

## Учебно-исследовательский проект в системе формирования компетенций цифровой культуры

Д. В. Баландин, О. А. Кузенков, А. И. Эгамов\*, А. О. Гертель

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Адрес: 603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23

\* albert810@yandex.ru

### Аннотация

Обсуждается связь масштабной национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и модернизации подготовки специалистов в области ИТ. Наиболее перспективным для образовательного процесса, с точки зрения исследователей, является проектный подход. Он активно внедряется в обучение различных образовательных учреждений для подготовки бакалавров и магистров в области информационных технологий. Исследуется применение таких проектов как приоритетных в Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского. В статье в качестве показательного приводится учебно-исследовательский проект о нахождении оптимального плана переработки сахарной свеклы. Этот проект имеет следующие плюсы: мощная теоретическая основа, тесная связь учебного материала с действительностью, интуитивно понятные алгоритмы, связанные с численным решением задачи. Описывается ход реализации этой работы. Для проверки готовности студента к экспериментальной части авторами проекта подготовлена теоретическая часть. Всего авторами подготовлено 4 этапа прохождения данного проекта. Проверяется в том числе умение находить на практике квазиоптимальные решения оптимизационной задачи. На выходе обязательно представление графиков целевых функций для различных планов переработки партий свеклы, полученных вследствие работы программы, написанной на популярном алгоритмическом языке Python. Это необходимо для умения наглядного представления и сравнения результатов, полученных при применении различных тактик и планов переработки, и последующего выбора лучшего варианта. При всем этом у студентов появляется опыт слияния в данном образовательном процессе науки и ИТ-индустрии, без которого невозможно в современном мире быть конкурентоспособным выпускником. Использование проектного подхода является высокоэффективным средством формирования компетенций цифровой культуры и модернизации учебного процесса подготовки специалистов в области информационных технологий.

**Ключевые слова:** проектный подход, учебно-исследовательский проект, формирование компетенций, оптимальный план, переработка сахарной свеклы

**Финансирование:** Работа выполнена по договору № СС3-1771 от 22.04.2021 на выполнение НИ-ОКТР на тему «Создание высокотехнологичного производства сахара на базе АО «Сергачский сахарный завод»» в рамках реализации Соглашения о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства №075-11-2021-038 от 24.06.2021 (ИГК000000S407521QLA0002).

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Учебно-исследовательский проект в системе формирования компетенций цифровой культуры / Д. В. Баландин [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19, № 2. С. 447-459. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202302.447-459>

© Баландин Д. В., Кузенков О. А., Эгамов А. И., Гертель А. О., 2023



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



## Educational and Research Project in the System of Formation of Digital Culture Competencies

D. V. Balandin, O. A. Kuzenkov, A. I. Egamov\*, A. O. Gertel

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Address: 23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation

\* albert810@yandex.ru

### Abstract

The dependence of the large-scale national program “Digital Economy of the Russian Federation” and modernization of training of IT specialists is discussed. The most promising approach for the educational process from the point of view of researchers is the project approach. It is actively being implemented in the training of various educational institutions for the preparation of bachelors and masters in the field of information technology. The application of such projects as priority ones at the Lobachevsky Nizhny Novgorod State University is being investigated. The article provides an educational and research project on finding the optimal schedule for sugar beet processing as an indicative one. This project has the following advantages: a powerful theoretical basis, a close connection of the educational material with reality, intuitive algorithms related to the numerical solution of the problem. The progress of this work is described. To check the student’s readiness for the experimental part, the authors of the project have prepared a theoretical part. In total, the authors have prepared 4 stages of this project. The ability to find quasi-optimal solutions to an optimization problem in practice is tested, among other things. At the output, it is mandatory to present graphs of objective functions for various plans for processing batches of beets obtained as a result of the operation of a program written in the popular algorithmic Python language. This is necessary for the ability to visualize and compare the results obtained by applying various tactics and processing plans, and then choose the best one. At the same time, students have the experience of merging science and the IT industry in this educational process, without which it is impossible to be a competitive graduate in the modern world. The use of the project approach is a highly effective means of forming digital culture competencies and modernizing the educational process of training specialists in the field of information technology.

**Keywords:** project approach, educational and research project, competence formation, optimal schedule, sugar beet processing

**Funding:** the article was carried out under the contract No SSZ-1771 dated 22.04.2021. on the implementation of R&D on the topic: “Creation of high-tech sugar production on the basis of JSC “Sergach Sugar Plant”, within the framework of the Agreement on the provision of subsidies from the federal budget for the development of cooperation between the Russian educational organization of higher education and the organization of the real sector of the economy in order to implement a comprehensive project to create high-tech production No. 075-11-2021-038 of 24.06.2021. (IGC 000000S407521Q-LA0002).

**Conflict of interests:** The authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Balandin D.V., Kuzenkov O.A., Egamov A.I., Gertel A.O. Educational and Research Project in the System of Formation of Digital Culture Competencies. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(2):447-459. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202302.447-459>



## Введение

В 2018 году в России началась реализация масштабной национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»<sup>1</sup>. Один из проектов в рамках этой программы «Кадры для цифровой экономики» непосредственно связан с модернизацией системы высшего образования. Одной из приоритетных задач высшего образования в настоящее время является подготовка выпускников, способных принимать активное участие в развитии цифровой экономики. И в первую очередь это относится к подготовке специалистов в области информационных технологий. Решение поставленной задачи невозможно без формирования в процессе обучения новых компетенций цифровой культуры [1-3]. Система таких компетенций предполагает не только освоение математического фундамента и современных средств информационных технологий, но и способность грамотно применять их в реальных экономических условиях для повышения эффективности промышленного производства. Формирование этих компетенций в процессе обучения неизбежно требует интеграции образования, науки и экономики.

В то же время существующий подход к подготовке бакалавров в области информационных технологий не отвечает в полной мере решению этой задачи. Как правило, стандартный учебный план предполагает относительно автономное приобретение математических знаний и формирование умений работы с компьютерными средствами [4]. Такую структуру учебного плана можно было заметить в недавних примерных образовательных программах [5-7]. При этом до получения навыков практического внедрения цифровых технологий в производственный процесс дело доходит, в лучшем случае на этапе прохождения производственной практики, да и то далеко не всегда. Нередко за пределами внимания обучающихся оказываются вопросы оценки экономической эффективности и оценки рисков, взаимодействие с реальными потребителями. Проблемы модернизации подготовки специалистов в области ИТ были предметом исследования ряда российских и международных проектов<sup>2</sup> [8, 9]. По итогам проведенных исследований был предложен системный подход для преодоления существующих проблем высшего образования [10-16]. Среди наиболее перспективных составляющих в рамках этого подхода был назван проектный метод обучения [17]. Метод проектов предполагает комплексное инженерное решение поставленной задачи. Обязательным требованием к проектному заданию является практическое использование программных средств. В то же время задание предполагает проведение аналитического исследования, имеющего прикладное значение в области компьютерных технологий. Такое сочетание разных сторон проектных задач позволяет наиболее эффективно достигать основных целей обучения. Была проведена системная работа по формированию методических основ проектного обучения в рамках подготовки ИТ-специалистов. Проведенные исследования показали высокую эффективность проектных методов обучения при освоении традиционных математических дисциплин учебного

плана [18, 19]. Еще большее значение приобретают эти методы при формировании навыков практического использования полученных знаний в современной цифровой экономике.

Следует отметить, что проектные методы активно внедряются в современный образовательный процесс [20]. В ряде ведущих вузов России (таких, как Высшая школа экономики) проектные работы являются отдельным обязательным компонентом учебного плана. Однако в большинстве вузов проектные работы проводятся по инициативе отдельных преподавателей в рамках традиционных дисциплин. В этом случае необходима разработка учебно-методического обеспечения, позволяющего согласовать программу дисциплины с выполнением проекта, имеющего выраженную прикладную направленность.

Целью настоящей работы является создание учебно-методического обеспечения для выполнения учебно-исследовательского проекта в целях подготовки бакалавров ИТ-направлений для работы в условиях цифровой экономики. При этом проводится анализ и обобщение опыта выполнения учебно-исследовательского проекта студентами Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского.

## Материалы и методы

Очевидно, что наибольшую эффективность для подготовки кадров цифровой экономики будет иметь тот проект, который выполняется в интересах конкретного предприятия. В 2022 году бакалаврами Нижегородского государственного университета выполнялся проект для Сергачского сахарного завода. Сергачский сахарный завод был открыт в 1959 году и является самым северным сахарным заводом России. Производственные мощности завода позволяют перерабатывать до трех тысяч тонн сырья в сутки. В настоящее время по постановлению Правительства Российской Федерации проводится масштабная реконструкция и модернизация завода. Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского принимает активное участие в этой программе, в частности, ведет работы по оптимизации управления на основе современных информационных технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения. Учебно-исследовательский проект выполнялся в рамках этой программы и был направлен на решение следующей практической задачи.

Известно, что сырьем для производства сахара является сахарная свекла, которая заготавливается в период созревания и затем хранится на кагатных полях для обеспечения бесперебойной работы завода в течение сезона. На выход сахара из массовой единицы сырья влияет множество факторов, главным из которых является химический состав сырья [21]. При этом основное влияние оказывает содержание сахарозы в сырье, а также содержание калия, натрия и альфа-аминного азота. Химический состав сырья зависит от сорта свеклы, от условий ее выращивания и хранения. В таблице 1 приведены примеры химического состава различных сортов свеклы, перерабатываемой на Сергачском сахарном заводе.

<sup>1</sup> Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации»: Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221756](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221756) (дата обращения: 20.02.2023).

<sup>2</sup> Ключевые ориентиры для разработки и реализации образовательных программ в предметной области «Информационно-коммуникационные технологии» / И. Ю. Петрова, В. М. Зарипова, Е. Г. Ишкина [и др.]. Бильбао: Университет Деусто, 2013. 87 с. EDN: YSXGMV



Таблица 1. Состав сырья, перерабатываемого на АО «Сергачский сахарный завод»  
Table 1. Composition of raw materials processed at JSC "Sergach Sugar Factory"

Наименование показателя	Обозначение	Сорт № 1	Сорт № 2	Сорт № 3	Сорт № 4	Сорт № 5	Сорт № 6
Сахароза, %	$a_i$	22,15	20,58	21,08	22,24	22,52	18,93
Содержание калия, ммоль/100г свеклы	$K_i$	7,05	4,99	4,88	5,35	7,05	5,23
Содержание натрия, моль/100г свеклы	$Na_i$	0,35	0,38	0,31	0,21	0,75	0,82
Содержание $\alpha$ -аминного азота, моль/100г свеклы	$\alpha_i$	1,88	1,91	2,01	1,58	2,80	2,72

Источник: здесь и далее в статье все рисунки и таблицы составлены авторами.

Source: Hereinafter in this article all figures and tables were made by the authors.

Если обозначить  $A_i$  — содержание сахарозы (в %) в  $i$ -ой партии сырья в начале ее переработки,  $K_i$  — содержание калия (в моль/100г),  $Na_i$  — содержание натрия (в ммоль/100 г),  $\alpha_i$  — содержание альфа-аминного азота (в моль/100 г), то выход сахара  $S_i$  при переработке  $i$ -ой партии сырья будет функцией от этих переменных:

$$S_i = f(A_i, K_i, Na_i, \alpha_i).$$

Существуют различные математические модели сахарного производства и соответствующие формулы, позволяющие рассчитать прогнозируемый выход сахара по известному химическому составу сырья [22, 23]. Одной из наиболее простых и общепризнанных является Браунгшвейская формула [22]:

$$S_i = A_i - (0.12(K_i + Na_i) + 0.24\alpha_i + 0.48).$$

Выход сахара можно оценить точнее, если использовать другие формулы, учитывающие коэффициент эффективности производства, чистоту свекловичного сока, содержание сухих веществ, зольных элементов, редуцированных сахаров и другие дополнительные показатели.

Предположим, имеется  $n$  партий сырья равной массы, каждая из которых перерабатывается в течение одного периода (этапа) времени, например одного дня или одной недели и т. п. Пусть  $A_i$  — содержание сахарозы (в %) в  $i$ -ой партии сырья в начале общей переработки. При длительном хранении сырья на кагатных полях происходит его деградация — снижение содержания сахарозы путем превращения ее в редуцированные сахара. Для формализации этого процесса введем коэффициент  $b_{ij}$  — коэффициент деградации  $i$ -ой партии сырья в течение  $j$ -го периода хранения. Тогда содержание сахарозы в  $i$ -ой партии свеклы будет изменяться следующим образом:  $a_i b_{i1}$  — после первого периода хранения,  $a_i b_{i1} b_{i2}$  — после второго и т. д. Если  $i$ -ая партия перерабатывается в  $j$ -ый период, то  $A_i = b_{i1} \dots b_{ij-1}$ .

Пусть партии сырья занумерованы в порядке переработки. Тогда общий выход продукции после переработки всех партий будет пропорциональна следующей величине  $S = f(a_1, K_1, Na_1, \alpha_1) + f(a_2 b_{21}, K_2, Na_2, \alpha_2) + \dots + f(a_n b_{n1} b_{n2} \dots b_{nn-1}, K_n, Na_n, \alpha_n)$ .

Возникает задача построения такой последовательности переработки имеющихся партий сырья, при которой выход сахара будет максимальным (то есть  $S \rightarrow \max$ ). Коэффициенты деградации зависят как от сорта свеклы, так и от условий ее хранения.

Реализация оптимальной стратегии переработки потенциально может существенно повысить выход конечного продукта при тех же самых производственных мощностях на том же самом оборудовании. Отдача от перехода на оптимальную последовательность переработки при минимальных дополнительных затратах на ее осуществление может быть сопоставима с модернизацией оборудования. Таким образом, решение указанной оптимизационной задачи представляет значительный интерес для конкретного потребителя.

Задача построения оптимального графика переработки продукции имеет место не только в сахарном производстве, но и ряде других отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности<sup>3</sup> [24-32]. Эта задача рассматривалась широким кругом российских и зарубежных исследователей<sup>4</sup> [33-42]. В наиболее простой постановке рассмотренная задача относится к классу задач дискретной оптимизации. С помощью несложных математических преобразований она может быть сведена к классической задаче о назначениях<sup>5</sup>. Для решения такой задачи существуют эффективные алгоритмы, в частности венгерский алгоритм<sup>6</sup>. Однако использование таких алгоритмов в условиях сахарного производства сталкивается с существенными трудностями. Дело в том, что коэффициенты

<sup>3</sup> Технология хранения, переработки и стандартизация растениеводческой продукции : учебник / В. И. Манжесов, И. А. Попов, Д. С. Щедрин [и др.]. Санкт-Петербург : Изд. дом «Троицкий мост», 2010. 703 с. EDN: QNHU1L.

<sup>4</sup> Оптимальный график переработки сахарной свеклы в условиях неопределенности / Д. В. Баландин, О. А. Кузенков, В. К. Вильданов, А. И. Эгамов // «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» : Сб. тр. Межд. науч. конф. Воронеж : ВГУ, 2022. С. 328-334. EDN: XNGASU; Стратегия переработки партий сахарной свеклы при близких параметрах ее увядания / Д. В. Баландин, В. К. Вильданов, О. А. Кузенков [и др.] // Математическое и компьютерное моделирование и бизнес-анализ в условиях цифровизации экономики : Сб. науч. ст. по итогам II Всероссийского научно-практического семинара. Нижний Новгород : ННГУ, 2022. С. 10-18. EDN: NLUMKE.

<sup>5</sup> Банди Б. Основы линейного программирования. М. : Радио и связь, 1989. 176 с.; Burkard R, Dell'Amico M., Martello S. Assignment Problems. Society for Industrial and Applied Mathematics, USA, 2009. 402 p.; Палий И. А. Линейное программирование : уч. пособие. М. : Юрайт, 2017. 175 с.

<sup>6</sup> Там же.



деградации зависят как от сорта свеклы, так и от условий ее хранения. В течение сезона до момента переработки заготовленная свекла хранится на кагатных полях на открытом воздухе, поэтому коэффициенты деградации в тот или иной день хранения определяются соответствующими погодными условиями. Ввиду того что точно предсказать погоду на все дни хранения невозможно, нельзя заранее знать коэффициенты деградации. В этом случае поставленная задача принимает форму задачи о назначениях в условиях неопределенности. Хотя эта задача существенно сложнее исходной, в настоящее время существуют математические подходы к ее решению. Обычно они оперируют с различными показателями распределений случайных величин — математическим ожиданием, дисперсией и т. п. В действительности для реального сахарного производства эти значения точно получить невозможно. Если же работать с приблизительными оценками, то можно свести к нулю весь выигрыш от оптимального решения. Тем более что алгоритмы решения, которые строятся на основе таких методик, не являясь тривиальными и на практике могут создавать дополнительные трудности для производителей.

Реальный производитель нуждается не в изощренных математических алгоритмах, трудно реализуемых на практике, а в простых и надежных решениях, которые хотя и не обеспечивают абсолютного максимума выхода, но отклоняются от него на пренебрежимо малую величину в условиях конкретного производства. Таким образом, исходная абстрактная оптимизационная задача переформулируется как задача поиска квазиоптимального решения.

В качестве квазиоптимальных [42] рассматриваются два простейших эвристических алгоритма: «жадный» алгоритм<sup>7</sup>, при котором каждый день перерабатывается та партия свеклы, которая дает наибольший выход сахара, и «бережливый» алгоритм, когда каждый день перерабатывается та партия сырья, которая дает наименьший выход сахара.

Как ни странно, несмотря на то, что «бережливый» алгоритм является по сути дела «жадным» алгоритмом для поиска минимума целевой функции, в некоторых случаях (то есть, при некоторых условиях, наложенных на параметры перерабатываемых партий) он является оптимальным для максимизации целевой функции.

Основная задача проекта состоит в том, чтобы осознать важность и нужность решения проблем сахаропродуктового подкомплекса АПК, оценить разные алгоритмы с точки зрения их эффективности в условиях конкретного завода, оценить возможные потери квазиоптимальных алгоритмов по сравнению с абсолютным оптимумом и сформулировать рекомендации для производителей относительно стратегии переработки сырья<sup>8</sup> [43].

## Результаты

В результате проведенной работы было создано учебно-методическое обеспечение для поддержки студенческого исследовательского проекта, выполняемого бакалаврами третьего года обучения по направлению «Фундаментальная информатика и информационные технологии» (ФИИТ) в Нижегородском государственном университете им. Н. И. Лобачевского (ННГУ). Проект выполняется в течение шестого семестра обучения группой из 4–5 студентов, что способствует формированию навыков профессионального взаимодействия и командной работы. Учебно-методическое обеспечение предполагает формулировку целей и задач образовательного проекта, определение его трудоемкости, соотнесение с другими компонентами образовательной программы, построение плана и графика, подготовку перечня необходимой литературы, создание фонда оценочных средств.

Основной образовательной целью проекта является формирование компетенций цифровой культуры у обучающихся. Для рассматриваемого проекта оптимизации графика переработки сахарной свеклы основной формируемой компетенцией является ОПК-2 «Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение, в том числе отечественного происхождения, для решения задач профессиональной деятельности», предусмотренной действующим ФГОС ВО, а также образовательным стандартом Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского [44–47]. Дополнительными компетенциями, степень сформированности которых углубляется в ходе проекта, являются ОПК-1 «Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности» и УК-3 «Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде».

Поскольку действующий учебный план ННГУ для бакалавров ФИИТ не предусматривает выполнение проекта как отдельной компоненты, то проект выполняется в рамках учебной дисциплины «Вычислительные методы». Цели проекта согласуются с целями освоения указанной дисциплины, которые состоят в формировании компетенций ОПК-1 и ОПК-2. Обратим внимание, что формирование компетенции УК-3 представляет значительную проблему при традиционном составлении учебного плана. Так, в действующем плане ННГУ подготовки бакалавров ФИИТ формирование этой компетенции предусмотрено лишь в рамках дисциплины «Основы предпринимательской деятельности», для которой выделяются только лекционные часы. Это может привести к тому, что моменты межличностных отношений и командного взаимодействия будут изучаться лишь на теоретическом уровне без получения практических навыков. Проектный подход представляет собой идеальное средство для формирования этой компетенции на практике, что отражается в дополнительных целях проекта. Задачами проекта являются: освоение обучающимися мате-

<sup>7</sup> Roughgarden T. Algorithms Illuminated (Part 3): Greedy Algorithms and Dynamic Programming. New York : Soundlikeyourself Publishing, LLC, 2019. 232 p.

<sup>8</sup> Лабораторная работа: Построение оптимальной стратегии переработки скоропортящейся сельхозпродукции / Д. В. Баландин, В. К. Вильданов, О. А. Кузенков [и др.] // Цифровые технологии и информационная безопасность бизнес-процессов : Сб. науч. статей по итогам научно-практической конференции с межд. участием. Нижний Новгород : ННГУ, 2022. С. 99–104. EDN: PFKXRV.



математических основ для оптимизации графика переработки сырья; освоение компьютерных средств поддержки принятия решений при переработке сырья; оценка эффективности различных эвристических алгоритмов переработки в условиях конкретного производства; составление рекомендаций для производителей по выбору алгоритма переработки сырья.

Трудоемкость проекта составляет 16 академических часов, из них 6 аудиторных часов, 8 часов самостоятельной работы и 2 часа консультаций. Аудиторные часы необходимы для проведения установочных занятий, осуществления текущего контроля и итоговой защиты проекта. Эти часы берутся из аудиторных часов, предусмотренных учебным планом по дисциплине «Вычислительные методы» для проведения практических занятий (16 часов).

План выполнения проекта состоит из четырех этапов.

Первый этап подготовительный. На этом этапе осуществляется отбор студентов для выполнения проекта, знакомство с тематикой и целями проекта, математическая постановка задачи, детализация плана и графика выполнения, распределение обязанностей между участниками проекта, организация взаимодействия между ними.

Этот этап теснейшим образом связан с формированием у обучающихся компетенции УК-3. При создании рабочей группы для выполнения проекта студенты самостоятельно определяют, в каком коллективе им будет наиболее комфортно работать. Затем студенты оценивают предполагаемый объем и виды работы и решают, кто какую часть выполняет и как это согласуется с общей целью. Для координации взаимодействия студенты выбирают координатора. Для обеспечения оперативного взаимодействия могут быть использованы социальные сети. При отборе студентов преподаватель обращает внимание на их успеваемость и самостоятельность, оценивает целесообразность замены для них традиционных практических занятий на выполнение проектной работы.

Для проекта по оптимизации графика переработки сахарной свеклы в 2022 году были отобраны следующие хорошо успевающие студенты: Даньшин Глеб, Зарубин Михаил, Куклин Андрей, Медведева Карина, которые проявили заинтересованность в тематике проекта и имели опыт командной работы. Следует отметить, что этими студентами в осеннем семестре 2021/22 учебного года был успешно выполнен проект «Модификация эволюционных алгоритмов глобального поиска» в рамках учебной дисциплины «Математическое моделирование процессов отбора».

Второй этап — изучение теоретических основ. На этом этапе студенты изучают предложенную литературу и составляют обзор источников, изучают математические основы для выполнения проекта. Так, в рамках проекта по оптимизации графика переработки свеклы студенты знакомятся с основными этапами и проблемами при производстве сахара, математическими моделями сахарного производства, изучают задачи дискретной оптимизации и задачи о назначениях, алгоритмы их решения — симплекс-метод, венгерский алгоритм и т. п. Студенты получают представление о задачах дискретной оптимизации в условиях неопределенности, учатся анализировать имеющиеся методы их решения, оценивать их достоинства и недостатки с точки зрения конкретного производства.

Этот этап в наибольшей степени связан с формированием ком-

петенции ОПК-1. Следует отметить, что математические знания являются фундаментом для компетенций цифровой культуры. При выполнении проекта повышение математической квалификации не является проявлением абстрактного интереса, а диктуется необходимостью решить прикладную задачу, тем самым повышается мотивация к углубленному изучению математических методов. При рассмотрении математических моделей производства демонстрируется неразрывная связь между математикой и реальными экономическими вопросами.

Третий этап — освоение программных средств. Здесь обучающиеся знакомятся с существующим стандартным программным обеспечением и учатся создавать программные средства для поддержки решения проектной задачи. На этом этапе осуществляется формирование компетенции ОПК-2.

Программное обеспечение для оптимизации графика переработки сахарной свеклы создавалось в среде Visual Studio Code с использованием языка Python, графический интерфейс использовал библиотеку Qt, графики строились с помощью библиотеки Matplotlib. Для реализации венгерского алгоритма использовался стандартный пакет библиотеки Munkres.

Четвертый этап — решение исследовательской задачи. Для эффективного решения проектной задачи в условиях конкретного производства необходимо установить взаимодействие с производителями, использовать существующие данные по реальному технологическому процессам. Здесь достигается более высокий уровень сформированности компетенции ОПК-2 по сравнению с предыдущим этапом.

В рамках проекта по оптимизации графика переработки студенты проводили оценку потерь эвристических алгоритмов по сравнению с абсолютно оптимальным (венгерским), используя многолетние эмпирические данные о составе сырья и выходе сахара, полученные от Сергачского сахарного завода. Заключительный этап состоит в подготовке отчета и итоговой защите проекта. Отчет должен содержать выводы и практические рекомендации для производителей.

График проведения проекта согласуется с расписанием для учебной дисциплины, в рамках которой он выполняется. В 2022 году проект по оптимизации графика переработки свеклы продолжался с февраля по май, первый этап — с 15.02 по 1.03, второй — с 2.03 по 15.03, третий — с 16.03 по 12.04, четвертый — с 13.04 по 12.05, пятый — с 13.05 по 24.05. Защита результатов проекта состоялась 24.05. По завершении каждого этапа осуществлялся текущий контроль.

Для проведения контроля создан фонд оценочных средств. Для проверки сформированности компетенции ОПК-1 разработана серия задач о назначениях невысокой размерности  $n=4$ . Эти задачи решаются студентами аналитически. Задачи построены таким образом, чтобы продемонстрировать высокую чувствительность оптимального графика к значениям коэффициентов деградации. Решая их, можно заметить, что небольшое изменение всего одного коэффициента (до 5%) может привести к полному изменению оптимальной последовательности переработки. В то же время выход сахара при таком изменении меняется пренебрежимо мало. Это показывает, что в условиях реального производства не обязательно стремиться к достижению точного оптимума, можно ограничиться квазиоптимальным решением, практический проигрыш от кото-



рого будет несущественен в условиях реального производства. Кроме того, задачи показывают, что существуют случаи, когда эвристические алгоритмы «жадный» и «бережливый» дают абсолютный оптимум выхода.

Для проверки сформированности компетенции ОПК-2 на третьем этапе решенные аналитические задачи используются в качестве тестовых заданий, позволяющих убедиться в правильности работы созданного программного обеспечения.

Основным оценочным средством, позволяющим убедиться в достижении целей проекта, является итоговый письменный отчет и устная презентация результатов проекта.

Некоторые результаты выполнения проекта приведены на рисунках 1 и 2.

### Экспериментальная часть

Пусть  $n=20$ . Тогда в качестве единицы (периода) времени можно взять одну неделю. Для каждой серии экспериментов, состоящей из 50 запусков, задаются допустимые фиксированные интервалы  $a_i \in (a_{\min}; a_{\max})$ ,  $b_{ij} \in (\beta_{\min}; \beta_{\max})$ , наиболее приемлемые для сахарной свеклы. Затем для каждого эксперимента посредством равномерного распределения на заданных интервалах случайным образом получим набор параметров  $a_i, b_{ij}, i = 1, n, j = 1, n - 1$ .

Допустимые интервалы количества K, Na и  $\alpha$ -аминный азот получены эмпирически на основе данных, полученных за много лет на Сергачском сахарном заводе (см. табл. 1) и представлены студентам в виде следующей таблицы:

Таблица 2. Присутствие в корнеплодах сахарной свеклы неорганических веществ, ммоль/100 г.

Table 2. Presence of inorganic substances in sugar beet root crops, mmol/100 g

K,	Na,	N, $\alpha$ -аминный азот,
[4,8; 7,05]	[0,21; 0,82]	[1,58; 2,8]

Для каждого эксперимента посредством равномерного распределения на заданных интервалах случайным образом получим набор параметров  $K_i, Na_i$  и  $\alpha_i, i = 1, n$ .

В каждом эксперименте были найдены:

- 1) функция  $S^*(i), i = 1, n$  — значения целевой функции для оптимального порядка, реализующего максимум (находится с помощью венгерского алгоритма);
- 2) функция  $S_1(i), i = 1, n$  — значения целевой функции для жадного алгоритма;
- 3) функция  $S_2(i), i = 1, n$  — значения целевой функции для бережливого алгоритма;
- 4) функция  $S_0(i), i = 1, n$  — значения целевой функции для оптимального порядка, реализующего минимум (находится с помощью венгерского алгоритма).

По вышеописанным найденным в каждом эксперименте целевым функциям подсчитываются соответствующие усредненные целевые функции для 4 основных алгоритмов действия.

**Результаты 1 серии экспериментов.** Допустимые интервалы параметров партий:  $a_i \in [0.16; 0.2], b_{ij} \in (0.97; 1)$

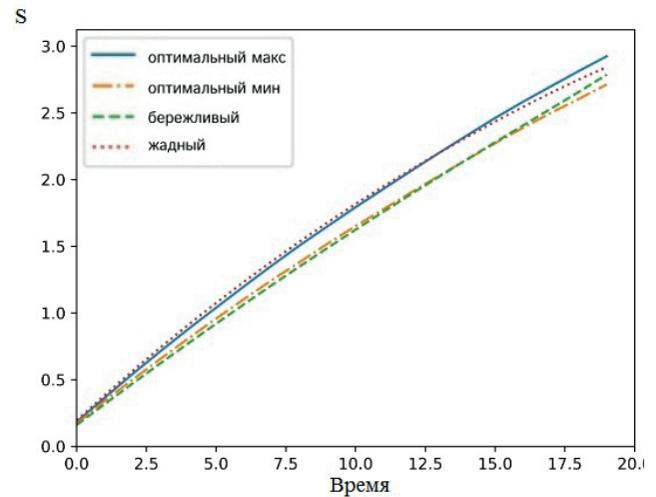


Рис. 1. Жадный алгоритм лучше бережливого и ненамного хуже оптимального

Fig. 1. A greedy algorithm is better than a lean one and not much worse than an optimal one

Усредненные целевые функции для соответствующих алгоритмов:  $S^*(20)=2.9236, S_1(20)=2.8427, S_2(20)=2.7857, S_0(20)=2.7127. \Delta S = S^*(20) - S_1(20)=2.9236 - 2.8427=0.0809. \mu = \Delta S / S^* \approx 2.7 \%$

**Результаты 2 серии экспериментов.** Допустимые интервалы параметров партий:  $a_i \in [0.17; 0.18], b_{ij} \in (0.95; 1), |b_{ij} - b_{ik}| \leq 0.01$

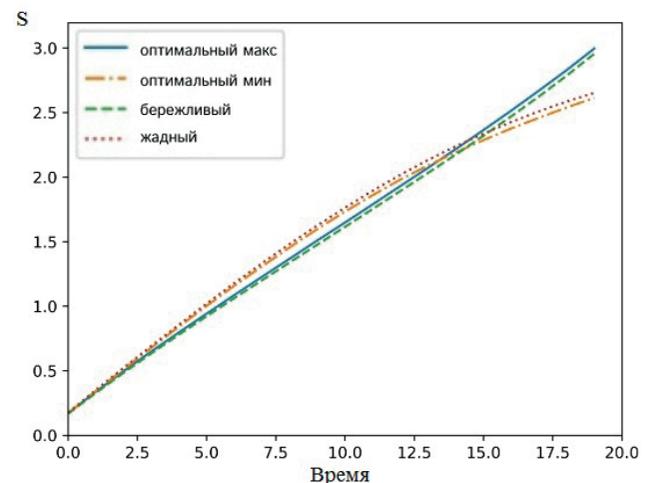


Рис. 2. Бережливый алгоритм лучше «жадного» и ненамного хуже оптимального

Fig. 2. A lean algorithm is better than a greedy one and not much worse than an optimal one



Усредненные целевые функции для соответствующих алгоритмов:  $S^*(20)=2.9962$ ,  $S_1(20)=2.6527$ ,  $S_2(20)=2.9551$ ,  $S_0(20)=2.6141$ .  $\Delta S = S^*(20) - S_2(20) = 2.9962 - 2.9551 = 0.0411$ ,  $\mu = \Delta S / S^* \approx 1.3\%$

Таким образом, на основе проведенных исследований с использованием реальных данных, полученных в результате многолетних измерений на Сергачском сахарном заводе, были сделаны следующие выводы.

1. Наилучший план переработки может давать до 15 % выхода продукта больше, чем наихудший. Это означает, что внедрение оптимальной стратегии переработки актуально для сахарного завода и может дать ощутимый экономический эффект.
2. В большинстве случаев, в частности, при больших допустимых отрезках для параметров партий сырья и их равномерном распределении по ним (или близким к равномерному), «жадный» алгоритм является квазиоптимальным и проигрывает абсолютно оптимальному не более чем 3 % от выхода продукта. Это говорит о перспективности использования «жадного» алгоритма на практике.
3. При некоторых условиях на параметры партий «бережливый» алгоритм является квазиоптимальным. Он при этом лучше «жадного» алгоритма, но может проигрывать оптимальному до 8,5 % выхода продукта. «Бережливый» алгоритм лучше

«жадного», например, при выполнении условий, когда изначальная сахаристость партий сырья одинакова, а коэффициенты деградации выше значения  $(n-2)/(n-1)$ , где  $n$  — число партий сырья [35], или когда параметры партий сырья близки к такому варианту. В приведенном выше примере проигрыш бережливого оптимальному в среднем не превосходит 2 % за счет уменьшения допустимого отрезка начальной сахаристости и малого отклонения друг от друга коэффициентов деградации каждой партии (условие  $|b_{ij} - b_{ik}| \leq 0.01$ ).

## Заключение

В ходе проведенной работы создано учебно-методическое обеспечение для выполнения учебно-исследовательского проекта «Оптимизация графика переработки сахарной свеклы»; создано программное обеспечение для поддержки принятия решения по выбору стратегии переработки сахарной свеклы; сформулированы рекомендации для производителей по выбору стратегии переработки сырья.

Продемонстрировано, что использование проектного подхода является эффективным средством формирования компетенций цифровой культуры и модернизации учебного процесса подготовки специалистов в области информационных технологий.

## Список использованных источников

- [1] Кузенков О. А., Захарова И. В. Компетенции цифровой культуры в математическом образовании и их формирование // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 2. С. 379-391. <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.379-391>
- [2] Повышение эффективности освоения практических компетенций студентами IT-специальностей на основе кросс-предметных научных исследований / С. В. Новикова [и др.] // Образовательные технологии и общество. 2020. Т. 23, № 1. С. 101-114. EDN: CWAZLO
- [3] Дудаков С. М., Захарова И. В. Мониторинг сформированности математических компетенций у студентов IT-специальностей // Инженерное образование. 2017. № 21. С. 90-95. EDN: ZGFYWR
- [4] Захарова И. В., Дудаков С. М., Язенин А. В. О разработке примерного учебного плана по УГНС «Компьютерные и информационные науки» в соответствии с профессиональными стандартами // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Педагогика и психология. 2016. № 2. С. 84-100. EDN: PQULTN
- [5] О методических аспектах разработки примерных образовательных программ высшего образования / И. В. Захарова [и др.] // Образовательные технологии и общество. 2015. Т. 18, № 3. С. 330-354. EDN: UHLLTV
- [6] Захарова И. В., Дудаков С. М., Солдатенко И. С. Проектирование образовательных программ в области ИКТ с учетом профессиональных стандартов // Инженерное образование. 2017. № 21. С. 140-144. EDN: WSPTXE
- [7] Кузенков О. А., Захарова И. В. модернизация математических программ на основе российских и международных // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, № 1. С. 233-244. <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.233-244>
- [8] Кузенков О. А., Захарова И. В. Взаимосвязь между проектом MetaMath и продолжающейся реформой высшего образования в России // Образовательные технологии и общество. 2017. Т. 20, № 3. С. 279-291. EDN: YUFASR
- [9] Результаты проекта «Современные образовательные технологии преподавания математики в инженерном образовании России» / В. И. Швецов [и др.] // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22, № 1. С. 51-60. EDN: YYKIXZ
- [10] Using SEFI framework for modernization of requirements system for mathematical education in Russia / I. V. Zakharova [et al.] // Proceedings of the 44th SEFI Annual Conference 2016 – Engineering Education on Top of the World: Industry University Cooperation (SEFI 2016). 12-15 September 2016, Tampere, Finland. 15 p. URL: <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/09/zakharova-using-sefi-framework-for-modernization-of-requirements-system-for-mathematical-education-155.pdf> (дата обращения: 20.02.2023).
- [11] Modernization of math-related courses in engineering education in Russia based on best practices in European and Russian universities / I. Soldatenko [et al.] // Proceedings of the 44th SEFI Annual Conference 2016 – Engineering Education on Top of the World: Industry University Cooperation (SEFI 2016). 12-15 September 2016, Tampere, Finland. 16 p. URL: <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/09/soldatenko-modernization-of-math-related-courses-in-engineering-education-in-russia-based-133.pdf> (дата обращения: 20.02.2023).



- [12] Новикова С. В., Новикова К. Н. Инструменты оценки эффективности обучения по стандартам SEFI в e-learning системе Math-Bridge // Образовательные технологии и общество. 2016. Т. 19. № 3. С. 496-508. EDN: WWKQPJ
- [13] Модернизация программ математических дисциплин ННГУ им. Н. И. Лобачевского в рамках проекта MetaMath / О. А. Кузенков [и др.] // Нижегородское образование. 2016. № 1. С. 4-11. EDN: VVTVQB
- [14] Кузенков О. А., Кузенкова Г. В., Киселева Т. П. Использование электронных средств обучения при модернизации курса «Математическое моделирование процессов отбора» // Образовательные технологии и общество. 2018. Т. 21, № 1. С. 435-448. EDN: YLFFQIA
- [15] Применение инструментов электронного обучения для международной академической мобильности неанглоговорящих студентов-математиков / А. П. Снегуренко [и др.] // Интеграция образования. 2019. Т. 23, № 1. С. 8-22. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.094.023.201901.008-022>
- [16] Особенности проектирования компьютерных программ-тьюторов для обучения численным методам математики будущих инженеров / С. В. Новикова [и др.] // Интеграция образования. 2017. Т. 21, № 2. С. 322-343. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.087.021.201702.322-343>
- [17] Кузенков О. А., Кузенкова Г. В., Киселева Т. П. Компьютерная поддержка учебно-исследовательских проектов в области математического моделирования процессов отбора // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22, № 1. С. 152-163. EDN: PPGMDX
- [18] Кузенков О. А., Рябова Е. А. Проектный подход при изучении математического анализа студентами инженерных специальностей // Образовательные технологии и общество. 2019. Т. 22, № 4. С. 225-232. EDN: GVDRAD
- [19] Эгамов А. И., Приставченко О. В. Изучение дисциплины «Вычислительные методы» с помощью проектного подхода // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 2. С. 404-414. <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.404-414>
- [20] Стребуляев С. Н., Сироткина Д. А. Учебно-исследовательские проекты по анализу динамического качества технических систем и процессов с использованием их математических моделей // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 2. С. 392-403. <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.392-403>
- [21] Методы оценки технологических качеств сахарной свёклы с использованием показателей содержания калия, натрия и аминного азота, определённых в свёкле и продуктах её переработки / В. Н. Кухар, А. П. Чернявский, Л. И. Чернявская, Ю. А. Моканюк // Сахар. 2019. № 1. С. 18-36. EDN: YUCGHB
- [22] Технологические качества и продуктивность гибридов сахарной свеклы в условиях республики Башкортостан / Д. Р. Исламгулов, А. М. Мухаметшин, Р. Р. Исмагилов, Р. Р. Алимгафаров // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2010. № 1. С. 5-8. EDN: NTNTWD
- [23] Никулина О. К., Кулаковский В. В. Влияние качества сырья на процесс кристаллизации сахарозы // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2017. № 1(35). С. 47-53. EDN: YGWEML
- [24] Динамика накопления сахара в корнеплодах различных гибридов сахарной свеклы / Е. В. Жеряков, С. Ю. Дмитриева, Ю. И. Жерякова, В. А. Близов // Естественные и технические науки. 2019. № 11(137). С. 167-170. EDN: MDNIPY
- [25] Зелепукин Ю. И., Зелепукин С. Ю. Оценка качества сахарной свёклы // Сахар. 2021. № 11. С. 31-35. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-11-31-35>
- [26] Зимняков Ю. И., Курочкин А. А. Производство сахарной свеклы в России // Инновационная техника и технология. 2020. № 3(24). С. 47-51. EDN: GZOCBX
- [27] Харченко С. В. Формирование первичной учетно-аналитической информации в целях учета и контроля при переработке сахарной свеклы на предприятиях сахарной промышленности // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2020. Т. 10, № 2-1. С. 407-419. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.58.63.044>
- [28] Jiao Z., Higgins A. J., Prestwidge D. B. An integrated statistical and optimization approach to increasing sugar production within a mill region // Computers and Electronics in Agriculture. 2005. Vol. 48, issue 2. P. 170-181. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.03.004>
- [29] Junqueira R., Morabito R. Modeling and solving a sugarcane harvest front scheduling problem // International Journal of Production Economics. 2019. Vol. 231. P. 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.009>
- [30] Modeling and Optimization of the Sugar Extraction Process / R. Sotudeh-Gharebagh [et al.] // International Journal of Food Engineering. 2009. Vol. 5, issue 4. Article number: 13. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1398>
- [31] Tekin T., Bayramoglu M. Exergy Loss Minimization Analysis of Sugar Production Process from Sugar Beet // Food and Bioproducts Processing. 1998. Vol. 76, issue 3. P. 149-154. <https://doi.org/10.1205/096030898531963>
- [32] Nematollahi M., Tajbakhsh A. Past, present, and prospective themes of sustainable agricultural supply chains: A content analysis // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 271. Article number: 122201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122201>
- [33] Agribusiness Supply Chain Risk Management: A Review of Quantitative Decision Models / G. Behzadi, M. J. O'Sullivan, T. L. Olsen, A. Zhang // Omega. 2018. Vol. 79. P. 21-42. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005>
- [34] Production plan for perishable agricultural products with two types of harvesting / J. Li [et al.] // Information Processing in Agriculture. 2020. Vol. 7, issue 1. P. 83-92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.05.001>
- [35] Kusumastuti R. D., van Donk D. P., Teunter R. Crop-related harvesting and processing planning: a review // International Journal of Production Economics. 2016. Vol. 174. P. 76-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.010>



- [36] Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations in a sustainable sugarcane supply chain / M. M. Chavez [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 276. Article number: 123305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123305>
- [37] Cheraghalipour A., Roghanian E. A Review of Optimization Researches in the Field of Agricultural Supply Chain // Modern Concepts & Developments in Agronomy. 2020. Vol. 5, issue 4. P. 556-560. <https://doi.org/10.31031/MCDA.2020.05.000619>
- [38] A multi-objective approach for supporting wine grape harvest operations / M. Varas [et al.] // Computers & Industrial Engineering. 2020. Vol. 145. Article number: 106497. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106497>
- [39] Bohle C., Maturana S., Vera J. A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling // European Journal of Operational Research. 2010. Vol. 200, issue 1. P. 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.12.003>
- [40] Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain Optimization: A Review of the Literature and Emerging Trends / T.-D. Nguyen [et al.] // AgriEngineering. 2021. Vol. 3, issue 3. P. 519-541. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030034>
- [41] Taşkiner T., Bilgen B. Optimization Models for Harvest and Production Planning in Agri-Food Supply Chain: A Systematic Review // Logistics. 2021. Vol. 5, issue 3. Article number: 52. <https://doi.org/10.3390/logistics5030052>
- [42] Баландин Д. В., Кузнецов Ю. А. Проблема оптимизации графика переработки скоропортящейся сельхозпродукции // Экономический анализ: теория и практика. 2021. Т. 20, № 11(518). С. 2134-2150. <https://doi.org/10.24891/ea.20.11.2134>
- [43] Калиничева Е. Ю. Обоснование направлений государственного регулирования сахаропродуктового подкомплекса // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. Т. 10, № 18(255). С. 30-33. EDN: SCAPDB
- [44] Захарова И. В., Кузенков О. А. Опыт реализаций требований образовательных и профессиональных стандартов в области ИКТ в российском образовании // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 3-1. С. 17-31. EDN: XBWGNT
- [45] Гугина Е. В., Кузенков О. А. Образовательные стандарты Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. № 3-4. С. 39-44. EDN: TGIBNR
- [46] Гертель В. П., Гугина Е. В., Кузенков О. А. Разработка образовательного стандарта Нижегородского госуниверситета по направлению «Фундаментальная информатика и информационные технологии» // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2010. Т. 6, № 1. С. 51-60. EDN: UIZNEP
- [47] Гертель В. П., Кузенков О. А. Разработка самостоятельно устанавливаемых образовательных стандартов Нижегородского госуниверситета в области информационно-коммуникационных технологий // Школа будущего. 2012. № 4. С. 100-105. EDN: PCHFVT

*Поступила 20.02.2023; одобрена после рецензирования 27.03.2023; принята к публикации 13.05.2023.*

#### Об авторах:

**Баландин Дмитрий Владимирович**, профессор кафедры дифференциальных уравнений, математического и численного анализа Института информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), доктор физико-математических наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7727-5924>, dbalandin@yandex.ru

**Кузенков Олег Анатольевич**, доцент кафедры дифференциальных уравнений, математического и численного анализа Института информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23), кандидат физико-математических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-0517>, kuzenkov\_o@mail.ru

**Эгамов Альберт Исмаилович**, доцент кафедры дифференциальных уравнений, математического и численного анализа Института информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), кандидат физико-математических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3630-7237>, albert810@yandex.ru

**Гертель Арина Олеговна**, студент Института информационных технологий, математики и механики, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского» (603022, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4391-1843>, gertelrina@yandex.ru

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



## References

- [1] Kuzenkov O.A., Zakharova I.V. Competencies of Digital Culture in Mathematics Education and their Formation. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(2):379-391. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.17.202102.379-391>
- [2] Novikova S.V., Tunakova Yu.A., Novikova K.N., Kremleva E.S. Improving the efficiency of mastering practical competencies by students of IT specialties on the basis of cross-subject scientific research. *Educational Technologies and Society*. 2020;23(1):101-114. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: CWAZLO
- [3] Dudakov S.M., Zakharova I.V. Monitoring the formation of mathematical competencies among students of IT specialties. *Engineering Education*. 2017;(21):90-95. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: ZGFYWR
- [4] Zakharova I.V., Dudakov S.M., Yazenin A.V. On the development of curriculum on UGNS "Computer and Information Science" in accordance with professional standards. *Bulletin of Tver State University. Series: Pedagogy and Psychology*. 2016;(2):84-100. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: PQULTN
- [5] Zakharova I.V., Dudakov S.M., Yazenin A.V., Soldatenko I.S. On methodological aspects of the development of exemplary educational programs of higher education. *Educational Technologies and Society*. 2015;18(3):330-354. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: UHLLTV
- [6] Zakharova I.V., Dudakov S.M., Soldatenko I.S. Designing educational programs in the field of ICT taking into account professional standards. *Engineering Education*. 2017;(21):140-144. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WSPTXE
- [7] Kuzenkov O.A., Zakharova I.V. Mathematical programs modernization based on Russian and international standards. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018;14(1):233-244. <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201801.233-244>
- [8] Kuzenkov O.A., Zakharova I.V. The relationship between the MetaMath project and the ongoing reform of higher education in Russia. *Educational Technologies and Society*. 2017;20(3):279-291. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YUFASR
- [9] Shvetsov V.I. et al. Results of the project "Modern educational technologies of teaching mathematics in engineering education in Russia". *Educational Technologies and Society*. 2019;22(1):51-60. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YYKIXZ
- [10] Zakharova I., Kuzenkov O., Soldatenko I., Yazenin A., Novikova S., Medvedeva S., Chukhnov A. Using SEFI framework for modernization of requirements system for mathematical education in Russia. In: Proceedings of the 44th SEFI Annual Conference 2016 – Engineering Education on Top of the World: Industry University Cooperation (SEFI 2016). 12-15 September 2016, Tampere, Finland. 15 p. Available at: <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/09/zakharova-using-sefi-framework-for-modernization-of-requirements-system-for-mathematical-education-155.pdf> (accessed 20.02.23).
- [11] Soldatenko I., Kuzenkov O., Zakharova I., Balandin D., Biryukov R., Kuzenkova G., Yazenin A., Novikova S. Modernization of math-related courses in engineering education in Russia based on best practices in European and Russian universities. In: Proceedings of the 44th SEFI Annual Conference 2016 – Engineering Education on Top of the World: Industry University Cooperation (SEFI 2016). 12-15 September 2016, Tampere, Finland. 16 p. Available at: <http://sefibenvwh.cluster023.hosting.ovh.net/wp-content/uploads/2017/09/soldatenko-modernization-of-math-related-courses-in-engineering-education-in-russia-based-133.pdf> (accessed 20.02.23).
- [12] Novikova S.V., Novikova K.N. Tools for evaluating the effectiveness of training according to SEFI standards in the Math-Bridge e-learning system. *Educational Technologies and Society*. 2016;19(3):496-508. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WWKQPJ
- [13] Kuzenkov O.A., Ryabova E.A., Biryukov R.S., Kuzenkova G.V. Modernization of mathematical disciplines programs of N.I. Lobachevsky National University within the framework of the MetaMath project. *Nizhny Novgorod Education*. 2016;(1):4-11. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VVTVQB
- [14] Kuzenkov O.A., Kuzenkova G.V., Kiseleva T.P. The use of electronic learning tools in the modernization of the course "Mathematical modeling of selection processes". *Educational Technologies and Society*. 2018;21(1):435-448. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YLFQIA
- [15] Snegurenko A.P., Sosnovsky S.A., Novikova S.V., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. Using E-Learning Tools to Enhance Students-Mathematicians' Competences in the Context of International Academic Mobility Programmes. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education*. 2019;23(1):8-22. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.094.023.201901.008-02>
- [16] Novikova S.V., Sosnovsky S.A., Yakhina R.R., Valitova N.L., Kremleva E.Sh. The specific aspects of designing computer-based tutors for future engineers in numerical methods studying. *Integratsiya obrazovaniya = Integration of Education*. 2017;2(21):322-343. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.087.021.201702.322-343>
- [17] Kuzenkov O.A., Kuzenkova G.V., Kiseleva T.P. Computer support of educational and research projects in the field of mathematical modeling of selection processes. *Educational Technologies and Society*. 2019;22(1):152-163. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: PPGMDX
- [18] Kuzenkov O.A., Ryabova E.A. Project approach in the study of mathematical analysis by students of engineering specialties. *Educational Technologies and Society*. 2019;22(4):225-232. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GVDRAD
- [19] Egamov A.I., Pristavchenko O.V. Studying the Discipline of Computational Methods Using a Design Approach. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(2):404-414. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.17.202102.404-414>
- [20] Strebulyaev S.N., Sirotkina D.A. Educational and Research Projects on the Analysis of the Dynamic Quality of Technical Systems and Processes Using their Mathematical Models. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(2):392-403. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202102.392-403>



- [21] Kukhar V.N., Chernyavsky A.P., Chernyavskaya L.I., Mokanyuk Yu.A. Methods for assessing the technological qualities of sugar beet using indicators of potassium, sodium and amine nitrogen content determined in beetroot and its processed products. *Sugar*. 2019;(1):18-36. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YUCGHB
- [22] Islamgulov D.R., Mukhametshin A.M., Ismagilov R.R., Alimgafarov R.R. Technological qualities and productivity of sugar beet hybrids in the conditions of the Republic of Bashkortostan. *Vestnik of the Bashkir State Agrarian University*. 2010;(1):5-8. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: NTNTWD
- [23] Nikulina O.K., Kulakovskiy V.V. Influence of raw material quality on the process of sucrose crystallization. *Food industry: Science and Technology*. 2017;(1):47-53. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YGWEML
- [24] Zheryakov E.V., Dmitrieva S.Yu., Zheryakova Yu., Bliznov V.A. Dynamics of sugar accumulation in root crops of various sugar beet hybrids. *Natural and technical sciences*. 2019;(11):167-170. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MDNIPY
- [25] Zelepukin Yu.I., Zelepukin S.Yu. Assessment of sugar beet quality. *Sugar*. 2021;(11):31-35. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-11-31-35>
- [26] Zimnyakov V.M., Kurochkin A.A. Sugar beet production in Russia. *Innovative Machinery and Technology*. 2020;(3):47-51. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: GZOCBX
- [27] Kharchenko S.V. Formation of primary accounting and analytical information for accounting and control during sugar beet processing at sugar industry enterprises. *Economy: yesterday, today, tomorrow*. 2020;10(2-1):407-419. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.34670/AR.2020.58.63.044>
- [28] Jiao Z., Higgins A.J., Prestwidge D.B. An integrated statistical and optimization approach to increasing sugar production within a mill region. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2005;48(2):170-181. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.03.004>
- [29] Junqueira R., Morabito R. Modeling and solving a sugarcane harvest front scheduling problem. *International Journal of Production Economics*. 2019;231:150-160. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.009>
- [30] Sotudeh-Gharebagh R., Shamekhi H., Mostoufi N., Norouzi H.R. Modeling and Optimization of the Sugar Extraction Process. *International Journal of Food Engineering*. 2009;5(4):13. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1398>
- [31] Tekin T., Bayramoglu M. Exergy Loss Minimization Analysis of Sugar Production Process from Sugar Beet. *Food and Bioproducts Processing*. 1998;76(3):149-154. <https://doi.org/10.1205/09603089853196332>
- [32] Nematollahi M., Tajbakhsh A. Past, present, and prospective themes of sustainable agricultural supply chains: A content analysis. *Journal of Cleaner Production*. 2020;271:122201. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122201>
- [33] Behzadi G., O'Sullivan M.J., Olsen T.L., Zhang A. Agribusiness Supply Chain Risk Management: A Review of Quantitative Decision Models. *Omega*. 2018;79:21-42. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005>
- [34] Li J., Gao X., Guo B., Wu M. Production plan for perishable agricultural products with two types of harvesting. *Information Processing in Agriculture*. 2020;7(1):83-92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.05.001>
- [35] Kusumastuti R.D., van Donk D.P., Teunter R. Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics*. 2016;174:76-92. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.01.010>
- [36] Chavez M.M., Sarache W., Costa Y., Soto J. Multiobjective stochastic scheduling of upstream operations in a sustainable sugarcane supply chain. *Journal of Cleaner Production*. 2020;276:123305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123305>
- [37] Cheraghali-pour A., Roghanian E. A Review of Optimization Researches in the Field of Agricultural Supply Chain. *Modern Concepts & Developments in Agronomy*. 2020;5(4):556-560. <https://doi.org/10.31031/MCDA.2020.05.000619>
- [38] Varas M., Basso F., Maturana S., Osorio D., Pezoa R. A multi-objective approach for supporting wine grape harvest operations. *Computers & Industrial Engineering*. 2020;145:106497. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106497>
- [39] Bohle C., Maturana S., Vera J. A robust optimization approach to wine grape harvesting scheduling. *European Journal of Operational Research*. 2010. Vol. 200, issue 1. P. 245-252. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.12.003>
- [40] Nguyen T.-D., Nguyen-Quang T., Venkatadri U., Diallo C., Adams M. Mathematical Programming Models for Fresh Fruit Supply Chain Optimization: A Review of the Literature and Emerging Trends. *AgriEngineering*. 2021;3(3):519-541. <https://doi.org/10.3390/agriengineering3030034>
- [41] Taşkner T., Bilgen B. Optimization Models for Harvest and Production Planning in Agri-Food Supply Chain: A Systematic Review. *Logistics*. 2021;5(3):52. <https://doi.org/10.3390/logistics5030052>
- [42] Balandin D.V., Kuznetsov Yu.A. The problem of optimizing the schedule of perishable agricultural products processing. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2021;20(11):2134-2150. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24891/ea.20.11.2134>
- [43] Kalinicheva E.Yu. Substantiation of the directions of state regulation of the sugar subcomplex. *National interests: priorities and security*. 2014;10(18):30-33. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: SCAPDB
- [44] Zakharova I., Kuzenkov O. Experience in implementing the requirements of the educational and professional standards in the field of ICT in Russian education. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2016;12(3-1):17-31. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XBWGNT
- [45] Gugina E.V., Kuzenkov O.A. Educational Standards of the Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 2014;(3-4):39-44. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TGIBNR
- [46] Gergel V.P., Gugina E.V., Kuzenkov O.A. Development of the educational standard of Nizhny Novgorod State University in the direction of "Fundamental informatics and information technologies". *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2010;6(1):51-60. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: UIZHEP



- [47] Gergel V.P., Kuzenkov O.A. Development of independently established educational standards of Nizhny Novgorod State University in the field of information and communication technologies. *School of the Future*. 2012;(4):100-105. (In Russ.) EDN: PCHFVT

*Submitted 20.02.2023; approved after reviewing 27.03.2023; accepted for publication 13.05.2023.*

**About the authors:**

**Dmitry V. Balandin**, Professor of the Department of Differential Equations, Mathematical and Numerical Analysis, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7727-5924>**, dbalandin@yandex.ru

**Oleg A. Kuzenkov**, Associate Professor of the Department of Differential Equations Mathematical and Numerical Analysis, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9407-0517>**, kuzenkov\_o@mail.ru

**Albert I. Egamov**, Associate Professor of the Department of Differential Equations Mathematical and Numerical Analysis, Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation), Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3630-7237>**, albert810@yandex.ru

**Arina O. Gertel**, student of the Institute of Information Technology, Mathematics and Mechanics, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod (23 Gagarin Ave., Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4391-1843>**, gertelrina@yandex.ru

*All authors have read and approved the final manuscript.*

