

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
COMPUTER SIMULATION HISTORY**

УДК 681.3.063

DOI: 10.18413/2518-1092-2017-2-4-3-9

Федоров В.И.<sup>1</sup>Иващук О.А.<sup>1</sup>Ужаринский А.Ю.<sup>2</sup>**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ  
СОСТОЯНИЯ ПОЧВ СЕЛЬСКО-ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ  
НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

<sup>1</sup>) Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

<sup>2</sup>) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева», ул. Комсомольская д. 95, г. Орел, 302026, Россия  
*e-mail: fedorov\_v@bsu.edu.ru, ivaschuk@bsu.edu.ru, udjal89@mail.ru*

**Аннотация**

Сегодня строительство жилых комплексов является одним из приоритетных направлений быстроразвивающихся регионов Российской Федерации, в особенности, следует отметить индивидуальное жилищное строительство. В результате образуются и интенсивно развиваются особые составляющие городских агломераций – сельско-городские территории. Однако планирование и застройка подобных территорий в регионах России в основном осуществляется без рассмотрения вопросов экологической безопасности. В результате сельско-городские территории часто попадают в зоны экологического риска. В связи с этим становится актуальной задача обеспечения результативного управления планированием, застройкой и развитием сельско-городских территорий с учетом их экологической безопасности, что неотъемлемо связано с разработкой и исследованием эффективных методов и моделей поддержки принятия решений в данной сфере. Одним из важнейших компонентов природной среды сельско-городских территорий является почва, состояние которой влияет как на возможность выращивания сельскохозяйственных культур, так и на здоровье проживающего населения. В данной статье рассматриваются результаты моделирования состояния почвенной среды сельско-городских территорий, расположенных в зоне действия автодорог. Авторами предложена математическая модель в виде искусственной нейронной сети, которая позволяет проводить оценку и прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в почве в зависимости от параметров автотранспортных потоков и инженерных характеристик прилегающей автодороги. Данная модель реализована с использованием пакета прикладных программ и функций Neural Network Toolbox системы MATLAB. Получаемая в результате моделирования информация может использоваться для принятия результативных управленческих решений в сфере планирования, образования, развития и застройки данных территорий.

**Ключевые слова:** сельско-городские территории; нейронные сети; прогнозирование состояния почв.

UDC 681.3.063

Fedorov V.I.<sup>1</sup>Ivashchuk O.A.<sup>1</sup>Uzharinskiy A.Ju.<sup>2</sup>**DEVELOPMENT OF THE MODEL OF ESTIMATION AND FORECASTING  
OF THE STATE OF SOILS OF RURAL-URBAN TERRITORY  
ON THE BASIS OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK**

<sup>1</sup>) Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

<sup>2</sup>) Federal state budgetary educational institution of higher professional education «Orel State University named after I.S. Turgenev», 95 Komsomolskaya St., Orel, 302026, Russia  
*e-mail: fedorov\_v@bsu.edu.ru, ivaschuk@bsu.edu.ru, udjal89@mail.ru*

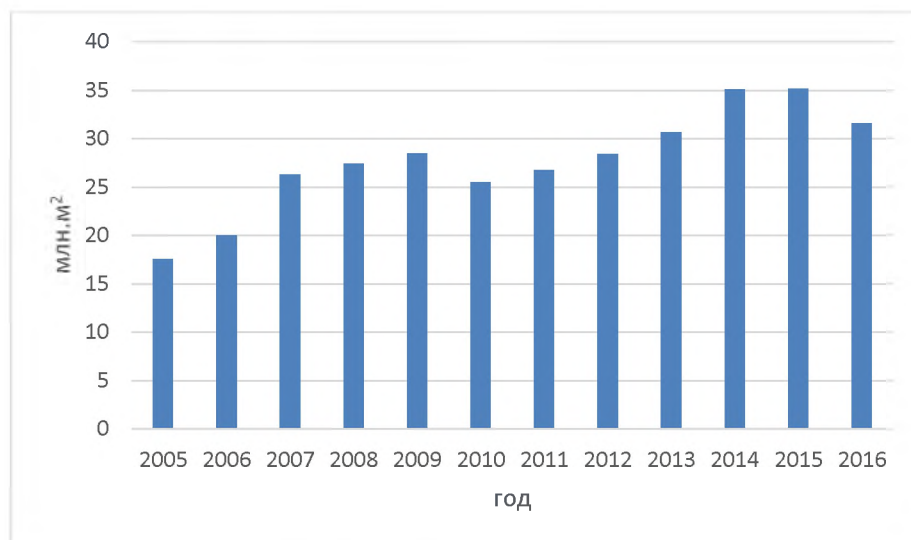
**Abstract**

Today, the construction of residential complexes is one of the priority areas of the dynamic regions of the Russian Federation, in particular, it should be noted private housing construction. As a result, special components of urban agglomerations are formed and intensively developed – rural-urban areas. However, the planning and development of such territories in the regions of Russia is mainly carried out without consideration of environmental security. As a result, rural-urban areas often fall into environmental risk zones. In this regard, it becomes important to ensure effective management of planning and development of rural-urban areas, taking into account their environmental safety, which is associated with the research and development of effective methods and models for supporting decision-making in this area. One of the most important components of the natural environment of rural-urban areas is the soil, the state of which affects both the ability to grow crops and the health of the living population. This article examines the results of modeling the state of the soil environment of rural-urban areas located in the area of action of highways. The authors proposed a mathematical model in the form of an artificial neural network, which makes it possible to estimate and predict the concentration of pollutants in the soil, depending on the parameters of motor traffic flows and the engineering characteristics of the adjacent road. This model is implemented using a package of application programs and functions of the Neural Network Toolbox of the MATLAB system. The resulting information can be used to make effective management decisions in the planning, education, development and development of these territories.

**Keywords:** rural-urban territories; neural networks; forecasting of the state of soils.

**ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня строительство жилых комплексов является одним из приоритетных направлений быстроразвивающихся регионов Российской Федерации. Особенно следует отметить индивидуальное жилищное строительство (ИЖС): по данным Росстата, начиная с 2005г. ежегодные объемы ИЖС постоянно увеличиваются (за исключением периода экономического кризиса 2008-2009гг.) (рисунок 1). Доля индивидуальных жилых домов в общем объеме жилищного строительства к 2017г. составила более 40% [1]. На рисунке 1 отображена площадь вводимого в эксплуатацию индивидуального жилья за 2005-2016гг.



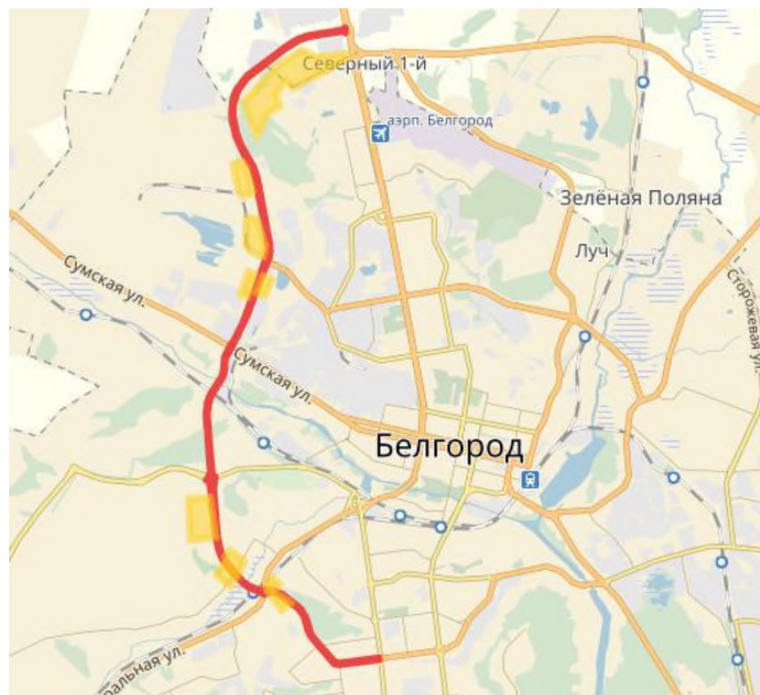
*Рис. 1. Динамика площади введенного в действие индивидуального жилья в Российской Федерации за период 2005-2016 гг.*

*Fig 1. Dynamics of the area of the constructed individual housing in the Russian Federation for the period 2005-2016*

В результате образуются и интенсивно развиваются особые составляющие городских агломераций – сельско-городские территории, население которых трудно отнести к сугубо городскому или сельскому, в частности, это территории ИЖС, рабочие поселки, сельские поселения в черте города, пригородные территории и т.п.[2]

Следует отметить, что планирование и застройка подобных территорий в регионах России в основном осуществляется без рассмотрения вопросов экологической безопасности. В результате сельско-городские территории часто попадают в зоны экологического риска, где наблюдается нарушение санитарных норм для различных компонентов природной среды, имеющие важное значение для здоровья и жизнедеятельности населения.

Например, в 2009 г. в г. Белгороде была введена в эксплуатацию автомагистраль «Спутник – Сумская – Чичерина – ротонда». Целью строительства автомагистрали было снижение нагрузки на центральную улицу города – проспект Б. Хмельницкого, улучшение экологической обстановки и снижение уровня дорожно-транспортных происшествий, а также обеспечение выхода транзитного автотранспорта к приграничным с Украиной районам. Однако сегодня значительная часть автомагистрали пролегает через районы ИЖС. Причем на некоторых участках расстояние до границ жилых домов составляет не более 2 м. Карта с указанием данной автомагистрали показана на рисунке 2, желтыми многоугольниками выделены участки ИЖС.



*Рис. 2. Схема автомагистрали «Спутник – Сумская – Чичерина – ротонда» г. Белгород  
Fig 2. Scheme of the motorway "Sputnik – Sumskaya – Chicherina – rotonda" Belgorod*

В 2016 г. научно-исследовательской лабораторией интеллектуальных автоматизированных систем НИУ «БелГУ» по обращению жителей на одном из таких участков были проведены исследования состояния различных компонентов природной среды. Результаты исследований показали повышение значений ПДК по содержанию углекислого газа (1,8 ПДК), толуола (1,42 ПДК), бензола (1,43 ПДК) в атмосферном воздухе, повышенное содержание свинца (1,56 ПДК), цинка (1,1 ПДК) и меди (1,06 ПДК) в почвах, а также повышенный уровень шума (72 дБА при нормативе 55 дБА). Данные исследования показывают, что на данной территории нежелательно, как длительное проживание, так и ведение личного подсобного хозяйства.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

В связи с вышесказанным, становится актуальной задача обеспечения результативного управления планированием, застройкой и развитием сельско-городских территорий с учетом их экологической безопасности что неотъемлемо связано с разработкой и исследованием эффективных методов и моделей поддержки принятия решений в данной сфере, механизмов его информационного обеспечения. При этом должны учитываться особенности сельско-городских территорий, а именно:

- преобладание малоэтажной жилой застройки;
- активное использование земельных участков, в том числе ведение лично подсобного хозяйства, что определяет особое значение состояния почвенной среды.

С одной стороны, преобладание малоэтажной застройки сельско-городских территорий обеспечивает возможность рассеивания загрязняющих веществ, что снижет вероятность их накопления и, как следствие, образования устойчивых зон загрязнения атмосферного воздуха. С другой стороны, отсутствие механизмов эффективного управления с учетом развития экологической ситуации при планировании, образовании, застройке и развитии подобных территорий приводит к такой их пространственной структуре (расположению жилых, промышленных и инфраструктурных объектов), при которой возникает непрерывное агрессивное техногенное воздействие на население, животный и растительный мир.

Одним из важнейших компонентов природной среды сельско-городских территорий является почва, в которой скапливаются стойкие химические соединения, поступающие из различных источников (загрязненный атмосферный воздух, осадки, сточные воды, бытовые отходы, удобрения и т.д.) Загрязняющие вещества могут распространяться по почвенному профилю и накапливаться в высоких концентрациях в верхних горизонтах. Данные процессы влияют как на возможность выращивания сельскохозяйственных культур, так и на загрязнение контактирующих сред (вода, воздух), значительно воздействуя на здоровье и жизнедеятельность населения. Для рассматриваемой территории одним из приоритетных источников загрязнения почв являются автодороги.

В данной статье рассматриваются результаты моделирования состояния почвенной среды сельско-городских территорий, расположенных в зоне действия автодорог. Авторами предложена математическая модель в виде искусственной нейронной сети (ИНС), которая позволяет проводить оценку и прогнозирование концентрации загрязняющих веществ в почве в зависимости от параметров автотранспортных потоков, инженерных характеристик прилегающей автодороги и расстоянию до ИЖС. Данный метод нейросетевого моделирования применялся авторами ранее при построении различных моделей, используемых для прогнозирования состояния природных и природно-технических объектов [3-5].

При разработке подобных ИНС требуется решить следующие задачи:

- определение входных и выходных параметров модели
- сбор данных для обучения;
- выбор топологии сети;
- экспериментальный подбор характеристик сети;
- оценка адекватности разработанной модели.

В качестве входных параметров модели были выбраны показатели характеризующие транспортный поток на выбранной автомагистрали: среднесуточная скорость транспортного потока (км/ч), период эксплуатации автодороги (дней), среднесуточное количество различных типов транспортных средств (легковые, грузовые до 5 т., грузовые более 5 т., автобусы, мотоциклы) (шт.), а также расстояние от автодороги до ИЖС (м).

Выходными параметрами модели были определены концентрации различных загрязняющих веществ (мг/кг): свинца, цинка, хрома, кадмия, бензапирена, нефтепродуктов. Выбор данных



веществ обусловлен тем, что именно они являются основными показателями качества почв для территорий данного вида [6].

Для получения обучающих данных НИИ интеллектуальных автоматизированных систем управления совместно с центром аналитических исследований НИУ «БелГУ» были проведены лабораторные исследования проб почв отобранных на территории ИЖС, находящихся в зоне действия различных автодорог Белгородской агломераций (всего 200 проб в трехкратном повторении на каждом участке). Результаты данных исследований были разделены на обучающую (по 150-ти пробам) и проверочную выборки (по 50-ти пробам).

Следующим этапом разработки модели на основе ИНС является выбор топологии нейронной сети. Топология должна выбираться исходя из задач решаемых данной моделью. В нашем случае построение модели сводится к решению задачи аппроксимации, для чего в основном используются ИНС следующих топологий: многослойный персептрон и сети с радиально-базисной функцией(RBF). [7-10] Для определения наилучшей топологии и структуры сети были проведены эксперименты с данными топологиями, в которых изменялось количество скрытых слоев, количество нейронов в слоях, использовались различные функции активации и алгоритмы обучения. Для построения ИНС и осуществления экспериментов использовался пакет прикладных программ и функций Neural Network Toolbox системы MATLAB, позволяющий реализовывать ИНС различных топологий. Для оценки адекватности построенных моделей использовались следующие критерии:  $mse$  – среднеквадратичная ошибка, минимизируемая в процессе обучения;  $R^2$  – коэффициент детерминации;  $\bar{A}_{об.}$  и  $\bar{A}_{прог.}$  – средние ошибки аппроксимации на обучающей и тестовой выборках. По результатам проверочных экспериментов лучшие результаты показала сеть с топологией многослойного персептрона с 2 скрытыми слоями (10 и 15 нейронов в каждом слое соответственно) и сигмовидными функциями активации. Для данной модели среднеквадратичная ошибка обучения составила  $mse = 0,3 \cdot 10^{-5}$ ; коэффициент детерминации  $R^2 = 99,73$ ; средние ошибки аппроксимации на обучающей и тестовой выборках:  $\bar{A}_{об.} = 0,98 \%$ ,  $\bar{A}_{прог.} = 0,92 \%$ . Структура данной сети представлена на рисунке 3.

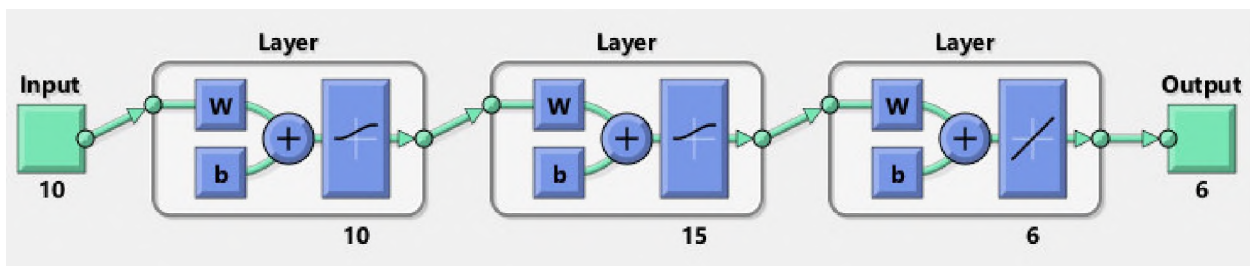


Рис. 3. Структура полученного многослойного персептрона, реализованная в системе MATLAB  
Fig. 3. The structure of the developed multilayer perceptron, implemented in the MATLAB system

Для демонстрации работы модели проведен эксперимент для одной из исследуемых автодорог (входные параметры модели, характеризующие данную автодорогу приведены в таблице 1). Результат моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 1

**Входные параметры, используемые для моделирования**

Table 1

**Input parameters used for modeling**

№	Параметр	Значение
1	Среднесуточная скорость транспортного потока, км/ч	57
2	Период эксплуатации автодороги, дней	1460

№	Параметр	Значение
3	Среднесуточное количество легковых автомобилей, шт.	4480
4	Среднесуточное количество грузовых Автомобилей до 5 т., шт.	510
5	Среднесуточное количество грузовых автомобилей более 5 т., шт.	1860
6	Среднесуточное количество автобусов, шт.	310
7	Среднесуточное количество мотоциклов, шт.	12
8	Расстояние от автодороги, м.	50

Таблица 2

**Результаты моделирования**

Table 2

**Simulation results**

№	Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/кг
1	Свинец	11,5
2	Цинк	23,3
3	Хром	15,1
4	Кадмий	1,3
5	Бензапирен	0,01
6	Нефтепродукты	14

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основе проведенного исследования получены следующие результаты и выводы:

- выбраны основные показатели состояния почв сельско-городских территорий, влияющие как на выращивание сельскохозяйственных культур, так и на здоровье проживающего населения;
- проведены лабораторные анализы состояния почв двухсот участков ИЖС в зоне действия автомобильных дорог;
- для проведения имитационных экспериментов по оценке и прогнозированию состояния почв сельско-городских территорий были исследована и разработана математическая модель в виде ИНС, которая позволяет проводить оценку и прогнозирование содержания загрязняющих веществ в почвах сельско-городских территорий в зоне действия автодорог.

Данная модель может использоваться для принятия результативных управленческих решений в сфере планирования, образования, развития и застройки данных территорий.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Работа выполнена в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 15-48-03163 «Создание и исследование технологии и прототипа системы интеллектуального экомониторинга, прогнозирования и ситуационного управления биотехносферой сельско-городских территорий».

**Список литературы**

1. О жилищном строительстве в 2015 г. [Электронный ресурс]. // Федеральная служба государственной статистики [Официальный сайт]. Web доступ: [http://www.gks.ru/bgd/free/b04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm) (20.03.2016 г.)
2. Четошников, С.Г. Региональная политика в отношении сельско-городских территорий / С.Г. Четошников//Вестник томского государственного университета – 2012 - №4 – с.50-52
3. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas / International Business Management, 2015. – Volume: 9. – Issue: 7. – Page No.: 1598-1603.

4. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety / Journal of current research in science: 4(1), 2016: 84-90.
5. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters / International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 22 (2014) pp. 16813-16820.
6. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы: СанПиН 2.1.7.1287-03 от 15 июня 2003 г.
7. Yue Wu, Hui Wang, Biaobiao Zhang, K.-L. Du. Using Radial Basis Function Networks for Function Approximation and Classification / ISRN Applied Mathematics, vol. 2012, Article ID 324194, 34 pages, 2012.
8. Liu Y, Starzyk J.A., Zhu Z. Optimized approximation algorithm in neural networks without overfitting / IEEE Trans Neural Network, 2008, vol. 9, p.83-95.
9. Nam Mai-Duy, Thanh Tran-Cong Approximation of function and its derivatives using radial basis function networks / Applied Mathematical Modelling, vol. 27, march 2003, p. 197-220.
10. Sing J.K., Basu D.K., Nasipuri M., Kundu M. Face recognition using point symmetry distance-based RBF network/Applied Soft Computing. 2007, vol 7, p. 58-70.

### References

1. About housing construction in 2016 available at [http://www.gks.ru/bgd/free/b04\\_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/21.htm)
2. Chetoshnikov S.G. Regional policy on rural - urban areas/ Tomsk State University Journal, 2012, vol. 4, p. 50-52.
3. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Shcherbinina N.V., Kvanin D.A., Gakhov R.P. Automated Management of Biotechnosphere of Local Urban Areas / International Business Management, 2015. – Volume: 9. – Issue: 7. – Page No.: 1598-1603.
4. Ivashchuk O.A., Lazarev S.A., Ivashchuk O.D., Fedorov V.I. Situational modeling for the control of technospheric safety / Journal of current research in science: 4(1), 2016: 84-90.
5. Ivashchuk O.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Fedorov V.I. Research in the Field of Automated Environmental Safety Control for Industrial and Regional Clusters/ International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 22 (2014) pp. 16813-16820.
6. Sanitary and epidemiological requirements to soil quality: SanPiN 2.1.7.1287-03, 15 june 2003.
7. Yue Wu, Hui Wang, Biaobiao Zhang, K.-L. Du. Using Radial Basis Function Networks for Function Approximation and Classification / ISRN Applied Mathematics, vol. 2012, Article ID 324194, 34 pages, 2012.
8. Liu Y, Starzyk J.A., Zhu Z. Optimized approximation algorithm in neural networks without overfitting / IEEE Trans Neural Network, 2008, vol. 9, p.83-95.
9. Nam Mai-Duy, Thanh Tran-Cong Approximation of function and its derivatives using radial basis function networks / Applied Mathematical Modelling, vol. 27, march 2003, p. 197-220.
10. Sing J.K., Basu D.K., Nasipuri M., Kundu M. Face recognition using point symmetry distance-based RBF network/Applied Soft Computing. 2007, vol 7, p. 58-70.

**Федоров Вячеслав Игоревич**, ассистент кафедры информационных систем

**Иващук Ольга Александровна**, профессор кафедры информационных систем, доктор технических наук, профессор

**Ужаринский Антон Юрьевич**, доцент кафедры программной инженерии, кандидат технических наук

**Fedorov Vyacheslav Igorevich**, assistant at the Department of Information System

**Ivashchuk Olga Alexandrovna**, professor at the Department of Information System, doctor of technical science, professor

**Uzharinskiy Anton Jurjevich**, assistant professor at the Department of Software Engineering, Candidate of Technical Sciences