o Borise Leonidoviche Rozhdestvenskom* [Memories of Boris Leonidovich Rozhdestvensky], Universitetskaya kniga, Moscow, Russia.



- Bogdanov, A.N. (2020), “Dynamics of shock waves in media with longitudinal stratification”, *Doklady Rossiiskoi akademii nauk*, vol. 491, pp. 1–2.
- Cherny, G.G. (1988), *Gazovaya dinamika* [Gas dynamics], Nauka, Moscow, USSR.
- Cherny, G.G. (2009), “*The long way*”, in Cherny, G.G. *Izbrannye trudy* [Selected Works], Nauka, Moscow, Russia.
- Cole, J.D. (1968), *Perturbation Methods in Applied Mathematics*, Blaisdell Publishing Company, Waltham, MA, USA.
- Cole, J.D. and Cook, L.P. (1986), *Transonic aerodynamics*, North-Holland, Amsterdam, Holland.
- Frankl, F.I. (1933), “About plane-parallel air flows through channels at transonic speeds”, *Matematicheskii Sbornik*, vol. 40, no. 1, pp. 59–72.
- Frankl, F.I. (1945), “On the theory of Laval nozzles”, *Izvestiya AN SSSR. Ser. Matematika*, vol. 9, no. 5, pp. 387–422.
- Golovina, L.I. (1970), “David Oskarovich Shklyarskii (1918–1942)”, *Uspekhi matematicheskikh nauk*, vol. 25, no. 3 (153), pp. 248–252.
- Grimza, A.Yu. and Ilchenko, E.V. (1997), *Professora i doktora nauk Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. V. Lomonosova. Biograficheskii slovar'*. [The Lomonosov Moscow State University Professors and Doctors of Sciences. Biographical Dictionary], Universitet, Moscow, Russia, (Series: Archive of Moscow University. 1998).
- Guderley, K.G. (1957), *Theorie Schallnaher Strömungen*, Springer-Verl., Berlin, Germany.
- Görtler, H. (1939), “Zum Übergang von Unterschall– zu Überschallgeschwindigkeiten in Düsen”, *ZAMM*, Bd. 19, Ht. 6, pp. 325–337.
- Kochin, N.E., Kibel, I.A. and Rose, N.V. (1963), *Teoreticheskaya gidromekhanika. V 2 chastyakh, chast' 2* [Theoretical hydromechanics. In 2 vols., vol. 2], Fizmatlit, Moscow, USSR.
- Lin, C.C., Reissner, E. and Tsien, H.S. (1948), “On two-dimensional non-steady motion of a slender body in a compressible fluid”, *J. of Mathematics and Physics*, vol. 27, no. 3, pp. 220–231.
- Lyusternik, L.A. (2005), “Lazar' Aronovich Lyusternik. Conversation of November 26, 1970”, *Matematiki rasskazyvayut* [Mathematicians Tell], Minushee, Moscow, Russia.
- Mamontov, E.V. (1973), On the theory of unsteady transonic gas flows, PhD dissertation, Novosibirsk, USSR.
- Moiseev, N.N. (1994), *Kak daleko do zavtrashnego dnya... Svobodnye razmyshleniya, 1917–1993* [How far is it to tomorrow ... Free Thoughts, 1917–1993], Aspect Press, Moscow, Russia.
- Myshkis, A.D. (2007), *Sovetskie matematiki: Moi vospominaniya* [Soviet mathematicians. My memories], LKI, Moscow, Russia.
- Neiland, V.Ya., (1968), “Supersonic viscous gas flow near the separation point”, *III Vsesoyuznyi s'ezd po teoreticheskoi i prikladnoi mekhanike: Sb. annotatsii dokladov. Moskva, 25 yanvarya – 1 fevralya 1968 g.*
- [III All-Union Congress on Theoretical and Applied Mechanics. Sat annotations of reports, Moscow, 25 January – 1 February, 1968], Nauka, Moscow, Russia, p. 224.



- Nikolskii, A.A. and Taganov, G.I., (1946), "Gas movement in a local sound zone and some conditions for the destruction of a potential flow", *Prikladnaya matematika i mekhanika*, vol. 10, no. 4, pp. 481–502.
- Ovsyannikov, L.V. (1949a), "About compaction surges on the surface of a profile during subsonic supercritical flow", *Trudy of LKVVIA*, vol. XXVII, pp. 53–54.
- Ovsyannikov, L.V. (1949b), "About one gas flow with a straight transition line", *Prikladnaya matematika i mekhanika*, vol. 13, no. 5, pp. 537–542.
- Ovsyannikov, L.V. (1950a), "The study of gas flows with a direct sound line", *Trudy of LKVVIA*, vol. XXXIII, pp. 3–24.
- Ovsyannikov, L.V. (1950b), "On the movement of a wedge-shaped profile with the speed of sound", *Trudy of LKVVIA*, vol. XXXIII, pp. 25–51.
- Ovsyannikov, L.V. (1952), "Equations of transonic gas motion", *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 6, pp. 47–54.
- Ovsyannikov, L.V. (1953), "On the Tricomi problem in a class of generalized solutions of the Euler – Darboux equation", *Doklady Akademii nauk SSSR*, vol. 91, no. 3, pp. 457–460.
- Ovsyannikov, L.V. (1962a), "On the convergence of the Meyer series for an axisymmetric nozzle", in Martensen, E. and Zengbush, von K., *Raschet okolozvukovoi chasti ploskikh osesimmetrichnykh sopel s krivolineinoi liniei perekhoda* [Calculation of the transonic part of plane axisymmetric nozzles with a curved transition line], Izd. SO AN SSSR, Novosibirsk, USSR.
- Ovsyannikov, L.V. (1962b), *Gruppovye svoystva differentsial'nykh uravnenii* [Group properties of differential equations], Izd. SO AN SSSR, Novosibirsk, USSR.
- Ovsyannikov, L.V. (1972), "An approximate method for recalculating the law of shock waves propagation", *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, vol. 1, pp. 55–57.
- Ovsyannikov, L.V. (1995), "Special spiral", *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, vol. 36, no. 3, pp. 45–52.
- Ryzhov, O.S. (1965), *Issledovanie transzvukovykh techenii v soplakh Lavalya* [Investigation of transonic flows in Laval nozzles], VTs AN SSSR, Moscow, USSR.
- Ryzhov, O.S. (1977), "On non-stationary boundary layer with self-induced pressure at transonic external flow velocities", *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1977, vol. 236, no. 5, pp. 1091–1094.
- Sauer, R. (1951), *Ecoulement des fluides compressibles*, Beranger, Paris, France.
- Shindyapin, G.P. and Chernov, I.A. (2011), "On the centenary of the birth of Savely Vladimirovich Falkovich (1911–1982)", *The journal Saratov University News. New Series. Series Mathematics. Mechanics. Informatics*, vol. 11, no. 3, part 2, pp. 118–120.
- Tikhomirov, V.M. (1996), "About mathematicians - with a smile", *Quantum*, no. 4, pp. 24–26.
- Yuriev, I.M. (1969), *Znachenie issledovaniya S.A. Chaplygina "O gazovykh struyakh" dlya gazovoi dinamiki* [The significance of S.A. Chaplygin's study "On gas jets" for gas dynamics], TsAGI, Moscow, Russia.
- Zhuk, V.I. (2001), *Volny Tollmena – Shlihtinga I solitony* [Tollmien – Schlichting waves and solitons], Nauka, Moscow, Russia.

*Информация об авторе*

*Андрей Н. Богданов*, кандидат физико-математических наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; 119192, Россия, Москва, Мичуринский просп., 1; bogdanov@imec.msu.ru

*Information about the author*

*Andrey N. Bogdanov*, Cand. of Sci. (Mathematics), Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; bld. 1, Michurinskii av., Moscow, 119192, Russia; bogdanov@imec.msu.ru

## Актуальность математического моделирования в философии

Андрей А. Якимчук

*Российский государственный гуманитарный университет,  
Москва, Россия, doego@rambler.ru*

*Аннотация.* В статье рассмотрены проблемы математического моделирования в философии и их актуальность в XXI в. Проведен анализ соотношения между структурно-логическим и неформальным подходами к постановке и исследованию философских проблем. В качестве прецедентов в математическом моделировании философских проблем рассмотрены работы В.В. Налимова и А.Д. Урсула. Предложено использовать в качестве одного из основных способов математического моделирования метод системного подхода. Этот способ позволяет комплексно структурировать философскую модель и выявить связи на логико-семантическом уровне с последующим переходом на универсальный язык математики. Результатом данного преобразования является математическая модель философской проблемы. Описывается процесс построения и связи между философской и математической моделями, указан этап перехода к чистой математике, а также даны металогические аспекты построения математической модели. Указано на сложность философских вопросов, а также на то, что математическая модель может быть излишней, и лучше формулировку философской проблемы оставить на вербальном, неформальном уровне, то есть постараться решить философскую проблему без применения математического моделирования.

*Ключевые слова:* философия, математика, моделирование, логика

*Для цитирования:* Якимчук А.А. Актуальность математического моделирования в философии // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2019. № 4. С. 75–83. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-75-83

## The relevance of mathematical modeling in philosophy

Andrei A. Yakimchuk

*Russian State University for the Humanities,  
Moscow, Russia, doego@rambler.ru*

*Abstract.* The article considers the issues of mathematical modeling in philosophy and their relevance in the 21st century. An analysis of the relationship between the structural-logical and informal approaches to the formulation and study of philosophical questions. The works of V.V. Nalimov and A.D. Ursula are considered as precedents in the mathematical modeling of philosophical issues. It is proposed to use the system approach method as one of the main methods of mathematical modeling. This method allows to comprehensively structure the philosophical model and identify relationships at the logical-semantic level with the subsequent transition to the universal language of mathematics. The result of such transformation is a mathematical model of the philosophical issue. The construction process and the relationship between philosophical and mathematical models are described, the stage of transition to pure mathematics is indicated, and the metalogical aspects of building a mathematical model are given. The complexity of philosophical questions is stated, as well as the fact that the mathematical model may be redundant, and it is better to leave the formulation of the philosophical issue at a verbal, informal level, that is to try to solve the philosophical issue without using mathematical modeling.

*Keywords:* philosophy, mathematics, modeling, logic

*For citation:* Yakimchuk, A.A. (2019), "The relevance of mathematical modeling in philosophy", *RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 4, pp. 74–83. DOI: 10.28995/2686-679X-2019-4-75-83

### *Введение*

Попытки конструировать математические модели в философии уже предпринимались. Так, в [Налимов 1989] была сделана попытка построить вероятностную модель сознания, однако там же признано, что все эти разработки – лишь интерпретация Платона.

Математическое моделирование в философии является специфичным и требует крайней осторожности. В [Мороз 2013] отмечено, что если математическое моделирование в области химии, биологии, генетики в большей части решает количественные задачи, то в области философии – качественные, выявляя смысловое содержание предмета. В этой сфере, где идет не вычисление, а раз-

личение и моделирование системы, производится структурирование понятий и смыслов, показанное через построение схем и «древ понятий». Но можно ли это называть математическим моделированием? Такой вопрос вызван аргументом автора о том, что математика имеет как технический (формальный) аспект, так и гуманитарный (смысловой), поэтому данное моделирование можно называть математическим. Возможно предположение, что этот метод только основан на элементах математического метода моделирования, а сам метод следует называть системным подходом. Последний, в свою очередь, также является математическим моделированием в качественном аспекте.

Зачем математическое моделирование в философии? Что такое математическое моделирование, и каким образом оно способствует познанию философии? В [Ильин 2016] выдвинуто определение: «Математическое моделирование определяется как изучение процессов и явлений математическими методами». Нужны ли математические модели философии или это нечто излишнее? Допустим, у нас есть некоторая философская система  $\{A\}$ , но она уже и есть то, что описывает, описывает она что? Суть вещи, но описание и есть один из способов моделирования, значит, нам нужно перевести с языка описания вербального в универсальную знаковую систему математики? Как нам, например, исследовать онтологический вопрос числа – что такое число? Как нам построить математическую модель числа? Написать 1? Что есть число? Это 1 (единица как единство или как различие (нумерация объекта))? Какова модальность понятия «число»? Попытке ответа на эти вопросы посвящена данная работа.

### *Исследование проблемы роли математических моделей в философии*

Для строгости модели у философии есть логика, и часто ее бывает достаточно. При этом при попытке выяснить, какое отношение к этому имеет математика и как ее применить, встает вопрос определения самой математики, а это проблема философии математики, т. е. самой философии. Значит, уже философия моделирует математику, стараясь дать ей определение, а математика лишь «оберегает» знания, делая их строгими? Часто то, что называют «философией», не соответствует замыслу автора термина, поскольку объект динамичен, а эта динамика крайне сложна. Поэтому то, на что направлено внимание при употреблении термина «философия», не есть то, о чем подразумевалось, т. к. знаковая система всегда ограничивает нас в высказываниях. По этой причине начинается уточнение,

коррекция и создание моделей и подмоделей с образованием философских систем, созданием терминов, новых знаковых систем; идет договоренность о новом инструменте моделирования. Попытка математически моделировать философию означает построение универсального языка для философии – отчасти потому, что математика говорит на языке абстракций. Но модели философии часто описаны нестрогим, «вербальным» языком, в свободном стиле, без формул – за исключением логических, если они необходимы. Поэтому важно перевести философскую модель на универсальный язык математики, чтобы иметь точные представления о философском знании.

В современном понимании математическое моделирование включает в себя различные аспекты, но часто имеет скорее прикладной характер, в основном применяется в естественных науках и в гуманитарном знании: экономике, психологии, социологии. Физика, к примеру, написана языком математики, информатика написана языком вычислительной математики, кибернетика имеет отношение к математике, но не есть сама математика, а стала отдельной наукой; общая теория систем, которая тесно сотрудничает с кибернетикой, также имеет основы математики, но не есть сама математика. И кибернетика, и системный подход являются инструментами математики, а потому входят в процесс математического моделирования.

Как правило, математическое моделирование приближает исследователя к сути рассматриваемой проблемы, абстрагируя его от внешнего мира. В приложении к философским проблемам моделирование – это попытка избавиться от обыденного языка осмысливать семантику построения знаний.

Если согласиться, что физика говорит на языке математики [Арнольд 2004], то на каком языке написана и говорит философия? Аналогично одному из определений математики Н. Бурбаки как науки о структурах можно предположить, что философия написана на языке философии, указывая на то, что она направлена на саму себя и дает то, что направлено извне нас в нас, для нас, с нами, от нас к нам. Попытка это моделировать приводит к следующей последовательности. Если философ задает вопрос о структуре философского знания и его модальности, то он переходит в область математического моделирования, затем философия моделируется на основе математического языка (универсальной знаковой системы). Однако как моделировать проблемы философии, если в момент моделирования вопрос направлен на самого себя? Лейбниц обозначил монадами вещи, в которые нельзя проникнуть. Является ли монада математическим объектом? Сам термин был введен пифагорейцами и в русском переводе обозначится просто

как единица, тогда как пифагорейцы придавали божественное и мистическое значение монаде, приписывая ей божественную сущность. Поэтому по сей день не видно, как математическое моделирование может помочь решить такие философские вопросы: что такое Благо, Абсолют, Бог, единое, добродетель, сущность, идея? Создание их образов, интерпретация связей в виде графов и т. д. вряд ли решит заданные вопросы философии, например, что есть сущность, сознание, душа или идея. Философия вопрошает, и если найден ответ на заданный вопрос, она все равно вопрошает, после ответа и на этот вопрос философия вновь вопрошает. Например, постоянное вопрошание в математике может соответствовать возведению в степень. Так, к примеру, поступал Платон, говоря о том, что есть вещь и идея вещи, а есть идея идеи вещи, а затем есть идея идеи вещи и т. д. Неясно, является ли подобная аналогия математическим моделированием или это лишь описание с использованием математических понятий.

Порой в философии ставится вопрос: как понять то, что вообще недоступно для понимания? К примеру, были введены такие термины, как атомы (Демокрит), монада (Лейбниц), Дао (Лао-Цзы), и на их базе создаются теории познания, системы познания, способы построения этих систем, а это и есть построение иерархической модели. Может быть, не нужно моделировать то, что есть само по себе и то, что можно созерцать? Если математика изучает отношения, структуры, пространства, позволяет анализировать, различать, соединять, синтезировать, группировать, обобщать, то философия позволяет просто видеть. Философ называет это непосредственным созерцанием вещи, «идиацией» (Гуссерль), концептом [Неретина 2010], или «схватыванием сущности одномоментно». Если же объект непосредственно созерцать невозможно, то не обойтись без математики. Более того, если объект динамичен и постоянно меняется или вообще исчезнет, то модель останется. Поэтому следует отличать модель от самой вещи.

Данные вопросы возникают не случайно, это действительно проблема XXI в., но, видимо, разрешимая. Проблема возникает из-за современной эпохи стремительного развития информационных технологий, которые требуют огромного математического ресурса, они направляют умы исследователей, инженеров, математиков и философов в область математики. Философами задаются вопросы: можно ли смоделировать универсальную философию на языке математики, перевести ее на язык вычислительной математики и сделать из компьютера философа? Возникают также вопросы в области философской антропологии.

Предлагается решение данной проблемы актуальности математического моделирования в философии следующими способами.

1. Надо понять, требует ли конкретный философский вопрос математического моделирования, если требует, то следует определить метод математического моделирования, из чего состоит метод, какие задачи решит данный метод, и для чего он будет использован в дальнейшем, или он создан только для решения данной философской задачи.
2. Если математическое моделирование возможно, то в чем его польза? Можно ли задачу решить без применения математических моделей? Может быть, достаточно описательной модели на неформальном языке?
3. Часто философский вопрос разрешается готовым результатом предшественника или историческими прецедентами, и этого достаточно. Если же нет, надо описать в модели то, что было, и то, что привнесли, что дополняет модель, проверить актуальность идеи с экспертом в данной области философии. Примером может служить разработка вероятностной логики Х. Райхенбахом.

С другой стороны, в связи с тем же развитием информационных технологий остается открытым вопрос: не является ли философия математическим моделированием в вербальном описании? Это требует исходить из понятийных аппаратов философии или математики. Нужно осмысление связей этих аппаратов и проверка их корректности. Пока понятно лишь, что математика абстрагирует, а философия старается найти нечто единое. В этом аспекте философия и математика едины, и именно поэтому, и не только, возникают попытки математического моделирования в философии, поскольку есть единый процесс, который присутствует в математике и в философии. Еще многие античные математики и философы отмечали принцип соответствия мира реального миру математическому (Фалес, Пифагор, Демокрит, Евклид, Аристотель и др.) [Охлопков 2010].

Математическое моделирование – один из методов общенаучного познания, модель является *представителем*, который построен по отношению к исследуемому объекту [Введение 2007].

В процессе математического моделирования в философии первоначально ищется единство объектов, их схожесть и обобщение. Философская модель строится на неформальном языке, но с использованием логических правил. Затем задача – перевести это на универсальный язык математики, обычно с помощью системного подхода. Результатом произведенной выше операции является математическая модель философской модели, после чего имеется полноценная свобода в применении к ней математических методов.



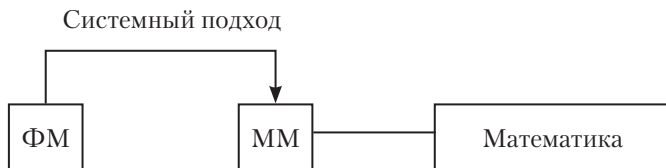


Рис. 1. Структура связи математической и философской моделей.  
ФМ – философская модель, ММ – математическая модель

Системный подход более универсальный и базируется на общенаучных и математических методах. Часто при моделировании философских проблем с помощью математического моделирования используют именно **системный подход**, порой даже не зная об этом. Это говорит о его большой пользе из-за того, что он позволяет упорядочить философскую систему без ее искажения, за счет гибкости способа моделирования. Доказательством тому служат работы А.Д. Урсула в области философии информации, а также труды разработчиков системного подхода [Блауберг 1969, Блауберг, Юдин 1973, Щедровицкий 1997, Розов 1965] и других, где показаны достоинства и сферы применения метода.

Итак, сначала имеется философская модель, цель которой – обобщение знания, затем идет перевод данной философской модели на универсальный язык математики, инструментом для перевода которого является системный подход, а результат – математическая модель философской модели. Затем производятся математические операции в математической модели, и это уже работы в области чистой математики – это и есть процесс математического моделирования в философии.

### Заключение

В статье показана сложность математического моделирования философских проблем. Причины этого – во-первых, слабая степень разработанности проблемы, во-вторых, сложность философских вопросов, которые порой лучше оставить такими, как они сформулированы, в противном случае можно только усложнить ситуацию в поисках ответа, иначе лучше оставить проблему без математического моделирования до определенной поры. В-третьих, в качестве инструмента моделирования применяется математика, причем синтез (симбиоз) между философией и математикой не всегда приводит к удаче. Контрпримером может служить «Философия имени» А.Ф. Лосева, где реализован логико-семантический подход к античным текстам и сделана попытка философского

обобщения известных понятий, структур и связей. Математическая модель – инструмент более гибкий, вариационно-содержательный и позволяет в достаточной мере редуцировать и упорядочить философскую проблему, что позволяет ее прояснить и, возможно, решить на данном этапе. Математическое моделирование в значительной степени полезнее при конструировании информационных систем, экономических моделей, вычислительных моделей в области химии и биологии и других науках, где необходим количественный анализ.

Таким образом, ответ на главный вопрос – актуально ли математическое моделирование в философии – будет следующим: в настоящее время результативность теоретически можно представить из-за структурности изучаемых объектов; если в математике объективированность изучения лежит в основе, в ее онтологической сущности, то в философии объективированности нужно добиваться, следуя определенным методологиям. Поэтому если среди задач философии есть задача результативности и приложения ее результатов, от любви до знания, то ей не избежать математизации и создания тезаурусов ее знания или каких-то разделов.

### *Литература*

---

- Арнольд 2004 – *Арнольд В.И.* Что такое математика? М.: МЦНМО, 2004.
- Блауберг 1969 – *Блауберг И.В.* Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М.: Знание, 1969.
- Блауберг, Юдин 1973 – *Блауберг И.В., Юдин Э.Г.* Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973.
- Введение 2007 – Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П.В. Трусова. М.: Университетская книга, Логос, 2007.
- Ильин 2016 – *Ильин В.П.* Фундаментальные вопросы математического моделирования // Вестник Российской Академии Наук. 2016. Т. 86. № 4. С. 26–36.
- Мороз 2013 – *Мороз В.В.* Математическое моделирование в философии: возможности и перспективы // Ученые записки: электронный научный журнал Курского государственного университета. 2013. № 2 (26). С. 8.
- Налимов 2011 – *Налимов В.В.* Спонтанность сознания. Вероятностная теория смыслов и смысловая архитектура личности. М.: Академическая книга, 2011.
- Неретина 2009 – *Неретина С.С.* Концепт // Энциклопедия эпистемологии и философии науки. М.: Канон +; РООН «Реабилитация», 2009. С. 387–389.
- Охлопков 2010 – *Охлопков Н.М.* Математическая модель – ядро современной философии математики [Электронный ресурс] // Вестник Северо-Восточного федерального университета. 2010. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematiceskaya-model-yadro-sovremennoy-filosofii-matematiki/viewer> (дата обращения 22 ноября 2019).

- Розов 1965 – *Розов М.А.* Научная абстракция и ее виды: Дис. ... канд. филос. наук. Ин-т философии АН СССР. Новосибирск, 1965.
- Щедровицкий 1997 – *Щедровицкий Г.П.* Философия. Наука. Методология. М.: Школа культурной политики, 1997.

### References

---

- Arnold, V.I. (2004), *Chto takoe matematika?* [What is mathematics?] MCNMO, Moscow, Russia.
- Blauberg, I.V. (1969), *Sistemnyi podhod: predposylki, problem, trudnosti* [Systematic approach. Prerequisites, issues, difficulties], Znanie, Moscow, Russia.
- Blauberg, I.V. and Yudin, E.G. (1973), *Stanovlenie i suscnost' sistemnogo podhoda* [Formation and essence of the systems approach], Nauka, Moscow, Russia.
- Ilyin, V.P. (2016), “Fundamental questions of mathematical modeling”, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, vol. 86, no. 4, pp. 26-36.
- Moroz, V.V. (2013) “Mathematical modeling in philosophy: opportunities and prospects”, *Scientific notes of Kursk State University*, no. 2 (26), p. 8.
- Nalimov, V.V. (2011), *Spontannost soznaniya. Veroyatnostnaya teoriya smyslovi smyslovaya arhitektonika lichnosti* [Spontaneity of consciousness. Probabilistic theory of meanings and semantic architectonics of personality], Akademicheskaya kniga, Moscow, Russia.
- Neretina, S.S. (2009), “Concept”, *Entsiklopediya epistemologii i filosofii nauki* [Encyclopedia of Epistemology and Philosophy of Science], Canon+; ROON “Reabilitatsiya”, Moscow, Russia, pp. 387-389.
- Ohlopkov, N.M. (2010), “A mathematical model is the core of modern mathematics”, *Bulletin of the Northeast Federal University* [Online], available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskaya-model-yadro-sovremennoy-filosofii-matematiki/viewer>. (Acceded 22 Nov. 2019)
- Rozov, M.A. (1965), Scientific abstraction and its types, PhD. Thesis, Institute of Philosophy under USSR Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.
- Shchedrovitsky, G.P. (1997), *Filosofiya. Nauka. Metodologiya* [Philosophy. Science. Methodology.], Shkola kulturnoi politiki, Moscow, Russia.
- Trusov, P.V., ed. (2007), *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie. Uchebnoe posobie* [Introduction to mathematical modeling. Textbook], Universitetskaya kniga, Logos, Moscow, Russia.

### Информация об авторе

*Андрей А. Якимчук*, студент, Российский государственный гуманитарный университет, Москва, Россия; 125993, Россия, Москва, Миусская пл., 6; akapustin@mail.ru

### Information about the author

*Andrei A. Yakimchuk*, student, Russian State University for the Humanities, Moscow, Russia; bld.6, Miusskaya sq., Moscow, Russia, 125993; akapustin@mail.ru

Дизайн обложки  
*Е.В. Амосова*

Корректор  
*А.А. Леонтьева*

Компьютерная верстка  
*М.Е. Заболотникова*

Подписано в печать 23.12.2019.  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Уч.-изд. л. 5,6. Усл. печ. л. 5,3.  
Тираж 1050 экз. Заказ № 882

Издательский центр  
Российского государственного  
гуманитарного университета  
125993, Москва, Миусская пл., 6  
[www.rggu.ru](http://www.rggu.ru)  
[www.knigirggu.ru](http://www.knigirggu.ru)