ISSN 1992-2752

Вестник Сыктывкарского университета

Серия 1:
Математика
Механика
Информатика

К юбилею
Р.М. Асланова

1(42) выпуск 22

Вестник Сыктывкарского университета	Серия 1: *Математика* *Механика* *Информатика*	12+ ISSN 1992-2752
Основан в 1995 году Выходит 4 раза в год		Выпуск 1 (42) 2022

Учредитель и издатель: ФГБОУ ВО «Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина» (167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский просп., д. 55)

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС77-37565 от 17 сентября 2009 года

Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика : сборник. Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2022. — 1 (42). 2022. — 96 с.

Рецензируемый научный журнал. Основан в 1995 г.

Журнал «Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика» включён Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук». Журнал публикует научные статьи по следующим научным специальностям: 1.1.5 — Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика (физико-математические науки), 1.1.8 — Механика деформируемого твердого тела (физико-математические науки), 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), 5.8.2 — Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования) (педагогические науки)

(См.: Список журналов на сайте ВАК при Минобрнауки России).

The peer-reviewed journal was founded in 1995

«Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics» is included by the Supreme Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation into «the List of leading reviewed academic journals and periodicals recommended for publishing in corresponding series basic research thesis results for a Ph.D. Candidate or Doctorate Degree» on the following scientific specialities: 01.00.00 — Physical and mathematical Sciences; 05.13.00 — computer Science, computer engineering and management; 13.00.02 — Theory and methods of teaching and education (by areas and levels of education) (See: the online List of journals at the site of the Supreme Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation).

Подписной индекс журнала в интернет-каталоге «Пресса России» — 43653.

Адрес редакции
Вестника Сыктывкарского университета
167001, Республика Коми, г. Сыктывкар, Октябрьский просп., д. 55
Тел. (8212)390-308.
Электронный адрес: http://vestnik-mmi.syktsu.ru/

Свободная цена © ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина», 2022.

Главный редактор:
д.п.н., ректор ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина» Сотникова О. А.

Ответственный редактор:
Ермоленко А. В., к.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина)

Редакционная коллегия:
Асланов Р. М., д.п.н., к.ф.-м.н., профессор (ИММ НАН Азербайджана, Респ. Азербайджан),
Беляева Н. А., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Вечтомов Е. М., д.ф.-м.н., профессор (ВятГУ),
Головач П. А., к.ф.-м.н., доцент (Университет Бергена, Норвегия),
Калинин С. И., д.п.н., к.ф.-м.н., профессор (ВятГУ),
Колпак Е. П., д.ф.-м.н., профессор (СПбГУ),
Котов Л. Н., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Малоземов В. Н., д.ф.-м.н., профессор (СПбГУ),
Одинец В. П., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Попов Н. И., д.п.н., к.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Певный А. Б., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Петров Н. Н., д.ф.-м.н., профессор (УдмГУ),
Петраков А. П., д.ф.-м.н., профессор (СГУ им. Питирима Сорокина),
Рудикова Л. В., к.ф.-м.н., доцент (ГрГУ им. Янки Купалы, Респ. Беларусь),
Тихомиров А. Н., д.ф.-м.н., профессор (Коми НЦ УрО РАН),
Чермных В. В., д.ф.-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина)

Техническая редакция:
Гудырева Л. В., к.филол.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Котелина Н. О., к.ф-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина),
Устюгов В. А., к.ф-м.н., доцент (СГУ им. Питирима Сорокина)

Содержание

Математика

Чернов В. Г. *Некооперативная антагонистическая игра с нечеткими оценками* 5

Котелина Н. О., Певный А. Б. *Квадратичная задача математической диагностики* 15

Информатика

Масляев Д. А. *Современное состояние задачи автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе* 23

Гольчевский Ю. В., Щукин Н. Ю. *Проектирование и разработка сервисного веб-конфигуратора для сборки компьютера* 41

Melnikov V. A., Yermolenko A. V. *Development of XML-based Markup Language* 61

Методические материалы

Павлова Л. В. *Методика преподавания элементарной математики при подготовке учителя математики в вузе* . . 74

Юбилейные даты

Сотникова О. А. *Асланов Рамиз Муталлим оглы (к 75-летию со дня рождения)* 90

Слово главного редактора

Дорогие друзья, этот номер журнала «Вестник Сыктывкарского университета. Серия 1: Математика. Механика. Информатика» выходит в юбилейный для СГУ им. Питирима Сорокина год. Год 50-летия вуза — хорошая возможность обернуться назад и подвести итоги. Что у нас за плечами? Полвека яркой интересной жизни!

Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина является признанным центром высшего образования, науки и культуры на Северо-Западе Российской Федерации. Унаследовав лучшие традиции советской науки, вуз сегодня продолжает плодотворную деятельность в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Обширная партнёрская сеть, которая включает более 40 договоров и 160 соглашений в области научной деятельности, позволяет нам активно сотрудничать с отраслевыми организациями по всей стране. Многие исследования, которые реализуются при грантовой поддержке РНФ, РФФИ и других фондов, осуществляются под руководством ведущих профессоров нашего вуза.

Нам есть чем гордиться! Силами ученых университета при участии студентов и аспирантов уже реализованы, а также продолжаются исследования по вопросам устойчивого развития территории и здоровьесбережения на Севере, материальной и духовной культуры народов Европейского Севера России, нанофизики и наноэлектроники и многим другим. Высокого уровня достигла и студенческая наука. Показательно, что в юбилейном году на базе университета создано Студенческое научное объединение.

Общеизвестно, что накопление знаний возможно только там, где есть эффективный алгоритм их анализа. Одним из способов сохранения и популяризации результатов исследований науки является настоящий журнал, основанный в 1995 году и публикуемый 4 раза в год. Издание признано на федеральном уровне: включено в перечень рецензируемых научных журналов ВАК, зарегистрировано как СМИ в Российской Федерации.

За многолетнюю практику на страницах журнала сложились определенные традиции. Большое внимание редакция Вестника уделяет изучению, сохранению вклада преподавателей университета в развитие научных направлений, подготовке профессиональных кадров. Ведь именно профессионалы — люди, обладающие знаниями и преданные своему делу, играют решающую роль в современном мире.

Сердечно поздравляю с юбилеем нашего вуза всех причастных к изданию этого Вестника. Желаю творческих свершений и новых научных достижений. Я рада, что вы все эти годы остаетесь с нами. Это придает нам силы и вдохновляет на новые победы!

С уважением, ректор СГУ им. Питирима Сорокина Ольга Сотникова

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Научная статья

УДК 539.3
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_5

НЕКООПЕРАТИВНАЯ АНТАГОНИСТИЧЕСКАЯ ИГРА С НЕЧЕТКИМИ ОЦЕНКАМИ

Владимир Георгиевич Чернов
Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, e-mail: vladimir.chernov44@mail.ru

Аннотация. В исследовании операций значительное место занимают задачи, формальной моделью которых являются антагонистические игры. Классические методы решения таких игр основаны на принципе «общего знания», согласно которому участники игры располагают полной информацией о возможных решениях и их последствиях. Известны исследования, в которых допускается информационная рефлексия участников игры, т. е. допускается их неуверенность в оценке ситуации, требующей принятия решения. Для формализации этой неуверенности значения элементов платежной матрицы представляют в форме нечетких чисел. Выбор наилучшего решения осуществляется на основе преобразования нечетких оценок последствий возможных решений в форму эквивалентных нечетких множеств с треугольными функциями принадлежности.

Ключевые слова: антагонистическая игра, платежная матрица, нечеткое множество, функция принадлежности

Для цитирования: Чернов В. Г. Некооперативная антагонистическая игра с нечеткими оценками // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 5–14. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_5

© Чернов В. Г., 2022.

Applied mathematics and mechanics

Original article

Non-cooperative antagonistic game with fuzzy estimates

Vladimir G. Chernov
Vladimir State University, e-mail: vladimir.chernov44@mail.ru

Abstract. In the study of operations a significant place is occupied by problems, the formal model of which are antagonistic games. The classical methods of solving such games are based on the principle of "common knowledge"according to which the participants in a game have full information about possible solutions and their consequences. Studies are known in which information reflexivity of the participants of the game is allowed, i.e. their uncertainty in assessing the situation requiring a decision is allowed. To formalize this uncertainty, it is proposed that the values of the elements of the payment matrix should be presented in the form of fuzzy numbers. The choice of the best solution is based on the conversion of fuzzy estimates of the consequences of possible solutions in the form of equivalent fuzzy sets with triangular membership functions.

Keywords: antagonistic game, payment matrix, fuzzy set, membership function

For citation: Chernov V. G. Non-cooperative antagonistic game with fuzzy estimates. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 5–14. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_5

Введение

Некооперативная антагонистическая игра может быть представлена тройкой $G = \{A, B, L(A, B)\}$, где $A = \{a_i : i = \overline{1, M}\}$ – множество стратегий игрока ; $B = \{b_j : j = \overline{1, N}\}$ – множество стратегий игрока B; $L(A, B)$ – бинарное отношение, заданное на прямом произведение $A \times B$ и обычно называемое платежной матрицей или матрицей игры.

Очевидно, что для решения игры необходимо определить множества A и B и матрицу $L(A, B)$.

В основе классической теории игр лежит предположение о так называемом «общем (полном) знании», которое гласит: игра со всеми правилами известна игрокам и каждый из них знает, что все участники

осведомлены о том, что известно остальным партнерам по игре. И такое положение сохраняется до конца игры [1; 2].

Если исходить из рациональности игроков, то можно допустить, что они располагают сведениями о возможных действиях противоположной стороны. Хотя, скорей всего, игрокам было бы более выгодно держать соответствующие данные в секрете. Причины, по которым принцип «общего знания»"нарушается при построении матрицы игры, рассмотренные в [3], дают основания говорить о наличии неопределенности в оценке значений элементов матрицы $L(A, B)$. При этом имеется достаточно оснований утверждать, что эта неопределенность имеет нестатистический характер. Соответственно, есть обстоятельства, позволяющие говорить о целесообразности представления элементов матрицы игры в нечеткой форме в виде нечетких чисел или нечетких вербальных утверждений.

Нечеткую формулировку некооперативной антагонистической игры одним из первых предложил D. Butnariu [4]. В настоящее время известно достаточно много работ, посвященных решению нечетких матричных игр [5–8].В то же время многие работы, допуская нечеткость исходных данных, остаются в рамках классической теории. Например, используя методы нечеткого линейного программирования, находят смешанные стратегии, предполагая, что игра реализуется многократно при сохранении неизменности исходных условий. Если игра реализуется однократно или небольшое число раз, то говорить о смешанных стратегиях не приходится, тем более если решение приходится принимать в изменяющихся условиях. В ряде работ [5–8] предложенные методы могут использоваться только с определенными видами функций принадлежности нечетких элементов матрицы игры, например треугольными или трапецеидальными. Далее будет рассмотрена ситуация однократной реализации игры.

Материалы и методы

Вполне реальна ситуация, когда неопределенности в оценках элементов платежной матрицы у ее составителей представляются по-разному. Выбор того или иного вида функций принадлежности (ФП) нечетких оценок позволяет моделировать различия в степени их неопределенности [9; 10].

Предположим, что задана игра

$$\widetilde{G} = \{A, B, \widetilde{L}(A, B)\},$$

где $\widetilde{L}(A, B)$ – нечеткое отношение на $A \times B$.

Тогда каждой паре (a_i, b_j) будет поставлена в соответствие нечеткая оценка $\widetilde{l}(a_i, b_j)$, формализуемая нечетким множеством (НМ) с ФП $\mu_{ij}(z)$. В общем случае для $\widetilde{l}(a_i, b_j)$ и $\widetilde{l}(a_k, b_q)$, $i \neq k \in [1, M]$ могут быть выбраны различные виды ФП. В результате получим матрицу

$$\widetilde{L}(A, B) = ||\widetilde{l}(a_i, b_j)||$$

или

$$\widetilde{M} = ||\mu_{ij}(z)||. \tag{1}$$

Если $\widetilde{l}(a_i, b_j)$ – нечеткие числа, то $z \in [z_{min}, z_{max}]$, определяемому диапазоном значений носителей нечетких оценок. При вербальных оценка $z \in [0, 1]$.

В антагонистических играх участники имеют противоположные интересы. Для определенности предположим, что игрок A выигрывает, а B проигрывает. Соответственно, A стремится максимизировать свой выигрыш, B минимизировать проигрыш.

При неполных знаниях возникает ситуация, аналогичная ситуации принятия решения на основе критерия недостаточного основания Лапласа, т. е. игроки допускают равную возможность использования противодействующей стороной любой стратегии из множества допустимых (полезных). Тогда игрок A должен определить последствия выбора стратегии $a_i \in A$ при любом выборе другого игрока, аналогично для $b_j \in B$ при любом выборе A. Нечеткость значений элементов матрицы (1) предопределяет нечеткость оценок последствий выбранных стратегий.

Для получения этих оценок предлагается следующее. Рассматривать для игрока A строки матрицы (1), а для B – столбцы, как совокупность нечетких множеств, преобразуемые в дальнейшем в эквивалентное нечеткое множество с треугольной ФП. Такое НМ можно рассматривать как ожидаемую соответствующим игроком нечеткую оценку сделанного выбора. Можно показать, что такое преобразование не нарушает логику задачи. Кроме того, треугольный вид ФП позволя-

ет упростить процедуру сравнения эквивалентных нечетких множеств (ЭНМ), используя, например, методы описанные в [11], [12].

Параметры ФП ЭНМ определяются следующим образом. Для строки a_i:

– левая граница носителя ЭНМ $z_i^L = \min_j\{z_{ij}^L\}$, z_{ij}^L – левая граница носителей НМ, образующих i-ую строку;

– правая граница носителя ЭНМ $z_i^R = \max_j\{z_{ij}^R\}$, z_{ij}^L – правая граница носителей НМ, образующих i-ую строку;

– координата центра тяжести ЭНМ

$$CG_i^E = \frac{\sum_{ki} \mu_{ij}(z_{ki}) z_{ki}}{\sum_{ki} \mu_{ij}(z_{ki})}, z_{ki} \in [z_i^L; z_i^R]; \tag{2}$$

– координата максимума ФП ЭНМ z_i^* определяется из известного соотношения $CG_i^E = \frac{1}{3}(z_i^L + z_i^* + z_i^R)$, тогда

$$z_i^* = 3CG_i^E - (z_i^L + z_i^R). \tag{3}$$

Если при расчетах получается, что $z_i^* \leq z_i^L$, то $z_i^* = z_i^L$, а при $z_i^* \geq z_i^R$ $z_i^* = z_i^R$.

Аналогично, $z_j^L = \min_i\{z_{ij}^L\}$, $z_j^R = \max_i\{z_{ij}^R\}$,

$$CG_j^E = \frac{\sum_{kj} \mu_{ij}(z_{kj}) z_{kj}}{\sum_{kj} \mu_{ij}(z_{kj})}, z_{kj} \in [z_j^L; z_j^R], \tag{4}$$

$$z_j^* = 3CG_j^E - (z_j^L + z_j^R). \tag{5}$$

Как следует из приведенных выше соотношений процедура построения ЭНМ не зависит от вида функций принадлежности нечетких элементов платежной матрицы.

В результате для игрока A получим набор из M ЭНМ $\widetilde{S} = \{\widetilde{s}_i : i = \overline{1, M}\}$, для B – из N ЭНМ $\widetilde{H} = \{\widetilde{h}_j : j = \overline{1, N}\}$ с треугольными функциями принадлежности $\mu_{s_i}(z)$ и $\mu_{h_j}(z)$ соответственно. Каждое из $\widetilde{s}_i$ или $\widetilde{h}_j$ – это нечеткое распределение предполагаемых игроками результатов применения стратегий $_i$, b_j. Для игрока A наилучшей будет стратегия a_i^*, дающая наибольший нечеткий выигрыш, для B – b_j^*, дающая наименьший нечеткий проигрыш. Определение этих стратегий выполняется сравнением нечетких множеств(чисел) $\widetilde{s}_i$ и $\widetilde{h}_j$ с помощью методов, описанных в [11–12].

В классической теории наличие равновесных стратегий определяется либо седловой точкой, либо нахождением оптимальных смешанных стратегий. В рассматриваемой постановке задачи решения нечеткой антагонистической игры определенные игроками стратегии будем рассматривать с точки зрения получения равновесного результата такого, когда совпадают значения нечеткого выигрыша и проигрыша. Очевидно, что для этого надо вычислить пересечение нечетких множеств $\widetilde{s}(a_i^*)$ и $\widetilde{h}(b_j^*)$:

$$\widetilde{R} = \widetilde{s}(a_i^*) \cap \widetilde{h}(b_j^*)$$

или

$$\mu_{\widetilde{R}}(z) = \mu_{\widetilde{s}(a_i^*)}(z) \cap \mu_{\widetilde{h}(b_j^*)}(z) = \min\{\mu_{\widetilde{s}(a_i^*)}(z), \mu_{\widetilde{h}(b_j^*)}(z)\}. \qquad (6)$$

Множество $\widetilde{R}$ не может быть пустым, так как в формировании ЭНМ $\widetilde{s}(a_i^*)$ и $\widetilde{h}(b_j^*)$ участвует элемент, стоящий на пересечении соответствующей строки и столбца нечеткой матрицы игры. Таким образом, при однократной реализации антагонистической игры с нечеткой платежной матрицей у игроков имеется возможность определить стратегии, дающие им нечеткий равновесный результат.

Результаты

Проиллюстрируем изложенное выше простым примером. Задана платежная матрица с элементами в виде нечетких чисел с различными функциями принадлежности.

Таблица 1

Нечеткая платежная матрица

Стратегии игроков	b_1	b_2	b_3
a_1	6 (трапеция)	2 (тент)	3 (треугольник)
a_2	5 (пик)	6 (трапеция)	3 (треугольник)
a_3	1 (треугольник)	2 (тент)	4 (пик)

Числа, указанные в таблице —это координаты центров тяжести соответствующих нечетких чисел. При симметричных ФП эти значения совпадают с модальными значениями нечетких чисел. В скобках указаны типы ФП (рис. 1), которые выбирались произвольно.

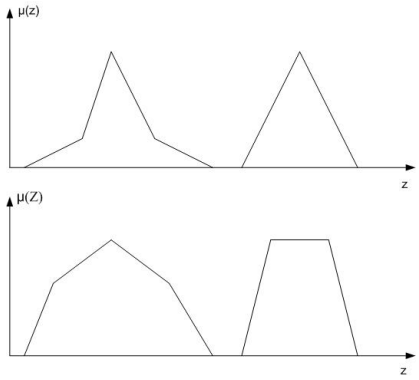


Рис. 1. Пик, треугольник, тент, трапеция

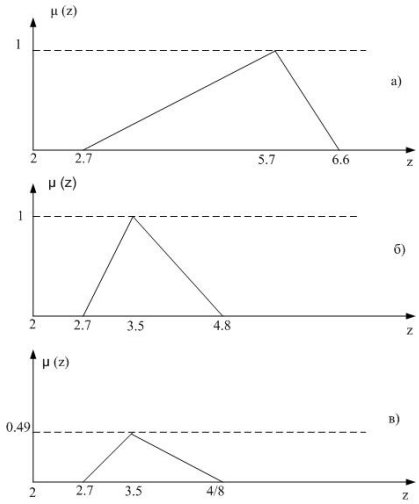


Рис. 2. Нечеткие оценки последствий выбора в качестве наилучших

Можно показать, что неопределенность нечетких оценок, представленных различными ФП, будет разная [9; 10]. Результаты расчетов по соотношениям (2)–(6) представлены на рис. 2.

Заключение

Классическая теория дает однозначное решение при однократной реализации игры только в случае наличия седловой точки. В рассматриваемом случае игроки при нечеткой платежной матрице, используя чистые стратегии, могут ожидать получение результата в виде нечеткого равновесного значения.

Список источников

1. **Myerson R. B.** Game theory: analysis of conflict. London Harvard: Harvard.Un.Press, 1991. 584 p.

2. **Geanakoplos J.** Common Knowledge. Handbook of Game Theory.v.2. ed. R. Aumann and S. Hart. Elsiever Science B.V. 1994. Pp. 1438–1496.

3. **Сигал А. В.** Теоретико-игровая модель принятия инвестиционных решений // *Ученые записки Таврического национального университета имени. В. И. Вернадского. Серия: Экономика и управление.* 2011. № 1. Т. 24 (63). С. 193–205.

4. **Butnariu D.** Fuzzy games: a description of the concept // *Fuzzy Sets and System.* 1978. 1. P. 181–192.

5. **Вовк С. П.** Игра двух лиц с нечеткими стратегиями и предпочтениями // *Альманах современной науки и образования.* 2014. № 7(85). С. 47–49.

6. **Ghosh D., Chakravorty S.** On Solving Bimatrix Games with Triangular Fuzzy Payoffs // *International Conference on Mathematics and Computing.* 2018. Pp. 441–352.

7. **Stalin T, Thirucheran M.** Solving Fuzzy Matrix Games Defuzzificated by Trapezoidal Parabolic Fuzzy Number. // *SRD-International Journal for Scientific Research and Development.* 2015. V. 3. Issue 10. Pp. 341–345.

8. **Verma Tina, Kumar Amit, Kacprzyk Janusz.** A Novel Approach to the Solution of Matrix Games with Payoffs Expressed by Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers // *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems.* 2015. № 3. V. 9. Pp. 25–46.

9. **Dubois D., Prade H.** Theoriedes Possibilites. Applications a la representation des conisisancesen in for antique. Masson, 1980. 288 p.

10. **Чернов В. Г.** Выбор решения на основе нечеткой игры с «природой» // *Прикладная информатика.* 2021. № 2. Т. 16. С. 131–143.

11. **Воронцов Я. А., Матвеев М. Г.** Методы параметризованного сравнения нечетких и трапециевидных чисел // *Вестник ВГУ. Серия Системный анализ и информационные технологии.* 2014. № 2. С. 90–97.

12. **Чернов В. Г.** Сравнение нечетких чисел на основе построения линейного отношения порядка // *Динамика сложных систем – XXI век.* 2018. № 2. С. 81–87.

References

1. **Myerson R. B.** *Game theory: analysis of conflict.* London Harvard: Harvard.Un.Press, 1991. 584 p.

2. **Geanakoplos J.** *Common Knowledge. Handbook of Game Theory. V. 2. ed. R. Aumann and S. Hart. Elsiever Science B.V.* 1994. Pp. 1438–1496.

3. **Sigal A. V.** Game theory model of investment decision making of investment decisions. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni. V.I. Vernadskogo, seriya "Ekonomika i upravlenie"* [Scientific Notes of the Taurida National University named after. V. I. Vernadsky. Series "Economics and Management"]. 2011. № 1, V. 24(63). Pp. 193–205. (in Ukrainian).

4. **Butnariu D.** Fuzzy games: a description of the concept. *Fuzzy Sets and System.* 1978. 1. Pp. 181–192.

5. **Vovk S. P.** The game of two persons with fuzzy strategies and preferences. *Al'manah sovremennoj nauki i obrazovaniya* [Almanac of Modern Science and Education]. 2014. № 7(85). Pp. 47–49. (In Russ.).

6. **Ghosh D., Chakravorty S.** On Solving Bimatrix Games with Triangular Fuzzy Payoffs. *International Conference on Mathematics and Computing.* 2018. Pp. 441–352.

7. **Stalin T, Thirucheran M.** Solving Fuzzy Matrix Games Defuzzificated by Trapezoidal Parabolic Fuzzy Number. *SRD-International Journal for Scientific Research and Development.* 2015. V. 3. Issue 10. Pp. 341–345.

8. **Verma Tina, Kumar Amit, Kacprzyk Janusz.** A Novel Approach to the Solution of Matrix Games with Payoffs Expressed by Trapezoidal Intuitionistic Fuzzy Numbers. *Journal of Automation, Mobile Robotics and Intelligent Systems.* 2015. No 3. V. 9. Pp. 25–46.

9. **Dubois D., Prade H.** *Theoriedes Possibilites. Applications a la representation des conisisancesen in for antique.* Masson, 1980. 288 p.

10. **Chernov V. G.** Choosing a Solution Based on Fuzzy Game with Nature. *Prikladnaya informatika* [Journal of Applied Informatics]. V. 16. № 2(92). 2021. Pp. 131–142. (In Russ.)

11. **Voroncov Ya. A., Matveev M. G.** Methods of parametrized comparison of fuzzy and trapezoidal numbers. *Vestnik VGU, Seriya Sistemnyj analiz I informacionnye tekhnologii* [Vestnik VSU. Series System analysis and information technologies]. 2014. No 2. Pp. 90–96. (In Russ.)

12. **Chernov V. G.** Comparison of fuzzy number on the basis of construction linear order relation. *Dinamika slozhnyh sistem – XXI vek* [Dynamics of Complex Systems – XXI Century.]. 2018. No 2. Pp. 81–87. (In Russ.)

Сведения об авторе / Information about author
Владимир Георгиевич Чернов / Vladimir G. Chernov
д.э.н., профессор кафедры «Вычислительная техника и системы управления» / Doctor of economical sciences, Professor of Department of Computer Science and Control Systems
Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых / Vladimir State University
600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, дом № 87 / 600000, Russia, Vladimir, Gorky St., 87

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 05.02.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 21.02.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 24.02.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Научная статья

УДК 519.8
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_15

КВАДРАТИЧНАЯ ЗАДАЧА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Надежда Олеговна Котелина[1], **Александр Борисович Певный**[2]
[1,2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, [1]nkotelina@gmail.com, [2]pevnyi@syktsu.ru

Аннотация. Пусть в n-мерном пространстве даны m точек, а G – выпуклая оболочка этих точек. В простейшей задаче математической диагностики проверяется, принадлежит ли точка p множеству G. Иначе говоря, если координаты точек – признаки некоторой болезни, необходимо определить, есть ли у нового пациента болезнь по степени схожести ее признаков у него и у пациентов с подтвержденным диагнозом. В настоящей статье мы присоединяем к G его эпсилон-окрестность и проверяем, принадлежит ли p расширенному множеству. Для этого решаем задачу квадратичного программирования, в которой требуется найти точку множества G, ближайшую к точке p в евклидовой норме. Мы выписываем необходимые условия минимума, получая задачу, которую можно решать при помощи модифицированного симплекс-метода с дополнительным условием для базисов.

Ключевые слова: математическая диагностика, машинное обучение, модифицированный симплекс-метод, квадратичное программирование

Для цитирования: Котелина Н. О., Певный А. Б. Квадратичная задача математической диагностики // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 15–22. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_15

© Котелина Н. О., Певный А. Б., 2022.

Applied mathematics and mechanics

Original article

Quadratic problem of mathematical diagnostics

Nadezhda O. Kotelina, Aleksandr B. Pevnyi
[1,2]Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, [1]nkotelina@gmail.com, [2]pevnyi@syktsu.ru

Abstract. Let m points be given in n-dimensional space, and G is the convex hull of these points. In the simplest problem of mathematical diagnostics, it is checked whether a point p belongs to the set G. In other words, if the coordinates of the points are signs of some disease, it is necessary to determine whether a new patient has a disease by the similarity of its signs in him and in patients with a confirmed diagnosis. In this paper, we attach its epsilon neighborhood to G and check whether p belongs to an extended set. To do this, we solve a quadratic programming problem in which we need to find the point of the set G closest to the point p in the Euclidean norm. In the article, we write out the necessary minimum conditions, obtaining a problem that can be solved using a modified simplex method with an additional condition for the bases.

Keywords: mathematical diagnostics, machine learning, modified simplex-method, quadratic programming

For citation: Kotelina N. O., Pevnyi A. B. Quadratic problem of mathematical diagnostics. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 15−22. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_15

Введение

Пусть в пространстве $\mathbb{R}^n$ задано конечное множество точек $\{p_j\}_{j=1}^m$. Каждый вектор p_j состоит из n компонент – это признаки (факторы) некоторой болезни у больных с подтвержденным диагнозом. Есть ещё точка p. Есть ли у этого нового пациента болезнь, определяется по степени похожести признаков точки p и признаков точек $\{p_j\}$.

В простейшей задаче математической диагностики [1] вводится выпуклая оболочка $G = \operatorname{co}\{p_1, \ldots, p_m\}$ точек $\{p_j\}$ и проверяется включение $p \in G$.

Было бы интересно присоединить к G точки, у которых расстояние до G мало. Зададим $\varepsilon > 0$. Найдём расстояние от p до G:

$$\rho = \min_{z \in G} \|p - z\|, \tag{1}$$

где $\|p - z\|$ – евклидова норма $p - z$. Если $\rho \leq \varepsilon$, то считаем, что диагноз (тест) положительный.

Данная статья посвящена численному решению задачи (1).

Материалы и методы

Введём векторы $a_j = p_j - p$ и выпуклую оболочку этих векторов:

$$M = \mathrm{co}\,\{a_1, \ldots, a_m\}.$$

Требуется найти расстояние от многогранника M до начала координат:

$$\rho = \min_{z \in M} \|z\|. \tag{2}$$

Здесь и далее используется евклидова норма $\|z\| = \sqrt{(z, z)}$ и обычное скалярное произведение $(z,\, y)$ векторов $z,\, y \in \mathbb{R}^n$.

Множество M состоит из векторов $z = \sum_{j=1}^{m} x_j a_j$, где $x_j \geq 0$, $x_1 + \cdots + x_m = 1$. Поэтому задача (2) эквивалентна задаче квадратичного программирования

$$\begin{gathered} f(x) = \tfrac{1}{2}(Dx,\, x) \to \min, \\ x_1 + \cdots + x_m = 1, \\ x_j \geq 0, \quad j \in 1 : m, \end{gathered} \tag{3}$$

где D – матрица с элементами $d_{ij} = (a_i,\, a_j)$, $i,\, j \in 1 : m$.

Запишем необходимые условия минимума в задаче (3) – условия Куна-Таккера. Градиент $f'(x)$ равен Dx, а градиент $g(x) = x_1 + \cdots + x_m$ есть $g'(x) = \mathbb{I}$ – вектор из m единиц. Пусть $(Dx)_i$ – i-я компонента вектора Dx. В точке минимума x^* существует λ, такое, что

$$(Dx^*)_i + \lambda \geq 0, \quad i \in 1 : m, \tag{4}$$

$$((Dx^*)_i + \lambda) \cdot x_i^* = 0, \quad i \in 1 : m. \tag{5}$$

Смысл условия дополняющей нежёсткости (5) состоит в том, что если $x_i^* > 0$, то $(Dx^*)_i + \lambda = 0$. Условия (4) – (5) являются и достаточными условиями минимума, так как матрица D неотрицательно определена.

Чтобы найти x^*, введём дополнительные переменные $v_i = (Dx)_i + \lambda$. Тогда получим систему

$$\begin{aligned} &(Dx)_i + \lambda - v_i = 0, \quad i \in 1:m, \\ &x_1 + \dots + x_m = 1, \\ &v_i x_i = 0, \quad v_i \geq 0,\, x_i \geq 0,\, i \in 1:m. \end{aligned} \tag{6}$$

Несмотря на нелинейное ограничение $v_i x_i = 0$, здесь можно применить идеи линейного программирования. В первое уравнение добавим искусственную переменную u со знаком минус. Придём к задаче:

$$\begin{gathered} u \to \min, \\ Dx + \lambda \cdot \mathbb{I} - v - e_1 u = \mathbb{O}, \\ x_1 + \dots + x_m = 1, \\ v_i x_i = 0, \quad v_i \geq 0,\, x_i \geq 0,\, i \in 1:m;\; u \geq 0. \end{gathered} \tag{7}$$

Здесь $e_1 = (1, 0, ..., 0)^T$, $\mathbb{I} = (1, 1, ..., 1)^T$.

Задача (7) решается модифицированным симплекс-методом с дополнительным условием: если x_i входит в базис, то v_i нельзя вводить в базис, и наоборот. Использовать только базисы с таким свойством дополнительности предложил П. Вулф [3]. Алгоритм с этой старой идеей описан в статье [2]. Некоторая сложность возникает при определении начального базиса.

В задаче (6) переменная λ принимает значения любого знака. Поэтому представим λ в виде $\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$, где $\lambda_1 \geq 0$, $\lambda_2 \geq 0$. Для наглядности выпишем систему уравнений при $m = 4$:

$$\begin{aligned} &d_{11}x_1 + d_{12}x_2 + d_{13}x_3 + d_{14}x_4 + \lambda_1 - \lambda_2 - v_1 - u = 0, \\ &d_{21}x_1 + d_{22}x_2 + d_{23}x_3 + d_{24}x_4 + \lambda_1 - \lambda_2 - v_2 \qquad = 0, \\ &d_{31}x_1 + d_{32}x_2 + d_{33}x_3 + d_{34}x_4 + \lambda_1 - \lambda_2 - v_3 \qquad = 0, \\ &d_{41}x_1 + d_{42}x_2 + d_{43}x_3 + d_{44}x_4 + \lambda_1 - \lambda_2 - v_4 \qquad = 0, \\ &x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \qquad = 1. \end{aligned}$$

В первом столбце матрицы D найдём наименьший элемент

$$d_{i_0 1} = \min_{i \in 1:m} d_{i1}.$$

Если $i_0 = 1$, то $(a_i, a_1) \geq (a_1, a_1)$, а тогда $(z, a_1) \geq (a_1, a_1)$ и $(z - a_1, a_1) \geq 0$ для всех $z \in M$. Отсюда

$$\|z\|^2 = \|a_1 + (z - a_1)\|^2 = \|a_1\|^2 + 2(z - a_1, a_1) + \|z - a_1\|^2 \geq \|a_1\|^2.$$

Значит, a_1 – ближайшая точка, $z^* = a_1$, $\rho = \|a_1\|$ и задача (2) решена.

В дальнейшем считаем $i_0 > 1$. Укажем начальный базисный план. Идею построения покажем для частного случая $i_0 = 3$. Базисными переменными будут

$$u = d_{11} - d_{i_0 1},\ v_2 = d_{21} - d_{i_0 1},\ \lambda = -d_{i_0 1},\ v_4 = d_{41} - d_{i_0 1},\ x_1 = 1.$$

Если $d_{i_0 1} \geq 0$, то берём $\lambda_2 = d_{i_0 1}$, иначе $\lambda_1 = -d_{i_0 1} = |d_{i_0 1}|$. При $d_{i_0 1} \geq 0$ базисная матрица A и обратная базисная матрица $B = A^{-1}$ будут иметь вид

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & -1 & 0 & d_{11} \\ 0 & -1 & -1 & 0 & d_{21} \\ 0 & 0 & -1 & 0 & d_{i_0 1} \\ 0 & 0 & -1 & -1 & d_{41} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 & d_{11} - d_{i_0 1} \\ 0 & -1 & 1 & 0 & d_{21} - d_{i_0 1} \\ 0 & 0 & -1 & 0 & d_{i_0 1} \\ 0 & 0 & 1 & -1 & d_{41} - d_{i_0 1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Легко проверить, что $AB = E$.

Если же $d_{i_0 1} < 0$, то в матрице A вместо столбца $-\mathbb{I}$ будет столбец $+\mathbb{I}$, а в матрице B у элементов $b_{i_0 i_0}$ и $b_{i_0, m+1}$ меняются знаки.

В компьютерной программе матрица A не нужна, а будет использоваться только матрица B. Отметим также, что элементы $(m+1)$-го столбца B – это значения базисных переменных. Столбец X базисных значений получается из уравнения $AX = e_{m+1} = (0, 0, \ldots, 0, 1)^T$. Отсюда $X = Be_{m+1}$ – последний столбец матрицы B.

Чтобы обеспечить выполнение условия $x_i v_i = 0$ введём булевский массив $xv[1..m]$, где $xv[i] = true$, если x_i или v_i входят в базис.

Если $xv[i] = false$, то x_i и v_i не входят в базис и тогда вычисляем оценки

$$\Delta(x_i) = \sum_{k=1}^{m} y[k] \cdot d_{ki} + y[m+1], \quad (9)$$

$$\Delta(v_i) = -y[i], \quad (10)$$

где y – двойственный вектор. На всех итерациях строка c из коэффициентов целевой функции при базисных переменных имеет вид $c = (1, 0, \ldots, 0)$. Поэтому $y = cB$ – это первая строка матрицы B. Массив y можно не вводить.

Если λ_1 и λ_2 не входят в базис, то вычисляем оценку

$$\Delta(\lambda_{1,2}) = \pm \sum_{k=1}^{m} B[1, k].$$

На нулевой итерации в базис можно вводить только x_{i_0} или v_{i_0}. Первая строка матрицы B указана в формуле (8). По формуле (10) получаем $\Delta(v_{i_0}) = -B[1,\, i_0] = -1$. А по формуле (9)

$$\begin{aligned}\Delta(x_{i_0}) &= -d_{1i_0} + d_{i_0 i_0} + (d_{11} - d_{i_0 1}) = \\ &= \|a_{i_0}\|^2 - 2(a_{i_0},\, a_1) + \|a_1\|^2 = \|a_{i_0} - a_1\|^2.\end{aligned}$$

Если $a_{i_0} \neq a_1$, то x_{i_0} вводится в базис. Если же $a_{i_0} = a_1$, то и процесс заканчивается (нет положительных оценок). При этом

$$u = d_{11} - d_{i_0 1} = (a_1,\, a_1) - (a_1, a_{i_0}) = 0.$$

Условия (6) выполняются.

Остальные шаги модифицированного симплекс-метода подробно описаны в докладе [1].

Результаты

В 2017 году в Сыктывкарском государственном университете имени Питирима Сорокина была выполнена дипломная работа, где описанный метод реализован на C++. В работе был, в частности, такой пример: $m = n = 100$, $a_j = e_j$, $j \in 1 : n$. Ближайшей к началу координат точкой многогранника M будет $z^* = (\frac{1}{n}, \frac{1}{n}, \ldots, \frac{1}{n})$. Программа выдала $z^* = (0.01, 0.01, \ldots, 0.01)$ на 99-й итерации.

Обсуждение

Решение простейшей задачи математической диагностики при помощи модифицированного симплекс-метода обсуждалось в докладе В. Н. Малозёмова и Е. К. Чернэуцану на семинаре по оптимизации, машинному обучению и искусственному интеллекту [1]. Данная статья развивает идею этого доклада, при этом для решения полученной зада-

чи квадратичного программирования используется модифицированный симплекс-метод, идея которого восходит к статье П. Вулфа [3].

Список источников

1. **Малозёмов В. Н., Чернэуцану Е. К.** Простейшая задача математической диагностики // *Семинар «O & ML». Избранные доклады. 9 февраля 2022 г.* URL: http://www.apmath.spbu/oml/reps22.shtml#0209 (дата обращения: 04.04.2022).

2. **Певный А. Б.** Нахождение точки многогранника, ближайшей к началу координат // *Оптимизация.* Новосибирск, 1972. Вып. 10 (4).

3. **Wolfe P.** The simplex method for quadratic programming // *Econometrics.* 1959. Vol. 27. Pp. 382–398.

References

1. **Malozemov V. N., Cherneutsanu E. K.** The simplest problem of mathematical diagnostics. *Seminar «O & ML». Izbrannye doklady* [Seminar «O & ML». Selected papers]. 2022-02-09. Available: http://www.apmath.spbu/oml/reps22.shtml#0209 (accessed: 04.04.2022).

2. **Pevnyi A. B.** Finding the point of polyhedron closest to the origin (in Russian). *Optimizaciya* [Optimization]. Issue 10 (4). Novosibirsk, 1972.

3. **Wolfe P.** The simplex method for quadratic programming. *Econometrics.* 1959. Vol. 27. Pp. 382–398.

Сведения об авторах / Information about authors
Надежда Олеговна Котелина / Nadezhda O. Kotelina
к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в образовании / Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Science
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Александр Борисович Певный / Aleksandr B. Pevnyi
д.ф.-м.н., профессор, кафедра прикладной математики и информационных технологий в образовании / Doctor of physical and mathematical sciences, professor, Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Science
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 01.03.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 11.03.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 15.03.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 519.854.2
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ В ВУЗЕ

Дмитрий Андреевич Масляев
Коми республиканская академия государственной службы и управления, e-mail: dmaslyaev@gmail.com

Аннотация. В статье проводится обзор литературных источников российских и зарубежных исследователей по теме автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе. Перечислены особенности расписания для вуза, а также особенности составления расписания в России. Приведено сравнение различных программных средств для автоматического составления учебных расписаний. Существующего программного обеспечения недостаточно для решения данной задачи. Особенностью рассматриваемой задачи является наличие «блочных» занятий, которые нужно компактно разместить в расписании, большое число потоков и множество внешних совместителей. Рассматриваются различные математические модели и методы решения подобных задач. У существующих эвристических методов есть свои преимущества и недостатки. Формулируется концептуальная постановка задачи в вербальной форме применительно к учебному заведению автора. Выделяются обязательные (жесткие) и желательные (мягкие) ограничения. Нарушение желательных ограничений будет влиять на функцию штрафов – единственную целевую функцию. Задача в такой постановке является уникальной. Автор пришел к выводу, что необходимо разработать теоретико-множественную математическую модель для рассматриваемой

© Масляев Д. А., 2022.

задачи и гибридный эвристический метод решения, который сочетал бы преимущества различных эвристических методов и нивелировал бы их недостатки. Данные для задачи необходимо представить в агрегированном виде.

Ключевые слова: учебные расписания, вуз, комбинаторная оптимизация, автоматизация, методы, эвристические, обзор литературы, алгоритм, концептуальная модель

Для цитирования: Масляев Д. А. Современное состояние задачи автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 23–40. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

Informatics

Original article

Current state of the higher school timetabling problem

Denis A. Maslyaev
Komi republican academy of public service and administration, e-mail: dmaslyaev@gmail.com

Abstract. The article contains a review of Russian and foreign literature sources of solving the high school timetabling problem. The distinctive features of the schedule for the university are listed, as well as the peculiarities of scheduling in Russia. The comparison of various software tools for automatic scheduling is given. The existing software is not enough to solve this problem. A feature of the task is the presence of "block"classes that need to be compactly placed in the schedule, a large number of training streams, and a lot of external part-timers. Methods and algorithms for solving similar problems are considered. The existing heuristic methods have their advantages and disadvantages. A conceptual statement of the problem is formulated in a verbal form in relation to a specific educational institution. Hard and soft restrictions are formulated. Violation of soft restrictions will affect the penalty function – the only target function. The author came to the conclusion that it is necessary to develop a set-theoretic mathematical model for the problem under consideration and a hybrid heuristic solution method that would combine the advantages of various heuristic methods and offset their disadvantages. The data for the problem must be presented in an aggregated form.

Keywords: timetabling problem, high school, combinatorial optimization, automatization, methods, heuristic, literature review, algorithm, conceptual model

For citation: Maslyaev D. A. Current state of the higher school timetabling problem. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 23–40. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

Введение

Целью данной работы является анализ доступных российских и зарубежных источников по теме автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе для получения точной формулировки задачи (концептуальная модель) с учетом специфики вуза автора статьи, определения общего типа ее математической модели и метода решения задачи. Необходимость исследования связана с недостаточными возможностями имеющихся программных средств и уникальными особенностями рассматриваемой задачи.

Гипотезой является то, что в качестве метода решения задачи необходимо рассматривать эвристический метод и строить теоретико-множественную математическую модель для нее.

Расписание занятий играет важную роль в организации учебного процесса вуза. От удачно составленного расписания зависит трудовой ритм и полнота творческой отдачи преподавателей, успешность обучения студентов. Расписание можно рассматривать как возможность оптимизировать использование имеющихся трудовых ресурсов – преподавателей и материальной базы вуза. Методы составления учебного расписания следует рассматривать как мероприятие по оптимизации управления учебным заведением.

Мы не будем рассматривать задачу нахождения учебной нагрузки кафедр на определенный учебный год, а также задачу распределения нагрузки между преподавателями и будем считать, что данные нагрузки уже распределены, возможно, с использованием информационных систем с учетом пожеланий преподавателей (более подробно см. [1, с. 35]). Распределение указанных нагрузок – это этап, который предшествует непосредственному составлению учебного расписания.

Существует множество работ, посвященных рассматриваемой задаче в России и за рубежом, и интерес исследователей к этой задаче не ослабевает.

Стоит отметить, что есть разница между формированием учебных программ в России и за рубежом. За рубежом (например, в США и Европе) студент часто сам выбирает себе значительную часть курсов, которые он будет посещать в течение семестра, другая часть является обязательной профессиональной (см., например, [2]). Каждый студент при таком подходе в Европе рассматривается индивидуально, но возможна ситуация, при которой студент не сможет посетить все выбранные им курсы в построенном допустимом расписании [3, с. 8805].

В России у каждой группы занятия ставятся в соответствии с учебным планом групп (которые формирует деканат), однако некоторые дисциплины также могут быть по выбору. Кроме того, за рубежом вид одной дисциплины, например лекции, могут вести разные преподаватели в течение семестра, что у нас не принято. Эти различия стоит учитывать при анализе математических моделей, представленных в иностранных научных статьях перед их применением в вузах России. Далее мы будем рассматривать задачу составления учебного расписания только для российских вузов.

У расписания для вузов есть свои уникальные особенности, которые отличают его от расписания для школ и средних специальных учебных заведений: присутствуют потоковые занятия, группы для некоторых занятий или их видов делятся на подгруппы, продолжительность одного занятия – два академических часа, лабораторные работы необходимо проводить в специально оборудованных аудиториях, лекции и практические занятия часто ведут разные преподаватели и т. д.

В настоящее время учебное расписание часто составляется сотрудниками учебного отдела полностью вручную с использованием компьютерных программ и при этом полученное расписание по тем или иным критериям устраивает учебное заведение – это говорит о том, что данная задача решаема, хотя и занимает достаточно много времени и требует квалифицированных специалистов.

На рынке присутствуют различные программные продукты, которые имеют возможность составлять расписание занятий в вузе, см. табл. 1, 2. Пояснения к табл. 1: A – Работа с потоками, B – Работа с подгруппами, C – Пожелания и возможности преподавателей, групп и помещений, D – равномерность расписания, E – произвольный пери-

Таблица 1

Сравнение ПО для составления учебного расписания

Название программы	A	B	C	D	E
1С: Автоматизированное составление расписания.Университет	+	+	+	-	+
БИТ.ВУЗ.Расписание	+	+	+	-	-
Галактика РУЗ	+	+	+	-	-
ТАНДЕМ.Университет	+	+	+	-	-
Экспресс-расписание ВУЗ	+	+	+	+	-
AVTOR	+	+	+	+	-

од расписания. Все представленные в таблицах программы учитывают особенности аудиторий, их вместимость и время перехода между корпусами.

Рассмотренные программы имеют свои сильные стороны и могут существенно облегчить работу диспетчера учебного отдела. Однако каждый вуз имеет свои особенности, которые влияют на составление расписания, уникальные требования, не все из которых могут учитываться данными программами, что мешает составлению расписания исключительно в автоматическом режиме. И ни одна из этих программ не является универсальной. В нашем учебном заведении часть занятий по желанию преподавателей ставятся в расписание «поблочно» – т. е. вначале идут занятия одной дисциплины (лекции, практики), потом они заканчиваются и начинается блок занятий, относящийся к другой дисциплине. Также на усмотрение преподавателя принято, что в начале каждого курса идет определенное число лекций и только после этого ставится практика. В качестве особенностей отдельных вузов можно привести равномерное для преподавателей распределение занятий в течение недели, проведение лекций в первой половине дня, равномерное по времени распределение занятий в течение периода планирования и др. Приведенные условия и ограничения на расписание не учитываются рассмотренными в табл. 1 программами.

По описанию на сайте и в силу коммерческой закрытости сложно сравнивать данные программные продукты по тем критериям оптимизации, которые в них заложены, а тем более по такому критерию, как степень удовлетворения пожеланий преподавателей/групп/учебного заведения.

Из проведенного анализа видно, что во главу угла при автоматическом составлении расписания ставится минимизация числа окон у групп (и иногда преподавателей), что является, конечно, важным критерием,

Таблица 2

Особенности программ составления учебного расписания

Название программы	Особенности
1С: Автоматизированное составление расписания.Университет	Оптимизация числа используемых помещений. Учитывается максимальное количество занятий для группы или преподавателя. Минимизирует число окон для групп
БИТ.ВУЗ.Расписание	Контроль максимального количества занятий в день у преподавателя/обучающегося. Минимизирует число окон для групп и преподавателей
Галактика РУЗ	Поддерживает разные формы обучения
ТАНДЕМ.Университет	-
Экспресс-расписание ВУЗ	Составляется расписание как очного, так и заочного отделений
AVTOR	Оптимизирует трудоемкость расписания. Составляет расписание на неделю, две или семестр. Минимизирует число окон для групп и преподавателей

но не достаточным в случае большого числа внешних преподавателей и их уникальных требований к расписанию, большого числа потоков и нехватки аудиторного фонда (как в случае нашего учебного заведения). К тому же ни в одной из программ нет возможности составлять расписание дисциплин поблочно. Все это позволяет говорить о том, что существующего ПО недостаточно для автоматического составления расписания в современных условиях.

Актуальность задачи автоматизации составления учебных расписаний определяется тем, что растут требования к качеству учебного процесса, планированию работы студентов и преподавателей в условиях дефицита аудиторного фонда. От качества составленного расписания, т. е. от удобства для студентов, преподавателей и от рационального использования аудиторного фонда зависит качество учебного процесса. А. Ю. Абухания в своей работе [4, с. 3] отмечает, что актуальность поиска эффективных методов решения рассматриваемой задачи также подтверждается тем, что с 2002 г. и по настоящее время проводятся международные соревнования в этой области (International Timetabling Competition).

Объектом исследования настоящей научной работы являются задачи составления оптимального учебного расписания в вузе. Рассматриваемая задача относится к задачам целочисленного программирования [5, с. 116] и является NP-трудной в сильном смысле [3, с. 8804]. Требования к расписанию, которые реально встречаются на практике, достаточно трудно формализовать. Также в такой задаче присутствует значительный объем исходной информации.

Предметом настоящего исследования являются методы и алгоритмы составления оптимального учебного расписания в вузе.

Исходные данные задачи включают информацию о количестве учебных дней в неделе, максимальном количестве занятий в день и периоде планирования, информацию обо всех преподавателях вуза, о тех дисциплинах, которые они читают, о всех учебных группах, учебных корпусах и их аудиториях, учебных планах групп, нагрузке преподавателей, об ограничениях (для групп, преподавателей и аудиторий).

Материалы и методы

В обзор литературных источников включены многочисленные работы российских и зарубежных исследователей по рассматриваемой задаче. Существует множество методов решения рассматриваемой задачи, которое можно разделить на следующие классы: методы, предназначенные для нахождения оптимального решения (точные методы); методы для нахождения приближенного решения; методы, позволяющие найти приближенное решение с гарантированной точностью (с допустимым гарантированным отклонением от оптимального решения). Перебор так или иначе включают в себя все точные методы, предназначенные для решения общих задач. Перебор чаще всего неприемлем, поскольку размер исходных данных для подобных задач просто огромен (большой объем пространства поиска решений). И с ростом объема исходной информации происходит резкий (экспоненциальный) рост временных затрат на поиск решения. Если же попытаться упростить задачу (снизить размерность), то это может привести к искажению настоящей картины процесса составления учебного расписания.

Формализация задачи может привести к построению модели в виде задачи линейного или квадратического программирования (конкретный вид модели зависит от конечного списка ограничений).

Точные методы часто используют графовую модель расписания. Учебный план и другие исходные данные представляются в виде гра-

фа, мультиграфа или набора графов [6, с. 23]. Вершины графов представляют преподавателей, группы, дисциплины и аудитории, ребра – занятия. Необходимо сопоставить ребрам графа периоды времени, и это сопоставление должно быть реберной раскраской графа, поскольку накладки в расписании недопустимы. Задача может быть сведена к задаче раскраски графа [5, с. 118]. В этом случае вершине графа соответствует запланированное учебным планом занятие. Ребром соединяются вершины, если между занятиями возможны конфликты, например два занятия проводятся в одной аудитории. Задача при этом может быть сформулирована как задача минимизации числа цветов, необходимых для раскраски графа, где каждый цвет соответствует одному временному интервалу. Поскольку в дальнейшем исследовании не предполагается использование алгоритмов и методов на графах, то графовые модели автором не рассматриваются.

Метод ветвей и границ позволяет не рассматривать те решения, которые заранее оцениваются как «неперспективные» и за счет этого значительно уменьшить перебираемое множество возможных решений. Реализация метода ветвей и границ для задачи составления расписания представлена в [6].

Эвристические методы в своей основе имеют алгоритмы, использующие некие интуитивные предположения, которые не подкрепляются соответствующим математическим обоснованием. Такие алгоритмы позволяют ускорить поиск «наилучшего» расписания, но эти расписания чаще всего являются лишь приближенным решением. После нахождения такого расписания возникает проблема оценки того, насколько это решение близко к оптимальному. Данную проблему можно решить путем сравнения результатов, полученных эвристическим методом, с тем, которое получено методом перебора для близкой задачи малой размерности [7, с. 121].

Во многих научных работах встречаются реализации генетического алгоритма применительно к задаче составления учебного расписания, например, [6; 8; 9]. Однако в статье [7, с. 122] отмечены недостатки, присущие данному методу при его применении к рассматриваемой задаче: хромосомы в популяции должны быть достаточно разнообразными, чтобы работа алгоритма не завершилась досрочно и не получилось бы «некорректное» расписание; необходимо учитывать специфику задачи при разработке такого алгоритма; исходные данные должны быть достаточно систематизированы.

В автореферате Г. Ф. Низамовой [9] представлен агрегативный генетический алгоритм, в котором используется укрупненный информационный объект – «блок занятий», который объединяет в себе объекты «преподаватели», «группы», «дисциплины». Такое объединение позволяет существенно уменьшить количество варьируемых параметров при организации процедуры генетической оптимизации [9, с. 3]. В статье Е. Р. Гафарова [3, с. 8805] вводится понятие «занятие» как совокупность трех элементов: предмет, преподаватель, группа студентов. В статье Н. Н. Клеванского [1, с. 36] используется понятие «учебное поручение», выступающее в роли заявок. В учебных поручениях указывается студенческий контингент, преподаватели, дисциплины, вид занятия и требуемые или желаемые аудитории с набором признаков. Все это примеры агрегирования информации.

С. Скиена в своей книге [11, с. 287] советует использовать метод имитации отжига для экспериментов с эвристическим поиском. Там же [11, с. 276] С. Скиена говорит о том, что метод имитации отжига работает превосходно для задачи коммивояжера, не требуя специальной настройки, хотя другие эвристические алгоритмы при умелом обращении могут выдавать чуть более удачное решение, однако для этого необходима специальная настройка.

Более подробно метод имитации отжига применительно к задаче составления учебного расписания в вузе рассмотрен в работе [12](без результатов численного эксперимента), где в качестве целевой функции используется штрафная функция. В статье [13, с. 133] А. С. Лопатин отмечает, что преимуществом метода отжига является то, что он позволяет «проскочить» локальный минимум оптимизируемой функции и продолжить искать глобальный минимум. При нехватке вычислительных ресурсов для нахождения оптимального решения метод отжига выдает приемлемое решение (один из локальных минимумов). В статье [14] представлен алгоритм локального поиска, основанный на методе имитации отжига.

В рассматриваемой задаче в качестве энергии (как один из вариантов) может выступать штрафная функция. При нарушении того или иного мягкого ограничения штрафная функция будет увеличиваться. В качестве низкоэнергетического состояния будет выступать корректное (хотя и неизвестное) расписание.

В исследовании [4, с. 4], А. Ю. Абухания отмечает, что продуктивной может быть идея «гибридизации», т. е. совместного использования раз-

личных методов и алгоритмов для решения рассматриваемой задачи. Автор говорит о том, что в качестве таких алгоритмов могут выступать эвристические алгоритмы локальной оптимизации, а также специально модифицированный генетический алгоритм. В его работе представлен подобный гибридный алгоритм: внешний контур основан на генетическом алгоритме, а внутренний представляет из себя жадный алгоритм (последовательная локальная оптимизация) [4, с. 4].

Идея гибридизации эвристических методов состоит в том, чтобы комбинировать методы так, что недостатки одного из них нивелировались бы преимуществами другого. При этом методы могут быть связаны между собой слабо или сильно. В первом случае говорят об высокоуровневой гибридизации, в во втором – о низкоуровневой.

В исследовании Г. Ф. Низамовой [9] используется аддитивный критерий потерь качества расписания в роли единственной целевой функции. В работе А. Ю. Абухания [4] также используется единственный критерий качества расписания, который представляет собой аддитивную свертку 8 частных критериев. Математические модели в работах [4] и [9] являются теоретико-множественными. В то же время задачу составления учебных расписаний можно рассматривать как задачу многокритериальной оптимизации. В этом случае в задаче будет несколько целевых функций, значения которых нужно максимизировать или минимизировать. Достаточно подробно задачи такого типа проанализированы в [15] и [16]. Многие метаэвристики, которые впервые были применены для задачи с одной целевой функцией, впоследствии были расширены для многоцелевых случаев [16, с. 2]. В данной статье такой подход рассматриваться не будет.

Результаты

Сформулируем концептуальную постановку задачи в вербальной форме. Для упрощения описания метода составления расписания необходимо использовать исходную информацию в агрегированном виде. Занятием будем называть совокупность из нескольких элементов – дисциплина, вид занятия, преподаватель, который ее ведет, и группа (поток или подгруппа) студентов, у которой в учебном плане присутствует данная дисциплина, а также количество часов данного вида дисциплины для планирования.

Временной интервал определяется номером недели в семестре, номером дня в рабочей неделе и номером пары в учебный день.

Допустим, что для каждой из учебных групп составлен учебный план, который включает определенное количество дисциплин за семестр; для каждого преподавателя составлена нагрузка на семестр; у отдельной дисциплины могут быть лекционные, практические, лабораторные занятия; по каждому виду занятия известно количество часов за семестр; каждый вид занятия могут вести разные преподаватели; некоторые виды занятий (например, лекционные или физическая культура) могут быть в потоке; для других видов занятий или дисциплин (например, лабораторные работы или иностранный язык) группы могут делиться на подгруппы; занятия для подгрупп могут проводиться разными преподавателями в разных аудиториях и в разное время. Известно число учебных дней в неделе, максимальное число занятий в день, а также число недель, на которое нужно составить расписание. Есть информация о параметрах аудиторий и их оборудованию; известны требования со стороны преподавателей к оборудованию аудиторий для своих занятий.

Сформулируем жесткие и мягкие ограничения. Все жесткие ограничения обязательно должны быть выполнены в итоговом расписании. Мягкие ограничения – необязательные, но степень их выполнения будет влиять на качество расписания. Ограничения формулировались так, чтобы они точно соответствовали ограничениям на расписание учебного заведения, в котором работает автор статьи. Жесткие ограничения:

1) все занятия из учебных программ групп должны быть поставлены в расписание;
2) не должно быть такого, что в одно и то же время, в одной и той же аудитории проходило бы два различных занятия;
3) у преподавателя в один временной интервал не может быть двух разных занятий;
4) у группы/подгруппы/потока студентов не может быть в один временной интервал двух разных занятий; занятия для потоков, групп и подгрупп (в которые входит группа целиком или ее часть) не должны пересекаться (у подгрупп одной группы могут быть занятия в одно время или в разное);
5) аудитория, в которой проводится занятие, должна вмещать всех студентов группы, подгруппы или потока;
6) для некоторых занятий жестко установлены аудитории для их проведения (например, занятия по физкультуре проводятся в спортивном зале); аудитория должна соответствовать типу заня-

тия (лаборатории для лабораторных работ, компьютерный класс и т. д.);

7) затраты времени, связанные с подготовкой учебного помещения к проведению очередного занятия, отсутствуют;
8) преподаватели, группы и аудитории могут быть заняты в определенные временные интервалы, и занятия в них устанавливать нельзя (например, в аудитории могут проводиться конференции, занятия института дополнительного образования или заседания кафедры).
9) часть дисциплин из учебного плана той или иной учебной группы по желанию преподавателя необходимо ставить в расписание «блочно» (обычно эту дисциплину читает внешний совместитель), т. е. за несколько недель преподаватель должен провести все занятия блока.
10) по желанию преподавателя в начале каждого блока дисциплин идут лекции и только потом практические занятия;
11) расписание должно учитывать необходимое время на переход между корпусами.

В данном списке нет запретов на проведение, например, практических занятий, в компьютерной или лекционной аудитории. Но спортивный зал подойдет только для занятий физической культурой.

Мягкие ограничения, относящиеся к учебным группам:

1) количество «окон» в расписании групп должно быть минимальным;

2) нагрузка на группы по дням должна быть равномерной в течение всего цикла планирования.

Мягкие ограничения, относящиеся к преподавателям:

1) количество «окон» в расписании преподавателей должно быть минимальным;

2) должно быть удовлетворено как можно большее число требований преподавателя к аудиториям (например, наличие проектора и др.).

Мягкие ограничения, относящиеся к учебному заведению:

1) количество незанятых мест в аудиториях, в которых проводятся занятия, должно быть минимальным;

2) в случае наличия нескольких корпусов в учебном заведении (в нашем вузе только один корпус) расписание должно учитывать необходимое время на переход между корпусами; количество таких переходов должно быть минимальным.

В статье [17] проведена классификация возможных ограничений.

За нарушение каждого из мягких ограничений будет начисляться штраф. Таким образом, мы получим штрафную функцию, и задача сведется к поиску расписания, для которого значение данной функции будет минимальным.

Необходимо составить учебное расписание для всех групп на две недели с «числителем» и «знаменателем» для одной части занятий (расписание для них будет повторяться на следующие недели) и без них для «блочных» занятий (расписание для них не будет повторяться далее), которое бы удовлетворяло всем жестким ограничениям и минимизировало бы целевую функцию (функцию штрафов), введенную на расписании и зависящую от нарушений мягких ограничений в условиях нехватки аудиторий, большого числа потоков и большого количества внешних совместителей. Внешние совместители часто проводят занятия по субботам (либо у них определенные требования на временные интервалы в течение недели), также их занятия чаще всего идут блоками. Концептуальная модель составлена на основе анализа литературных источников, а также соответствует требованиям, которые предъявляются к расписанию в учебном заведении автора.

Для данной задачи необходимо разработать теоретико-множественную математическую модель. Составленный список обязательных и желательных требований к расписанию будет использоваться в качестве основы для построения формальной математической модели. Задача в такой постановке является уникальной и не встречается в литературе.

Исходную информацию для метода составления расписания необходимо представить в агрегированном виде. Для решения задачи перспективным является применение методов имитации отжига или генетического, а также создание некоего гибридного метода, который сочетал бы достоинства существующих методов.

Обсуждение

Таким образом, нами была сформулирована концептуальная модель в вербальной форме для рассматриваемой задачи оптимизации учебного расписания. Она необходима в дальнейшем для построения теоретико-множественной математической модели. Модель будет строиться исходя из того, что для решения задачи необходимо использовать эвристический метод. Выводы, полученные в статье, полностью соответствуют выводам других исследователей, упоминание которых можно найти выше.

Дальнейшие исследования в области построения оптимальных учебных расписаний являются актуальными, поскольку на данный момент не выработано общепринятых и неоспоримых моделей, методов и алгоритмов в этой области комбинаторной оптимизации.

В рамках исследования автор статьи ставит перед собой цель разработать такой метод оптимизации, который одновременно учитывал бы интересы трех сторон: студентов, преподавателей и учебного заведения.

Задача, сформулированная в статье, связана с приложениями в области компьютерных технологий и дискретной оптимизации.

Список источников

1. **Клеванский Н. Н.** Формирование расписания занятий высших учебных заведений // *Образовательные ресурсы и технологии.* 2015. № 1(9). С. 34–44.

2. **Chavez-Bosquez O., Hernandez-Torruco J., Hernandez-Ocana B., Canul-Reich J.** Modeling and Solving a Latin American University Course Timetabling Problem Instance // *Mathematics* 2020, v. 8(10), 1833.

3. **Гафаров Е. Р.** Программный продукт для составления учебных расписаний вузе // *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 (16-19 июля, г. Москва).* М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезников РАН, 2014. С. 8804–8809.

4. **Абухания Амер Ю.А.** Модели, алгоритмы и программные средства обработки информации и принятия решений при составлении расписания занятий на основе эволюционных методов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Новочеркасск, 2016. 20 с.

5. **Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворякин А. М.** Методы автоматизации составления расписания занятий. Ч. 1. Классические методы //

Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. № 12(60). С. 116–120.

6. **Маслов М. Г.** Разработка моделей и алгоритмов составления расписаний в системах административно-организационного управления : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 2004. 25 с.

7. **Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворякин А. М.**Методы автоматизации составления расписания занятий. Ч. 2. Эвристические методы оптимизации // *Известия Волгоградского государственного технического университета.* 2009. № 12 (60). С. 120–123.

8. **Асвад Фирас М.** Модели составления расписания занятий на основе генетического алгоритма на примере вуза Ирака : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Воронеж, 2013. 16 с.

9. **Кабальнов Ю. С., Шехтман Л. И., Низамова Г. Ф., Земченкова Н. А.** Композиционный генетический алгоритм составления расписаний учебных занятий // *Вестник Уфимского государственного авиационного университета.* 2006. № 2. Т. 7. С. 99–109.

10. **Низамова Г.Ф.** Математическое и программное обеспечение составления расписания учебных занятий на основе агрегативных генетических алгоритмов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Уфа, 2006. 18 с.

11. **Скиена С.** Алгоритмы. Руководство по разработке. 2-е. изд. : пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 720 с.

12. **Матвеев А.И.** Алгоритм оптимизации планирования ресурсов (на примере метода отжига) // *Перспективные информационные технологии (ПИТ 2018) : труды международной научно-практической конференции / под ред. С. А. Прохорова.* 2018. С. 1046–1059.

13. **Лопатин А. С.** Метод отжига // *Стохастическая оптимизация в информатике.* 2005. Т. 1. С. 133–149.

14. **Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M.** An iterated search algorithm for the University Course Timetabling Problem // *Applied Soft Computing*, v. 68 (2018), pp. 597–608.

15. **Подиновский В. В.** Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Наука, 2019. 103 с.

16. **Silva J.D.L., Burke E.K., Petrovic S.** An Introduction to Multiobjective Metaheuristics for Scheduling and Timetabling // *Metaheuristics for*

multiobjective optimisation. Lecture notes in economics and mathematical systems, vol. 535, pp. 91–129.

17. **Aziz N. L. A., Aizam N. A. H.** A Brief Review on the Features of University Course Timetabling Problem // *AIP Conference Proceedings 2016*, 020001 (2018).

References

1. **Klevanskij N. N.** Formation of the schedule of classes of higher educational institutions. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational resources and technologies]. 2015. No 1(9). Pp. 34–44.

2. **Chavez-Bosquez O., Hernandez-Torruco J., Hernandez-Ocana B., Canul-Reich J.** Modeling and Solving a Latin American University Course Timetabling Problem Instance. *Mathematics.* 2020, Vol. 8(10), 1833 p.

3. **Gafarov E. R.** Software product for drawing up educational schedules of higher education institutions. *XII Vserossijskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014 (16-19 iyulya, g. Moskva)* [XII All-Russian Meeting on Management Problems VSPU-2014 (July 16-19, Moscow)]. M.: Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikov RAN, 2014. Pp. 8804–8809.

4. **Abuhaniya Amer Y. A.** *Modeli, algoritmy i programmnye sredstva obrabotki informacii i prinyatiya reshenij pri sostavlenii raspisaniya zanyatij na osnove evolyucionnyh metodov* [Models, algorithms and software tools for information processing and decision-making when drawing up a class schedule based on evolutionary methods] Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. Novocherkassk, 2016. 20 p.

5. **Sidorin A. B., Likucheva L. V., Dvoryakin A. M.** Methods of automation of scheduling classes Part 1. Classical methods). *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University]. 2009. No 12 (60). Pp. 116–120.

6. **Maslov M. G.** *Razrabotka modelej i algoritmov sostavleniya raspisanij v sistemah administrativno-organizacionnogo upravleniya* [Development of models and algorithms for scheduling in administrative and organizational management systems] Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. M., 2004. 25 p.

7. **Sidorin A. B., Likucheva L. V., Dvoryakin A. M.** Methods of automation of scheduling classes Part 2. Heuristic methods of

optimization. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University] 2009. No 12 (60). Pp. 120–123.

8. **Asvad Firas M.** *Modeli sostavleniya raspisaniya zanyatij na osnove geneticheskogo algoritma na primere vuza Iraka* [Models of scheduling classes based on a genetic algorithm on the example of a university in Iraq]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. Voronezh, 2013. 16 p.

9. **Kabal'nov Y. S., SHekhtman L. I., Nizamova G. F., Zemchenkova N.A.** Compositional genetic algorithm for scheduling training sessions. *Vestnik Ufimskogo Gosudarstvennogo Aviacionnogo Universiteta* [Bulletin of the Ufa State Aviation University]. 2006. No 2. Vol. 7. Pp. 99–109.

10. **Nizamova G. F.** *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sostavleniya raspisaniya uchebnyh zanyatij na osnove agregativnyh geneticheskih algoritmov* [Mathematical and software for scheduling training sessions based on aggregate genetic algorithms]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskih nauk. Ufa, 2006. 18 p.

11. **Skiena S.** Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke [Algorithms. Development guide] BHV-Peterburg, 2014. 720 p.

12. **Matveev A. I.** Algorithm for optimizing resource planning (on the example of the annealing method) *Perspektivnye informacionnye tekhnologii (PIT 2018). Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Pod redakciej S.A. Prohorova* [Perspective Information Technologies (PIT 2018) : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference / ed. by S. A. Prokhorov.] 2018. Pp. 1046–1059.

13. **Lopatin A. S.** Method of annealing. *Stohasticheskaya optimizacii v informatike* [Stochastic Optimization in Computer Science]. 2005. Vol. 1. Pp. 133–149.

14. **Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M.** An iterated search algorithm for the University Course Timetabling Problem. *Applied Soft Computing*, Vol. 68 (2018). Pp. 597–608.

15. **Podinovskij V. V.** *Idei i metody teorii vazhnosti kriteriev v mnogokriterial'nyh zadachah prinyatiya reshenij* [Ideas and methods of the theory of criteria importance in multicriterial decision-making problems]. M.: Nauka, 2019. 103 p.

16. **Silva J. D. L., Burke E. K., Petrovic S.** An Introduction to Multiobjective Metaheuristics for Scheduling and Timetabling. Metaheuristics for multiobjective optimisation. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, vol. 535, Pp. 91–129.

17. **Aziz N. L. A., Aizam N. A. H.** A Brief Review on the Features of University Course Timetabling Problem. *AIP Conference Proceedings*, 2016. 020001 (2018).

Сведения об авторе / Information about author
Дмитрий Андреевич Масляев / Denis A. Maslyaev
старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента / senior lecturer of the Department of Economics and management
Коми республиканская академия государственной службы и управления / Komi republican academy of public service and administration
167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, дом 11 / 167982, Russia, Syktyvkar, Kommunisticheskaya St., 11

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 16.02.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 03.03.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 15.03.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 004.42
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_41

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СЕРВИСНОГО ВЕБ-КОНФИГУРАТОРА ДЛЯ СБОРКИ КОМПЬЮТЕРА

Юрий Валентинович Гольчевский[1], **Николай Юрьевич Щукин**[2]
[1]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, e-mail: yurygol@mail.ru
[2]ООО «Мобильное решение», e-mail: sedfar.08.09@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлено исследование проблемы проектирования и реализации сервисного веб-конфигуратора на примере конфигуратора для сборки компьютера. Проведен анализ применения веб-конфигураторов, продуктов-аналогов, рассмотрена специфика предметной области, выделены функциональные модули сервиса с их целями и требованиями. Приведены схема основных функциональных модулей веб-сервиса, схемы процесса отбора компонентов в конфигураторе, модели базы данных, интерфейсы разработанного продукта.

Ключевые слова: веб-конфигуратор, сборка компьютера

Для цитирования: Гольчевский Ю. В., Щукин Н. Ю. Проектирование и разработка сервисного веб-конфигуратора для сборки компьютера // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 41–60. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_41

© Гольчевский Ю. В., Щукин Н. Ю., 2022.

Informatics

Original article

Design and Development of a Service Web Configurator for Computer Assembly

Yuriy V. Golchevskiy[1], **Nikolay Yu. Shchukin**[2]
[1]Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, e-mail: yurygol@mail.ru
[2]Mobile Solution LLC, e-mail: sedfar.08.09@mail.ru

Abstract. The paper presents a study of designing and implementing a service web configurator based on a configurator for computer assembly. The analysis of web configurators application and analog products is carried out. The specifics of the subject area are considered and the functional modules of the service with their goals and requirements are highlighted. The diagram of the web service main functional modules, the diagrams of the process of selecting components in the configurator, the database models, the interfaces of the developed product are provided.

Keywords: web configurator, computer assembly

For citation: Golchevskiy Yu. V., Shchukin N. Yu. Design and Development of a Service Web Configurator for Computer Assembly. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 41–60. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_41

Введение

Большинство современных высокопроизводительных компьютеров являются дискретными системами, в которых каждый компонент должен быть совместим со всеми остальными. Для сборки такой системы необходимо точно знать, какие критерии отвечают за совместимость различных компонентов оборудования. Сборка компьютерного оборудования может охватывать несколько сегментов рынка, например офисное, и игровое оборудование, компьютеры для обработки графики и видеомонтажа, решения сложных научных задач, связанных с расчетами и различного рода моделированием, оборудование серверов, используемых в центрах обработки данных, и другие. Для решения некоторых текущих задач можно попробовать обойтись покупкой готового компьютера, однако дальнейшее применение, возможность апгрейда и

увеличения производительности в этом случае остается под вопросом, поскольку такая система может быть ограничена возможностями системы охлаждения, расширения оперативной памяти, замены процессора и другими ограничениями.

Создание сервисного веб-конфигуратора позволяет решить проблему сборки дискретного компьютера. При этом взаимодействовать с таким конфигуратором пользователь сможет с любого устройства, имеющего доступ в сеть «Интернет».

Целью данной работы является описание некоторых специфических аспектов проектирования и разработки онлайн-конфигуратора, способного частично либо полностью заменить специалиста-консультанта при решении проблемы подбора необходимых совместимых компонентов при сборке компьютера. Конфигуратор должен преобразовать полученный набор компонентов компьютера на входе в готовую рабочую сборку на выходе, максимально подходящую для решения стоящих перед пользователем задач.

Проблемам разработки и использования конфигураторов продаж товаров и услуг уделяется достаточно большое внимание в научных изданиях. Это обусловлено тем, что веб-конфигураторы позволяют клиентам компании кастомизировать приобретаемый продукт, привести его к своим собственным потребностям, дать преимущества самовыражения. Авторы работ [1; 2] отмечают, что все это создает дополнительную ценность. Конфигураторы успешно применяются к материальным продуктам, например электронике и автомобилям, к нематериальным продуктам, таким как сложное программное обеспечение (операционные системы, ERP-системы), а также к кастомизации услуг (например, услуг страхования, доставки продуктов и т. п.) Хотя вопрос разработки онлайн-конфигураторов продаж изучается достаточно давно, постоянно появляются новые, требующие изучения аспекты, что вызвано постоянно увеличивающимися темпами цифровизации бизнес-процессов компаний, и, в частности, связанных с продажами. Так, значительное внимание уделяется принципам и стандартам при проектировании подобных систем для улучшения пользовательского опыта, причем можно встретить противоположные точки зрения. Результаты исследования, приведенные в работе [3], ставят под сомнение полезность стандартов де-факто в качестве руководства по проектированию, в работе [4] авторы предлагают принципы на базе подхода, который заключается в

разработке теорий сообщества HCI в контексте конфигурационных моделей.

Е. К. Аббаси и другими авторами в работе [5] отмечается, что во многих случаях конфигураторы являются единственной точкой входа для размещения заказов клиентами. Являясь стратегическими компонентами информационных систем компаний, они должны соответствовать строгим требованиям к надежности, удобству использования и возможности развития. Приводятся плохие и хорошие практики. Например, среди плохих такие, как автоматическое включение опций без предварительного уведомления, недостаточное внимание логике и визуализации опций при проектировании, автоматический переход к следующему шагу, отсутствие пересмотра решений и т. п. Среди хороших практик можно выделить такие, как выявление выбора несовместимых опций и предоставление объяснения и пути решения для их устранения, объяснение возникающих ограничений «на лету», простая возможность пересмотра решений пользователем.

Е. Сандрин и другие в работе [6] показали, что системы с более высокой гибкостью навигации, ориентированной навигацией и возможностями сравнения, повышают не только традиционно рассматриваемую утилитарную выгоду, но и преимущества от уникальности и самовыражения пользователя. Повышению утилитарной выгоды способствует более высокая эффективность и затраты на коммуникацию и наличие понятного описания пространства продукта. Многие системы нуждаются в улучшении способности сообщать о преимуществах от уникальности и от самовыражения, которые потребитель мог бы получить от покупки.

В работе [7] авторами на примере 54 конфигураторов из разных отраслей рассмотрен механизм обработки ошибок в ситуации, когда пользователь пытается объединить несовместимые параметры и нуждается в помощи для восстановления конфигурации и получения работающего продукта, а в работе [8] выполнен анализ возникновения конструктивных недостатков, встречающихся в 28 автомобильных конфигураторах, включая нарушения общих принципов HCI, и неправильная реализация специфичных функций конфигуратора.

Также полезными для изучения в данном аспекте могут быть другие работы С. Гроссо и других авторов [9–11].

Общая функциональность и решение задачи отбора компонентов в конфигураторе

Сравнение существующих на рынке онлайн-конфигураторов для сборки компьютеров, доступных на ресурсах [12–15], с учетом приведенных в упомянутых выше статьях требований показывает, что существует ряд проблем:

1. Не все конфигураторы имеют простой интерфейс с описанием комплектующих и инструкций по сборке, не являются удобными для недостаточно опытных пользователей, а также требуют улучшения механизмов доставки информации о преимуществах уникальности и самовыражения, которые потребитель мог бы получить от самостоятельного выбора конфигурации.

2. Нет сравнения цен на комплектующие с другими ресурсами, поскольку они являются конфигураторами для конкретных торговых брендов.

3. Все конфигураторы содержат различные ошибки в логике (например, связанные с системами охлаждения, недостаточной вместимостью и иными параметрами корпуса, нехваткой мощности блока питания и другими), что приводит к ошибкам в сборке. С учетом выводов выполненного анализа существующих требований и имеющихся решений было выполнено проектирование общей схемы функциональных модулей веб-сервиса, что представлено на рис. 1. Определены пять функциональных модулей: регистрация, каталог комплектующих, конфигуратор, новости и форум. На рисунке показан уровень доступа для любого (серый цвет) и для авторизированного пользователя (черный цвет).

Определим основные роли и отличия между ними. После регистрации пользователь получает роль участника и ему становятся доступны права по управлению аккаунтом и дополнительные возможности веб-сервиса. Роль участника предполагает возможности, описанные на рис. 1 серым и черным цветами. Роль представителя компании включает в себя все возможности участника, однако сообщения от этой роли обозначаются как официальный ответ от компании. Модератор имеет возможности проверки и публикации новостей, закрепления ответа на вопрос, модерации комментариев, категорий и тем обсуждения, блокировки пользователя. Роль администратора включает права суперпользователя: определение ролей участникам, удаление аккаунтов, управление записями в базе данных и прочее. Это показано на рис. 2 в виде диаграммы прецедентов.

Разработанная логика конфигуратора для подбора совместимых комплектующих подробно описана в работе [16]. Она построена так, чтобы минимизировать возможность появления несовместимых комплектующих в сборке.

Рис. 1. Схема основных функциональных модулей веб-сервиса

Общая схема процесса отбора компонентов в конфигураторе представлена на рис. 3.

На схеме представлены три блока: поиск компонента в категории (A1), выбор компонента (A2) и включение компонента в сборку (A3). Механизмом для всех блоков выступает сервер веб-сервиса (M1), который выполняет запросы от пользователя (M2). Входом для блоков A1 и A2 выступает каталог комплектующих. С блоком A3 пользователь не

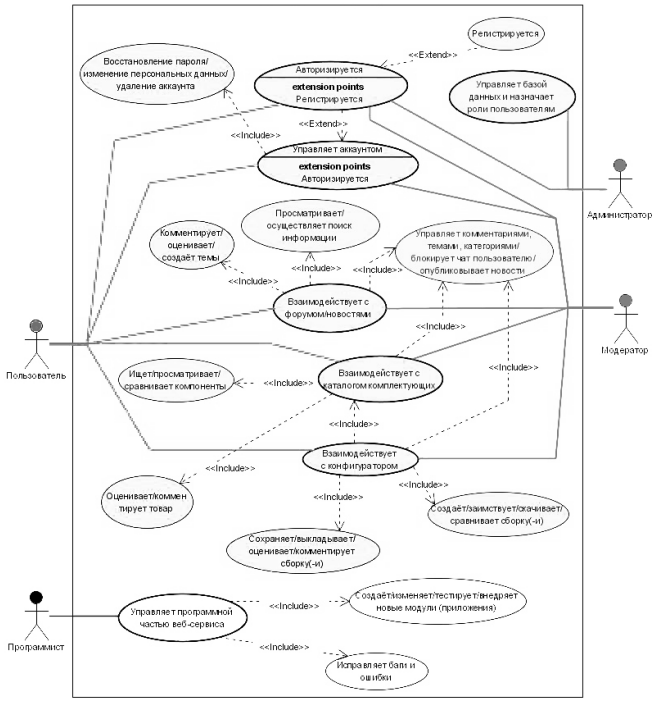


Рис. 2. Схема функциональности веб-сервиса и ролей

взаимодействует, поскольку после выбора компонента включение его в сборку осуществляется сервером.

В качестве управления для блока A1 определена инструкция – фильтр отбора (C1), которая выполняет задачу отсечения неподходящих компонентов в категории (например, процессоры должны быть частотой выше 4 GHz). Для каждого блока определены инструкции: пользовательские критерии сборки и логический модуль зависимостей между компонентами. Их задачей является информирование пользователя о совместимости просматриваемых или выбираемых им компонентов. Для блока A3 эти инструкции необходимы, поскольку он осуществляет добавление компонента в общую сборку и переопределение информации по совместимости для остальных компонентов (например, если ранее были выбраны подходящие процессор и материнская плата, а на данном этапе выбрана несовместимая оперативная память, то для них должна быть обновлена информация по совместимости после включения в сборку оперативной памяти или она не должна быть включена в сборку). В качестве выхода в блоке A3 получаем сохранение выбранного компонента в системе конфигуратора (O1).

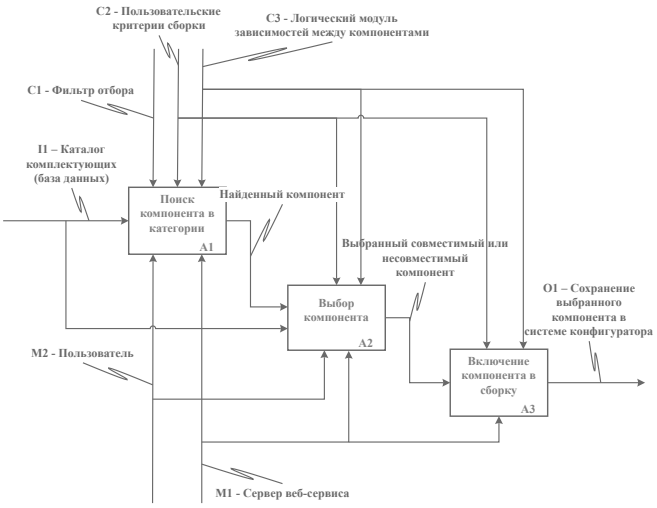


Рис. 3. Общая схема процесса отбора компонентов в конфигураторе

Процесс выбора компонентов можно повторять неограниченное количество раз, переопределяя ранее выбранные компоненты и добавляя новые.

Представим задачу отбора компонентов в конфигураторе с точки зрения хранения, обработки и передачи данных, используя нотацию DFD. Результат представлен на рис. 4.

Пользователь осуществляет запрос на поиск компонентов в категории, сервер обрабатывает этот запрос, обращается к базе данных комплектующих (model), выполняет необходимые инструкции (view), генерирует html-страницу и выдает результат пользователю в требуемом виде (template). Пользователь также может выбрать интересующий компонент в свою сборку после выполнения его поиска. Сервер обработает его запрос, но уже без взаимодействия с базой данных комплектующих (model), поскольку уже имеет сохраненные данные по прошлому обращению, выполнит необходимые инструкции (view), сгенерирует html-страницу и выдаст результат пользователю в требуемом виде (template).

Модель базы данных

Для описания модели предметной области была создана концептуальная модель данных, представленная на рис. 5.

На основании этой модели можно легко объяснить будущие зависимости между компонентами компьютера в реляционной модели базы данных. Далее были построены концептуальные модели, помогающие

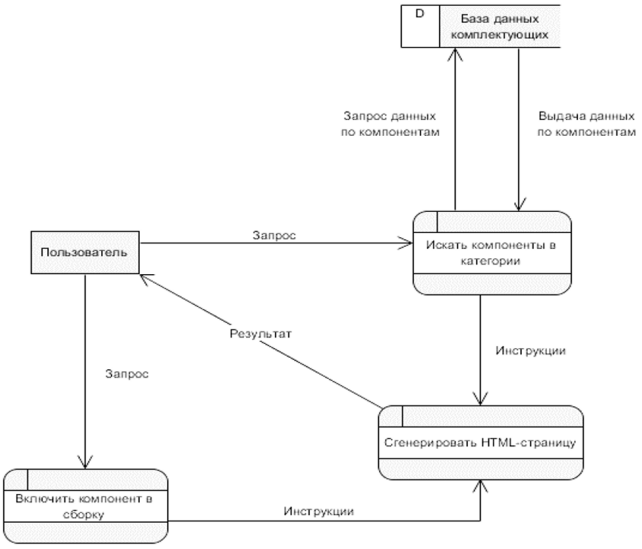


Рис. 4. Отбор компонентов с точки зрения хранения и обработки данных

определить связи процессор – материнская плата, материнская плата – видеокарта – блок питания и другие. Модель спроектированной базы данных показана на рис. 6.

Поскольку база данных содержит достаточно большое количество таблиц, выделим зоны описания каждого компонента по цвету и номеру (см. рис. 7). Обозначения зон: синий цвет (1) – описание центрального процессора; бирюзовый цвет (2) – описание системы охлаждения процессора; желтый цвет (3) – описание вентиляторов и контроллеров управления (выступают в роли дополняющей характеристики основных компонентов); черный цвет (4) – описание накопителей; красный цвет (5) – описание материнской платы; зеленый цвет (6) – описание графического процессора; розовый цвет (7) – описание корпуса; цвет индиго (8) – описание блока питания; оранжевый цвет (9) – описание оперативной памяти.

Проектирование интерфейсов и реализация веб-конфигуратора

Поскольку веб-конфигуратор является веб-приложением, то для него необходимо выполнить проектирование и реализацию интерфейсов для разных устройств с разными разрешениями дисплея. Эскизы разметки расположения компонентов интерфейса для десктопных

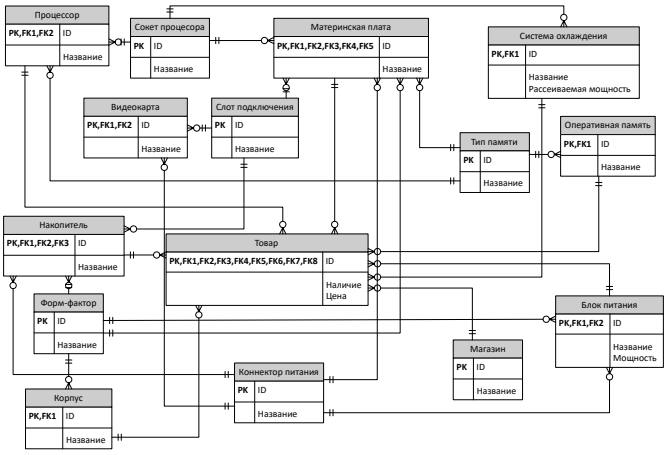


Рис. 5. Схема концептуальной модели базы данных

устройств и мобильных устройств приведены на рис. 7а и рис. 7б соответственно.

Реализация прототипа веб-сервиса была выполнена на основе свободного фреймворка Django, использующего шаблон проектирования MVT. Веб-сайт на Django строится из одного или нескольких приложений, которые рекомендуется делать отчуждаемыми и подключаемыми. Это одно из существенных архитектурных отличий этого фреймворка от некоторых других. Для работы с базой данных Django использует собственный ORM, в котором модель данных описывается классами Python, и по ней генерируется схема базы данных.

Выбор в пользу Django был сделан по следующим причинам: применение разделения бизнес-логики и визуальной части на уровне архитектуры; SEO-дружественность; хорошая расширяемость; развитая инфраструктура: большое количество библиотек и плагинов. Прототип главной страницы веб-конфигуратора представлен на рис. 8. На главной странице присутствуют следующие функциональные части:

- навигация на главную страницу, каталог (выпадающий список), конфигуратор, новости и форум;
- блок новое на сайте и планируемые улучшения, рекламный баннер;
- секция новое в каталоге, которая отображает добавленные компоненты за последние три месяца в базу данных (на данный момент вывод происходит в случайном порядке).

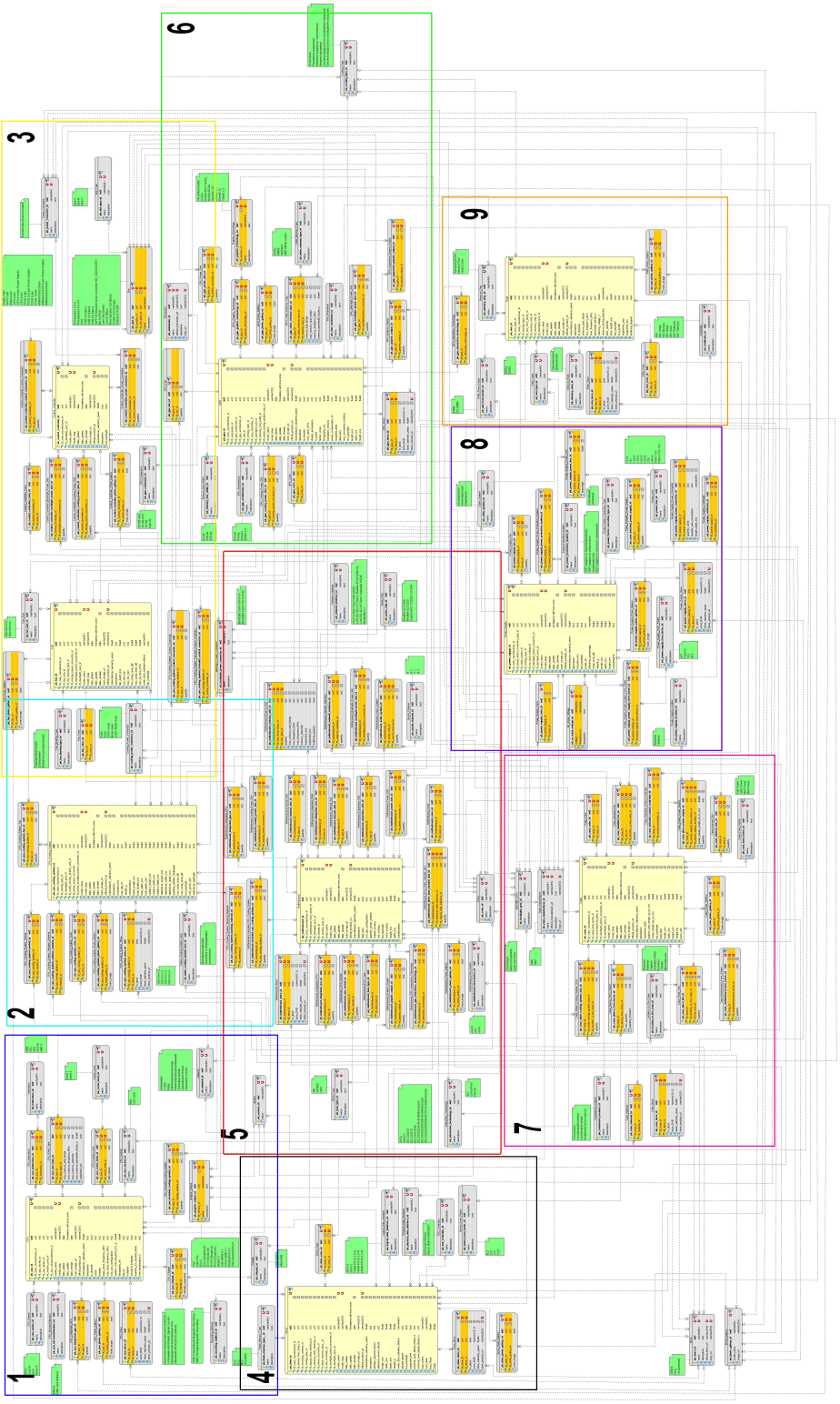


Рис. 6. Схема базы данных веб-сервиса с разделением по зонам компонентов

(а) (б)

Рис. 7. Эскиз интерфейса для десктопных устройств и мобильных телефонов

Вид секции «Новое в каталоге» и каталог комплектующих представлены на рис. 9. По каждому компоненту отображается информация по наименованию, изображениям товара (в виде автоматической карусели), характеристикам, наличие в магазине, цена и последняя дата обновления компонента, чтобы пользователь понимал, на какое время актуальна представленная цена товара.

Способ выбора элемента показан на рис. 10. В качестве примера представлен выбор процессора. Реализован фильтр по интересующим параметрам устройства, например цена, производитель, сокет и т. д.

Страница самого конфигуратора представлена на рис. 11. В разделе «Системный блок» представлены в виде аккордеонов системные компоненты и параметры ограничения для сборки. Нажатие на компоненты динамически раскрывает выбранный каталог через Ajax-запрос. Такое решение позволяет загружать данные по мере необходимости, не заставляя пользователя ожидать загрузки всех компонентов компьютера.

Раскрытие компонента «Процессор» и параметров ограничений показано на рис. 12. Ajax-запросы срабатывают по нажатию на комплектующие и добавляют нужный контент из модуля каталога в определенный блок (класс) структуры DOM html-файла.

Нажатие на кнопку «Добавить в сборку» помещает выбранный компонент в сборку или заменит ранее добавленный на новый. Далее, при выборе системы охлаждения будут отображаться уже только совместимые с выбранным процессором системы охлаждения, что показано на рис. 13. Аналогично происходит добавление других комплектующих.

На данном этапе разработки совместимость компонентов обеспечивается путем последовательного выбора компонентов (сверху вниз) с

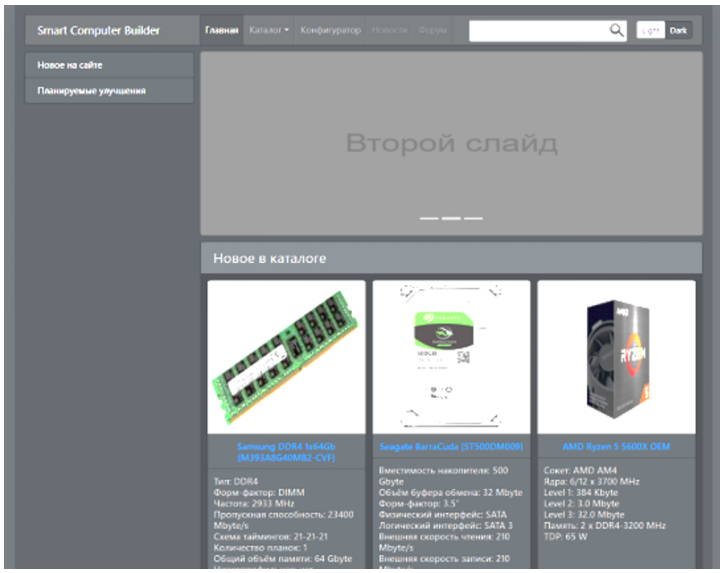
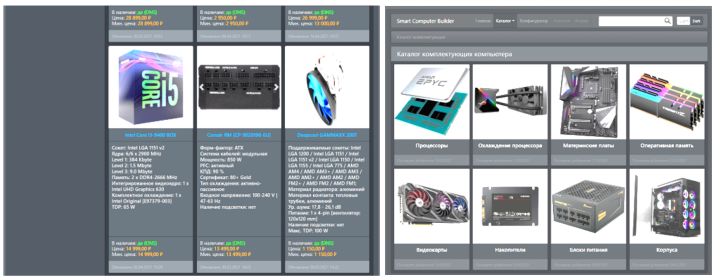


Рис. 8. Интерфейс главной страницы



(а) (б)

Рис. 9. Интерфейс секции «Новое в каталоге» (а) и каталог комплектующих (б)

ограниченным количеством проверок совместимости. Отбор компонентов осуществляется при помощи SQL-запросов на Django-ORM.

Пример реализации логики для подбора системы охлаждения процессора представлен в строке ниже:

```
CPU_Cooling_System.objects.filter(included_only=False,
cpu_cooling_system_socket__fk_cpu_socket__name__contains =
cpu_socket, max_tdp_W__gte=cpu_tdp_W)
```

Django представляет эту команду как SQL-запрос, который обозначает: «Получить все объекты из Системы охлаждения процессора, которые имеют атрибут included_only в значении False и в промежуточной таблице сокетов системы охлаждения про-

Рис. 10. Пример выбора комплектующего (процессор)

цессора (cpu_cooling_system_socket) значение, которое соответствует (__name__contains) переменной cpu_socket, а также значение max_tdp_W должно быть больше либо равно (__gte) переменной cpu_tdp_W». Здесь атрибут included_only необходим для вывода только компонентов, которые имеются в отдельной продаже, а не только с процессорами.

Заключение

Веб-конфигураторы продуктов и услуг являются весьма востребованным сегодня инструментом привлечения клиентов, кастомизации товара на этапе производства или сборки, важной частью привлечения клиентов в производственные цепочки и поддержания взаимодействия с ними на высоком уровне. Однако исследователями выделяется ряд типичных проблем, часто сопутствующих подобным инструментам и уменьшающим эффект выгоды от предоставления возможности пользователю получить уникальный товар и самовыражение.

В рамках данной работы были выполнены проектирование и разработка прототипа веб-конфигуратора для сборки компьютерной техники, разработана логика такого конфигуратора и база данных. При разработке учтены типичные ошибки и недостатки, обнаруженные в подобных системах.

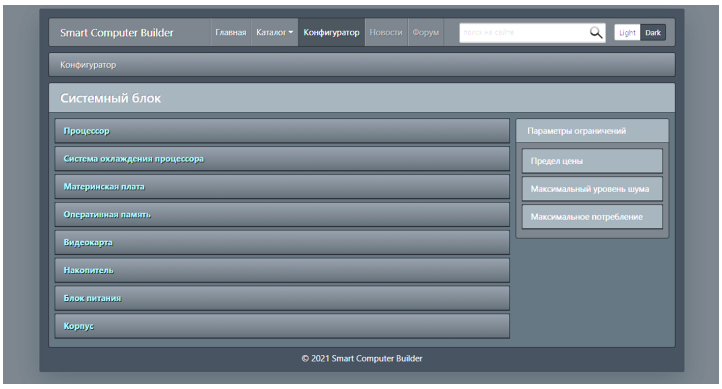


Рис. 11. Главная страница конфигуратора

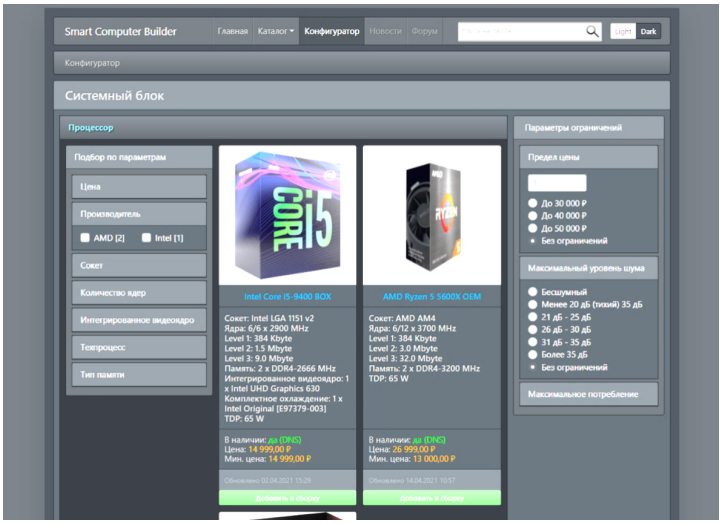


Рис. 12. Раскрытие компонента процессор и параметров ограничений

Для устранения типичных недостатков в веб-конфигураторе для сборки компьютера требуется ввести элементы интерфейса с информацией, помогающей пользователю понимать уровень задач, которые могут быть решены в текущий момент и в ближайшей (год-два) перспективе с помощью собираемого им оборудования. Недостаточно опытный пользователь должен получать необходимую поддержку при принятии им решений. Для этого, кроме собственно конфигуратора, может быть реализована система подсказок и поддержки пользователя в виде форумов, чатов, мессенджеров или других инструментов. Хорошим решением видится также разработка диалога, который поможет начать сборку

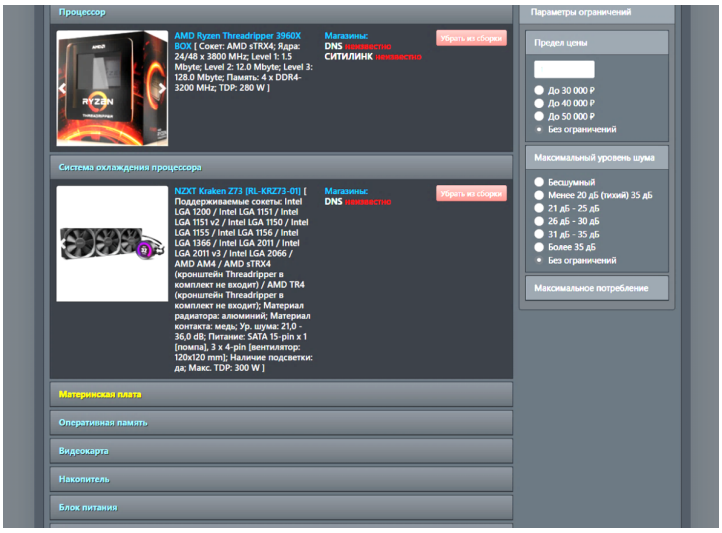


Рис. 13. Отображение и добавление в сборку системы охлаждения для выбранного процессора

в зависимости от будущего применения или приоритетных задач для собираемого компьютера.

Список источников

1. **Grosso C., Trentin A., Forza C.** Towards an understanding of how the capabilities deployed by a Web-based sales configurator can increase the benefits of possessing a mass-customized product // *16th International Configuration Workshop, CEUR Workshop Proceedings*, 2014. Vol. 1220, pp. 81–88.

2. **Sandrin E.** Synergic effects of sales-configurator capabilities on consumer-perceived benefits of mass-customized products // *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2017. Vol. 8, no. 3, pp. 177–188.

3. **Streichsbier C., Blazek P., Faltin F., Frühwirt W.** Are de-facto standards a useful guide for designing human-computer interaction processes? The case of user interface design for web based B2C product configurators // *42nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2009. Oo. 1–7. DOI: 10.1109/HICSS.2009.80.

4. **Leclercq T., Davril J.-M., Cordy M., Heymans P.** Beyond de-facto standards for designing human-computer interactions in configurators // *CEUR Workshop Proceedings*, 2016. Vol. 1705. Pp. 40–43.

5. **Abbasi E.K., Hubaux A., Acher M., Boucher Q., Heymans P.** The anatomy of a sales configurator: An empirical study of 111 cases // Lecture Notes in Computer Science, 2013, LNCS, Vol. 7908, pp. 162-177. DOI: 10.1007/978-3-642-38709-8_11.

6. **Sandrin E., Trentin A., Grosso C., Forza C.** Enhancing the consumer-perceived benefits of a mass-customized product through its online sales configurator: An empirical examination // *Industrial Management and Data Systems*, 2017. Vol. 117, no. 6. Pp. 1295–1315. DOI: 10.1108/IMDS-05-2016-0185.

7. **Leclercq T., Cordy M., Dumas B., Heymans P.** Representing repairs in configuration interfaces: A look at industrial practices // *ACM IUI2018 Workshop on Explainable Smart Systems (ExSS)*, 2018. URL: https://explainablesystems.comp.nus.edu.sg/2018/wp-content/uploads/2018/02/exss_12_leclercq.pdf (дата обращения: 01.03.2022).

8. **Leclercq T., Cordy M., Dumas B., Heymans P.** On studying bad practices in configuration UIs // *ACM IUI2018 Workshop on Web Intelligence and Interaction.* URL: http://ceur-ws.org/Vol-2068/wii1.pdf (дата обращения: 01.03.2022).

9. **Grosso C., Forza C., Trentin A.** Support for the social dimension of shopping through web based sales configurators // *17th International Configuration Workshop, CEUR Workshop Proceedings.* 2015. Vol. 1453, pp. 115-122.

10. **Grosso C., Forza C.** Users' Social-interaction Needs While Shopping via Online Sales Configurators // *International Journal of Industrial Engineering and Management.* 2019. Vol. 10, no. 2. Pp. 139–154. DOI: 10.24867/IJIEM-2019-2-235.

11. **Mahlamäki T., Storbacka K., Pylkkönen S., Ojala M.** Adoption of digital sales force automation tools in supply chain: Customers' acceptance of sales configurators // *Industrial Marketing Management.* 2020. Vol. 91. Pp. 162–173. DOI: 10.1016/j.indmarman.2020.08.024.

12. HardPrice – Сравнение и динамика цен на комплектующие ПК в интернет-магазинах [Электронный ресурс] URL: https://hardprice.ru/ (дата обращения: 01.03.2022).

13. Конфигуратор ПК – собрать компьютер на заказ. Собрать системный блок в онлайн-конфигураторе [Электронный ресурс]. URL: https://www.citilink.ru/configurator/ (дата обращения: 01.03.2022).

14. Сборка ПК – DNS – интернет-магазин цифровой и бытовой техники по доступным ценам [Электронный ресурс]. URL: https://www.dns-shop.ru/configurator/ (дата обращения: 01.03.2022).

15. Собрать компьютер онлайн с проверкой совместимости Конфигуратор/сборка игрового ПК [Электронный ресурс]. URL: https://www.ironbook.ru/constructor/ (дата обращения: 01.03.2022).

16. **Щукин Н. Ю., Гольчевский Ю. В.** Логика работы программного конфигуратора на этапе подбора совместимых комплектующих компьютера // *XXVIII годичная сессия Ученого совета СГУ им. Питирима Сорокина: Национальная конференция : сборник статей* [Электронный ресурс]. Сыктывкар: Изд-во СГУ им. Питирима Сорокина, 2021. С. 649–660.

References

1. **Grosso C., Trentin A., Forza C.** Towards an understanding of how the capabilities deployed by a Web-based sales configurator can increase the benefits of possessing a mass-customized product. *16th International Configuration Workshop, CEUR Workshop Proceedings*, 2014, Vol. 1220. Pp. 81–88.

2. **Sandrin E.** Synergic effects of sales-configurator capabilities on consumer-perceived benefits of mass-customized products. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2017, Vol. 8, No. 3. Pp. 177–188.

3. **Streichsbier C., Blazek P., Faltin F., Frühwirt W.** Are de-facto standards a useful guide for designing human-computer interaction processes? The case of user interface design for web based B2C product configurators. *42nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2009. Pp. 1–7. DOI: 10.1109/HICSS.2009.80.

4. **Leclercq T., Davril J.-M., Cordy M., Heymans P.** Beyond de-facto standards for designing human-computer interactions in configurators. *CEUR Workshop Proceedings*, 2016, vol. 1705. Pp. 40–43.

5. **Abbasi E.K., Hubaux A., Acher M., Boucher Q., Heymans P.** The anatomy of a sales configurator: An empirical study of 111 cases. *Lecture Notes in Computer Science*, 2013, LNCS, vol. 7908, Pp. 162–177. DOI: 10.1007/978-3-642-38709-8_11.

6. **Sandrin E., Trentin A., Grosso C., Forza C.** Enhancing the consumer-perceived benefits of a mass-customized product through its online sales

configurator: An empirical examination. *Industrial Management and Data System*, 2017, vol. 117, no. 6. Pp. 1295–1315. DOI: 10.1108/IMDS-05-2016-0185.

7. **Leclercq T., Cordy M., Dumas B., Heymans P.** Representing repairs in configuration interfaces: A look at industrial practices. *ACM IUI2018 Workshop on Explainable Smart Systems (ExSS)*, 2018, Available at: https://explainablesystems.comp.nus.edu.sg/2018/wp-content/uploads/2018/02/exss_12_leclercq.pdf (accessed 01.03.2022).

8. **Leclercq T., Cordy M., Dumas B., Heymans P.** On studying bad practices in configuration UIs. *ACM IUI2018 Workshop on Web Intelligence and Interaction.* Available at: http://ceur-ws.org/Vol-2068/wii1.pdf (accessed: 01.03.2022).

9. **Grosso C., Forza C., Trentin A.** Support for the social dimension of shopping through web based sales configurators. *17th International Configuration Workshop, CEUR Workshop Proceedings*, 2015, vol. 1453. Pp. 115–122.

10. **Grosso C., Forza C.** Users' Social-interaction Needs While Shopping via Online Sales Configurators. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 2019, vol. 10, no. 2. Pp. 139–154. DOI: 10.24867/IJIEM-2019-2-235.

11. **Mahlamäki T., Storbacka K., Pylkkönen S., Ojala M.** Adoption of digital sales force automation tools in supply chain: Customers' acceptance of sales configurators. *Industrial Marketing Management*, 2020, vol. 91. Pp. 162–173. DOI: 10.1016/j.indmarman.2020.08.024.

12. *HardPrice – Sravnenie i dinamika cen na komplektuyushhie PK v internet magazinax* [HardPrice – Comparison and dynamics of prices for PC components in online stores]. Available at: https://hardprice.ru/ (accessed: 01.03.2022). (In Russ.)

13. *Konfigurator PK – sobrat‘ komp‘yuter na zakaz. Sobrat‘ sistemny‘j blok v onlajn konfiguratore* [PC configurator – to assemble a computer to order. Assemble the system unit in the online configurator]. Available at: https://www.citilink.ru/configurator/ (accessed 01.03.2022). (in Russ.)

14. *Sborka PK – DNS – internet-magazin cifrovoj i by‘tovoj texniki po dostupny‘m cenam* [PC assembly – DNS – online store for digital and home appliances at affordable prices]. Available at: https://www.dns-shop.ru/configurator/ (accessed: 01.03.2022). (In Russ.)

15. *Sobrat‘ komp‘yuter onlajn s proverkoj sovmestimosti Konfigurator/sborka igrovogo PK* [Assemble a computer online with a compatibility check Configurator/build a gaming PC]. Available at: https://www.ironbook.ru/constructor/ (accessed: 01.03.2022). (In Russ.)

16. **Shchukin N. Yu., Golchevskiy Yu. V.** The logic of the software configurator at the stage of selecting compatible computer components // XXVIII godichnaya sessiya Uchenogo soveta SGU im. Pitirima Sorokina: Nacional‘naya konferenciya : sbornik statej [XXVIII annual session of the Academic Council of the Pitirim Sorokin Sykt. State Univ.: National conference: collection of articles: text. sci. electr. ed. Syktyvkar: Publishing House of Pitirim Sorokin Sykt. State Univ.] 2021, pp. 649–660. (In Russ.)

Сведения об авторах / Information about authors
Юрий Валентинович Гольчевский / Yuriy V. Golchevskiy
к.ф.-м.н, доцент, заведующий кафедрой информационных систем / Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of Information Systems Department
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Николай Юрьевич Щукин / Nikolay Yu. Shchukin
программист / programmer
ООО «Мобильное решение» / Mobile Solution LLC
420500, Россия, г. Иннополис, ул. Университетская, д. 7, офис 323 / 420500, Russia, Innopolis, Universitetskaya St., 7, office 323

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 14.02.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 24.02.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 01.03.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 539.3
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_61

Development of XML-based Markup Language

Vadim A. Melnikov[1], **Andrey V. Yermolenko**[2]
[1,2]Pitirim Sorokin Syktyvkar State University, [1]ea74@list.ru

Abstract. Modern approaches in the field of software development assume not only the functionality of the product being developed, but also the convenience, clarity and familiarity of the interfaces. Today, the developed software can be used on various devices, with different configurations, and users may also need a different language to work with the software. To address the issue of universality in the field of 2D games, the approach used in the development of the user interface for the Sad Lion Engine is proposed. Within the framework of this approach, it is supposed to use the markup language Sad Lion Markup Language, the description and use of which is given in the article.

Keywords: user interfaces, C++, mobile development, markup languages

For citation: Melnikov V. A., Yermolenko A. V. Development of XML-based Markup Language. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 61–73. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_61

© Melnikov V. A., Yermolenko A. V., 2022.

Язык разметки SadLion Markup Language

Вадим Андреевич Мельников[1], **Андрей Васильевич Ермоленко**[2]

[1,2] Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина

Аннотация. Современные подходы в области разработки программного обеспечения (ПО) предполагают не только функциональность разрабатываемого продукта, но и удобство, понятность и привычность интерфейсов. На сегодняшний день разрабатываемое ПО может использоваться на различных устройствах, с различными конфигурациями, а также пользователям может быть необходим другой язык для работы с ПО. Для решения вопроса универсальности в области 2D-игр предлагается подход, использованный при разработке пользовательского интерфейса игрового движка Sad Lion Engine. В рамках данного подхода предполагается использовать язык разметки Sad Lion Markup Language, описание и использование которого приведено в статье.

Ключевые слова: пользовательский интерфейс, Си++, разработка мобильных приложений, языки разметки

Для цитирования: Melnikov V. A., Yermolenko A. V. Development of XML-based Markup Language // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 61–73. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_61

Introduction

The user interface is just important as a program code. According to the developers' estimates, the end user first of all pays attention to the program interface, and not to its functionality. Therefore, the special attention is always given to the questions of interface.

After the first version of Unix appeared in 1969, programs were designed to work in text-based terminals, and a text-based interface was the norm. In the mid-80s, graphical user interfaces began to appear (hereinafter GUI), the development of which from the early 70s was carried out by Xerox Palo Alto Research Center. This research center influenced the development of the Apple Macintosh interface, and through it, the Microsoft Windows interfaces [1].

Today it is necessary not only to create a user interface for the program, but also to design it taking into account internationalization, because most modern programs are localized into many different languages. And when developing for mobile devices, it is also necessary to take into account the existence on the market of devices with different screen ratios, since in addition to the already familiar 9:16 ratio, which is widespread among phones, and 3:4, used for tablets, there is also a 9:19.5 ratio for smartphones Apple iPhone X[1].

Various methods of layout development are used to create user interfaces on mobile devices. One of the easiest ways is to use the built-in browser engine (usually such a component is called WebView) and write code using JavaScript and HTML, which allows Apache Cordova [2]. But this approach will lead to the fact that the application will be initially slow, annoying users. The second way is to create native Android [3] and iOS [4] apps using standard layout tools or cross-platform Xamarin [5]. Both ways have similarities and are all very similar to the older Windows Presentation Foundation (WPF) technology [6]. At first glance, it may seem that the technology that will be described below reinvents HTML and JS, but it should be noted that for using HTML and JS on rather weak (compared to PCs based on x86 architecture) mobile platforms, it leads to an increase in power consumption and a decrease in performance applications. Nikolay Armonik in his report "How we made the biggest game on Defold in 1 year" at the DevGAMM Moscow 2018 conference gives figures on the performance of their application: 20-40 % of the frame time is taken by the execution of Lua scripts, Lua is interpreted language like JavaScript and they are comparable in performance. Ditcing interpreted languages and writing all the logic in C ++ greatly improves application performance.

The native development approach forces developers to maintain several completely incompatible codebases — one in Java or Kotlin for Android, and one in Objective-C or Swift for iOS in the case of mobile applications. If you're developing for Windows, you'll need to add the UWP. Part of the problem is solved by using Xamarin Forms [5], which allow you to generalize most of the code and only in special cases write code using Xamarin Native.

The Flutter [7] technology stands apart, in which the native elements of the user interface are not used, but the elements are drawn immediately on

[1]According to sites: https://deviceatlas.com/blog/most-used-smartphone-screen-resolutions, https://www.apple.com/ru/newsroom/2017/09/the-future-is-here-iphone-x/

the screen using Skia[2] – the Google vector graphics library. The approach is quite similar to designing interfaces in games. Flutter uses the Dart language for programming, which is focused on Web applications and UI, just like JavaScript. Dart is not as powerful as C++, and in games, performance is critical.

The given review of the modern approach to the creation of interfaces shows that the demanded task is to create universal, easily programmable interfaces that adjust to various devices and screens, with different aspect ratios. To solve this problem, it is proposed to use the Sad Lion Engine (SLE) game engine (SLE) [8] user interface, created with the help of C++, based on the developed markup language for maximum application performance. Accordingly, the purpose of the article is to describe the capabilities of the developed interface of the SLE game engine. It should be noted that there is a powerful framework Qt [9] for developing applications for PCs and mobile platforms, but it was not initially considered due to the prohibitive cost for a small development studio.

This approach is applicable both to business applications and to any games (2D, 3D, AR, VR), since even in 3D games, the interface remains a 2D texture placed in space.

A review of publications in scientific and technical literature proves that, despite the rapid development of programming languages and environments, mobile game developers face a fairly large number of various difficulties when creating game applications and interfaces. For example, general problems of game design, including the development of mobile applications, are raised in [10; 11]. Developers are considering different approaches to solving problems related to interfaces. In [12], the authors present the XVGDL language for describing games, based on the extensible markup language XML, while emphasizing the universality of XVGDL, describing the syntax and components of XVGDL, and examples of their use. In the study in [13], the authors present an approach for the automated creation of classic multiplayer 2D games based on Android, based on the concept of model-based engineering. The development of lightweight performance game engines also remains a popular trend. However, this raises questions of their development, the introduction of new technologies and the functionality provided by modern and promising devices [14].

[2]https://skia.org/ – Skia vector graphics library site.

First version of markup language made for Unity3D

The first version of Sad Lion Markup Language (SLML) ran entirely within Unity3D. The creation of the interface was based on the component system [10] and a set of components of the Unity3D engine itself. Application lifecycle was also based on Unity3D [11]. The emergence of SLML in Unity3D is justified by the complexity of creating a high-quality adaptive interface using standard engine tools. It is quite difficult to align UI elements so that they look good on different screen ratios.

The emergence of SLML and SLE began with a solution to the problem of large executable file sizes. When using sprites, Unity3D embed them in an unpacked executable file, which led to a large increase in the size of the application. With further development, it was revealed that adding new objects also leads to a strong increase in the size of the executable file. To solve this problem with sprites, a special tool was made for creating atlases in PNG files. Solving the problem with objects required creating our own system for creating objects in the scene, bypassing Unity3D, and this was the reason for the appearance of SLML.

SLML does not create objects in advance, all descriptions are stored in XML files, objects are set on the fly when the game starts. This approach made it possible to avoid embedding the code of objects in the binary code, instead, they are generated according to the description from the XML file as needed.

In SLE, scaling occurs after all objects are created. In Unity3D, the game is executed within the Awake-Start-Update cycle, which leads to the following problem: it is necessary to create objects in the framework, in which there is no possibility to create before the cycle starts. Also, adjusting the width-height using anchors in Unity3D is not very convenient.

The difficulties described above indicated the need to develop our own SLE core.

Implementation within SLE

SLML is based on XML [17]. As part of SLE, the problems related to the life cycle of an application in Unity3D were solved, the life cycle of SLE involves the complete creation of a component tree before the first call to Awake of any of the components specified in the XML file. Using the Skia library allowed adding a number of new functions to the user interface system.

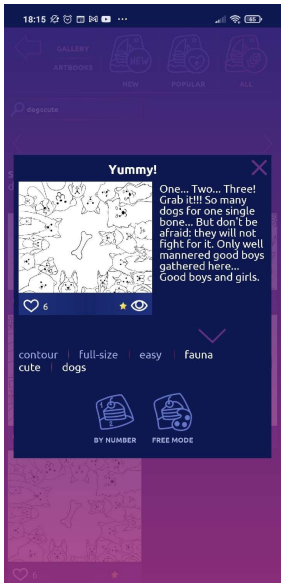


Fig. 1. Screen with aspect ratio 9:16

The main idea of SLML is to use an adaptive layout, in which several (usually three) layouts are initially set up and then the user interface is interpolated based on one of the existing layouts. If there is a relationship for which high-quality interpolation does not work, then it can be implemented separately without affecting the engine itself.

Let's show the advantages of SLE on the example of the Big Coloring Book[3] project, using a form layout made for one and two ratios. In the current version of SLML, additional layouts are obtained using variables stored in a JSON file and substituted during parsing of XML files.

Let's take an aspect ratio close to 9:16 (Xiaomi Redmi 4X) as a basis, the result is shown in Fig. 1. Fig. 2 shows how the interface will look in a ratio close to 3: 4 (DEXP E170), obtained by proportionally scaling the interface created for a ratio of 9:16. Immediately, a strong violation of proportions is noticeable, the pop-up window is much larger in width than in height, and the elements also begin to run over each other.

Fig. 3 shows the result obtained using a separate 3:4 ratio. This approach allowed us to obtain a better result for each aspect ratio, the proportions of elements and the distances between them are preserved. According to professional designers, in this case, with the help of optical alignment, the image becomes visually balanced and harmonious for the user to perceive

[3]App in the Google Play store — https://play.google.com/store/apps/details?id=sadlion.games.bigcoloringbook.

Fig. 2. Screen with aspect ratio 3:4, obtained by scaling from layout with aspect ratio 9:16

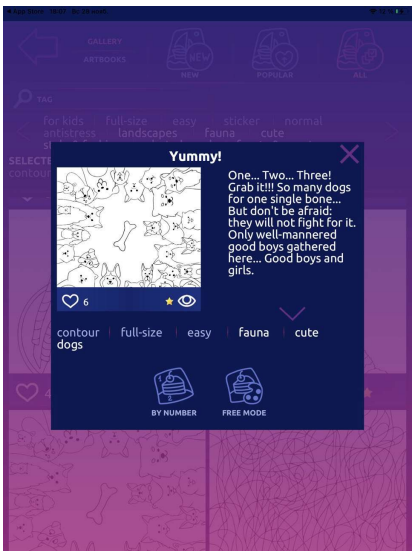


Fig. 3. Screen with aspect ratio 3:4

at an intuitive level. The block with the text has enough free space around it and is related from the point of view of visual ergonomics. If the ratio of the sides is not from the list of those implemented in advance, then proportional scaling from the closest ratio will occur. This allows you to take into account the specifics of the screen ratio, large width and vice versa, height, and position the interface elements more accurately.

Within the SLM, there are several main tags that provide basic functionality:

- *Form* is the root tag for layout file;
- *Row* is a tag of row which takes all width and given height of parent, rows are placed one after another;
- *Col* is a tag of column which takes the given width and all height of parent, columns are placed one after another;
- *Layer* is a tag of layer, which takes all space of parent and placed in point (0, 0) regarding the parent, layers overlap each other;
- *Button* is a tag of button, which gives opportunity to handle user gestures like taps and moves of finger;
- *Image* is a raster sprite;
- *Text* is a one-line text;

Let's now look at the most important attributes for tags:

- *width* – in the case of the Form tag, it can only have an absolute value in pixels, it sets the screen width, in the case of the rest Col can be expressed as a percentage and sets the column width, in other cases it is ignored;
- *height* – in the case of the Form tag, it can only have an absolute value in pixels, sets the screen height, in the case of the rest, Row can be expressed as a percentage and sets the row height, in other cases it is ignored;
- *name* – sets the string name of the object, by which it can be found from C++ code;
- *aspectRatioFitter* – the way to control aspect ratio of object, now only FitInParent is supported;
- *components* – attribute, which contains names of components, which must be connected to the object, in C# version this was made with the reflection, in C++ this is done by register of object instantiators;

- *text* – string attribute which sets the value to tag Text;
- *group onUp, onDown, onClick* – attributes of button events, which store names of events handlers. This functionality is realized with the register of event handlers in each form;
- *sprite* – string constants in format "atlas/index", where atlas is name of the atlas and index is number of the sprite in the atlas.

This is a list of the main attributes, the rest of the attributes only provide visual effects such as gradients, frames, etc. They are of interest only for documentation purposes. Below is an example source code snippet for the Big Coloring Book project:

```
<Row height="24.5">
  <Col color="255/0/255/0">
  <Text name="txtMyWorks"
    font-size="28"
    font="Ubuntu-Bold"
    color="+/lightBlue"/>
  </Col>
</Row>
```

Conclusion

After switching from Unity3D to Xamarin C# [8], the functionality of the engine and SLML was increased, the lifecycle was adapted to the requirements of SLE and SLML, and the loading speed of applications increased greatly.

After switching to C++, performance has increased significantly, but the flexibility and ease of C# development has been lost. In C++, there is no reflection and all components and handlers have to be registered manually, and the Android Studio IDE also leaves much to be desired in terms of performance compared to Visual Studio from Microsoft: it takes a long time to compile, the debugger is unstable (while working with a smartphone xiaomi redmi 4, the debugger is disabled at the point stops), slow hints on possible function names (and with an application size of 20 thousand lines, it is impossible to keep everything in memory), but Xamarin C# did not have sufficient stability.

The SLML language is in constant development and continues to change along with SLE, from the last changes we note the functions concerning the

positioning of objects and the displacement of adjacent ones when the height of one of the objects changes.

Список источников

1. **Rago A. S., Stevens W. R.** Advanced programming in the UNIX environment. Addison-Wesley Professional, 2013. 1032 p.

2. **Camden K. R.** Apache Cordova In Action. Shelter Island: Manning, 2016. 230 p.

3. **Thornsby J.** Android UI design. Birmingham: Packt Publishing, 2016. 356 p.

4. **Bennett G., Kaczmarek S., Lees B.** Swidt 4 for Absolute Beginners. Phoenix: Apress, 2018. 317 p.

5. **Petzold C.** Cross-platform C# programming for iOS, Android and Windows. Redmond, Washington: Microsoft Press, 2013. 1161 p.

6. **Petzold C.** Applications = Code + Markup. A Guide To the Microsoft Windows Presentation Foundation. Redmond: Microsoft Press, 2006. 1002 p.

7. **Windmill E.** Flutter in Action. Shelter Island: Manning, 2020. 368 p.

8. **Мельников В.А.** Процесс разработки движка для 2D-игр и интерфейсов Sad Lion Engine // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер.1: Математика. Механика. Информатика*, 2019. Вып. 4 (33). С. 21–37.

9. **Dogsa T., Meolic R.** A C++ App for Demonstration of Sorting Algorithms on Mobile Platforms // *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 2014 Vol. 8, No 1. URL: https://www.online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/3464/2940 (дата обращения: 17.07.2020).

10. **Cao J., Cao Y.** Application of human computer interaction interface in game design // *Communications in Computer and Information Science*, 2017, 714, pp. 103–108. DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0_16.

11. **Zaina L. A. M., Fortes R. P. M., Casadei V., Nozaki L. S., Paiva D. M. B.** Preventing accessibility barriers: Guidelines for using user interface design patterns in mobile applications // *Journal of Systems and Software*, 2022, vol. 186. DOI: 10.1016/j.jss.2021.111213.

12. **Quinones, J. R., Fernandez-Leiva, A. J.** XML-Based Video Game Description Language // *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 4679-4692. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962969.

13. **Derakhshandi M., Kolahdouz-Rahimi S., Troya J., Lano K.** A model-driven framework for developing android-based classic multiplayer 2D board games // *Automated Software Engineering*, 2021, 28 (2). DOI: 10.1007/s10515-021-00282-1.

14. **Park, H. C., Baek, N.** Design of SelfEngine: A Lightweight Game Engine // *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, vol. 621, pp. 223–227. DOI: 10.1007/978-981-15-1465-4_23.

15. **West M.** Evolve your hierarchy [Online] // Cowboy Programming. URL: http://cowboyprogramming.com/2007/01/05/evolve-your-heirachy/ (дата обращения: 22.08.2020).

16. **Hocking J.** Unity in action: Multiplatform game development in C#. Manning, 2018. 400 p.

17. **Lisovsky, K.Y.** XML Applications Development in Scheme // *Programming and Computer Software 28*, pp. 197–206 (2002). https://doi.org/10.1023/A:1016319000374

References

1. **Rago A. S., Stevens W. R.** *Advanced programming in the UNIX environment.* Addison-Wesley Professional, 2013. 1032 p.

2. **Camden K. R.** *Apache Cordova In Action.* Shelter Island: Manning, 2016. 230 p.

3. **Thornsby J.** *Android UI design.* Birmingham: Packt Publishing, 2016. 356 p.

4. **Bennett G., Kaczmarek S., Lees B.** *Swidt 4 for Absolute Beginners.* Phoenix: Apress, 2018. 317 p.

5. **Petzold C.** *Cross-platform C# programming for iOS, Android and Windows.* Redmond, Washington: Microsoft Press, 2013. 1161 p.

6. **Petzold C.** *Applications = Code + Markup. A Guide To the Microsoft Windows Presentation Foundation.* Redmond: Microsoft Press, 2006. 1002 p.

7. **Windmill E.** *Flutter in Action.* Shelter Island: Manning, 2020. 368 p.

8. **Melnikov V. A.** Development Process of game engine core for 2D games and interfaces Sad Lion Engine. *Vestnik Syktyvkarskogo universiteta. Ser.1: Matematika. Mexanika. Informatika* [Bulletin of Syktyvkar University. Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics], 2019, 4 (33), pp. 21–37. (In Russ.)

9. **Dogsa T., Meolic R.** A C++ App for Demonstration of Sorting Algorithms on Mobile Platforms. *International Journal of Interactive Mobile Technologies.*, 2014. Vol. 8, No 1. Available: https://www.online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/3464/2940 (accessed: 17.07.2020).

10. **Cao J., Cao Y.** Application of human computer interaction interface in game design. *Communications in Computer and Information Science*, 2017, 714, pp. 103–108. DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0_16.

11. **Zaina L. A. M., Fortes R. P. M., Casadei V., Nozaki L. S., Paiva D. M. B.** Preventing accessibility barriers: Guidelines for using user interface design patterns in mobile applications. *Journal of Systems and Software*, 2022, vol. 186. DOI: 10.1016/j.jss.2021.111213.

12. **Quinones, J. R., Fernandez-Leiva, A. J.** XML-Based Video Game Description Language. *IEEE Access*, 2020, vol. 8, pp. 4679–4692. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2962969.

13. **Derakhshandi M., Kolahdouz-Rahimi S., Troya J., Lano K.** A model-driven framework for developing android-based classic multiplayer 2D board games. *Automated Software Engineering*, 2021, 28 (2). DOI: 10.1007/s10515-021-00282-1.

14. **Park, H. C., Baek, N.** Design of SelfEngine: A Lightweight Game Engine. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020, vol. 621, pp. 223–227. DOI: 10.1007/978-981-15-1465-4_23.

15. **West M.** Evolve your hierarchy [Online] *Cowboy Programming.* Available: http://cowboyprogramming.com/2007/01/05/evolve-your-heirachy/ (accessed: 22.08.2020).

16. **Hocking J.** *Unity in action: Multiplatform game development in C#.* Manning, 2018. 400 p.

17. **Lisovsky, K.Y.** XML Applications Development in Scheme. *Programming and Computer Software 28*, 197–206 (2002). https://doi.org/10.1023/A:1016319000374

Сведения об авторах / Information about authors
Вадим Андреевич Мельников / Vadim A. Melnikov
аспирант / postgraduate student
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Андрей Васильевич Ермоленко / Andrey V. Yermolenko
к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и компьютерных наук / Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Head of Department of Applied Mathematics and Computer Science
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 12.03.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 24.03.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 25.03.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Научная статья

УДК 519.8
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_74

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УЧИТЕЛЯ МАТЕМАТИКИ В ВУЗЕ

Лидия Васильевна Павлова
Псковский государственный университет, pavlovalida@mail.ru

Аннотация. Сегодня система образования стремительно претерпевает изменения, к которым должны быть готовы будущие учителя. Следовательно, их подготовка в вузе не может оставаться такой же, как 10 и даже 5 лет назад, и требует пересмотра и адаптации к современным требованиям и запросам общества.

Профессиональная подготовка будущего учителя математики предполагает предметную и методическую подготовку. При этом качество предметной подготовки в вузе зависит от уровня владения школьной математикой. Однако многие первокурсники испытывают ряд трудностей, которые отмечают исследователи и были выявлены нами в ходе проведения контрольных работ по школьному курсу математики и опроса студентов первого курса института математического моделирования и игропрактики ПсковГУ.

Выявленные проблемы и трудности были учтены при разработке программы дисциплины «Вводный курс математики», который направлен на повторение и изучение материала, необходимого для успешного изучения вузовского курса математики.

В статье представлена методика преподавания элементарной математики (на примере раздела «Тригонометрия») будущим учителям математики, особенностью которой является включение методических аспектов в процесс обучения. Это позволяет не

© Павлова Л. В., 2022.

только сформировать предметные знания по тригонометрии, но и показать студентам, как нужно обучать школьников в современных условиях, например, при дистанционном или смешанном формате обучения.

Предложенная методика показала положительные результаты.

Ключевые слова: вводный курс математики, элементарная математика, школьный курс математики, дистанционный курс, самостоятельное изучение, тригонометрия

Для цитирования: Павлова Л. В. Методика преподавания элементарной математики при подготовке учителя математики в вузе // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 74–89. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_74

Methodical materials

Original article

Methods of teaching elementary mathematics in preparation a mathematics teacher at a university

Lydia V. Pavlova
Pskov State University, pavlovalida@mail.ru

Abstract. Today, the education system is rapidly undergoing changes that future teachers should be ready for. Consequently, their training at the university cannot remain the same as 10 or even 5 years ago and requires revision and adaptation to modern requirements and demands of society.

The professional training of a future mathematics teacher involves subject and methodological training. At the same time, the quality of subject training at the university depends on the level of proficiency in school mathematics. However, many first-year students are experiencing a number of difficulties, which the researchers note and which were identified by us during the control work on the school mathematics course and the survey of first-year students of the Institute of Mathematical Modeling and Igropractic Pskov State University.

The identified problems and difficulties were taken into account when developing the program of the discipline «Introductory Course

of Mathematics», which is aimed at repeating and studying the material necessary for the successful study of the university course of mathematics.

The article presents the methodology of teaching elementary mathematics (using the example of the section «Trigonometry») to future teachers of mathematics, the feature of which is the inclusion of methodological aspects in the learning process. This allows not only to form subject knowledge on trigonometry, but also to show students how to teach schoolchildren in modern conditions, for example, with distance or mixed learning format.

The proposed method has shown positive results.

Keywords: introductory mathematics course, elementary mathematics, school mathematics course, distance learning course, independent study, trigonometry

For citation: Pavlova L. V. Methods of teaching elementary mathematics in preparation a mathematics teacher at a university. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 74–89. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_74

Введение

Подготовка будущих учителей-предметников включает предметную и методическую составляющие, каждая из которых является важным и неотъемлемым звеном вузовского образования. При этом обе составляющие неразрывно связаны между собой, и качественно сформировать только одну из них невозможно. Профессиональная подготовка будущего учителя складывается из изучения им предметов общепрофессионального, предметного (по соответствующему профилю подготовки), методического и специального циклов.

Одной из дисциплин предметного цикла по профилю «Математика» является «Элементарная математика». Целью изучения дисциплины, прописанной в рабочей программе, например, для направления подготовки Педагогическое образование (по профилю «Математика», с двумя профилями подготовки «Информатика и Математика»), является повторение, систематизация и углубленное изучение основных разделов школьного курса математики.

Выделены следующие основные задачи дисциплины:

- повторение теоретического материала школьного курса математики;
- изучение методов равносильных преобразований выражений и решения различных видов уравнений и неравенств;
- решение сюжетных, практических и других текстовых задач;
- повторение теоретического материала школьного курса геометрии и методов решения задач;
- повторение и систематизация материала школьного курса по разделу «Тригонометрия», методов преобразования выражений, решения уравнений и неравенств;
- изучение видов и решение заданий повышенного уровня сложности по разделам школьного курса математики;
- подготовка к изучению вузовского курса математики [1].

Изучая математические дисциплины вузовского курса, студенты переходят на новый уровень восприятия теоретического материала, более научный, что отличается от изучения школьного курса математики. Решение более сложных задач также способствует изменению подхода к приложению теоретических знаний к решению задач. Студенты перестают обосновывать каждый шаг в ходе решения, ссылаться на определения и теоремы, а для будущего учителя математики – это важные навыки, которых требует методическая подготовка. Именно поэтому важно не забыть материал школьного курса математики, а также школьные методы решения задач по разным темам.

Материалы и методы. Сегодня многие исследователи, преподаватели вузов отмечают, что первокурсники испытывают трудности в изучении вузовского курса математики из-за недостаточной школьной математической подготовки. Например, С. А. Севостьянова, Е. О. Шумакова, Е. В. Мартынова [2] отмечают, что «уровень математической подготовки выпускников школ недостаточен для усвоения программы математических дисциплин, понимания логики математики и абстрактного изложения материала».

Проведение опроса и входных контрольных работ по школьному курсу для студентов первого курса показало, что есть пробелы в знаниях, которые затрудняют изучение дисциплин вузовского курса математики.

Первокурсники сами выделяют следующие проблемы: неготовность работать самостоятельно при повторении и изучении теоретического материала; отсутствие навыков устного счета и нахождения значений сложных числовых выражений; неумение «видеть» формулы; отсутствие навыков построения наглядных геометрических чертежей; недостаточность знаний по таким темам, как: функция и ее свойства, модуль, решение неравенств, методы доказательств и решение задач на доказательство, тригонометрия и другие. Анализ входных контрольных работ в течение последних четырех лет позволил выделить следующие группы проблем, которые пересекаются с указанными студентами в ходе опроса:

- ошибки вычислительного характера (работа с дробями: приведение к обыкновенным дробям, к общему знаменателю; работа со степенями, корнями и др.);
- отсутствие функциональных навыков (неумение исследовать функцию и строить ее график, незнание свойств элементарных функций, неумение работать с графиками);
- отсутствие навыков проведения равносильных преобразований, работы с формулами;
- незнание методов доказательств при изучении теорем и решении задач;
- ошибки при работе с модулем.

И это не весь список проблем. Например, многие проблемы у иностранных студентов возникают из-за разницы школьных учебных программ и языкового барьера.

Авторы статей [2–4] также указывают ряд проблем, которые связаны как с низким уровнем знаний по школьной математике, так и изучением разделов элементарной математики в вузе: сокращение аудиторных часов, отсутствие консультирования при самостоятельном изучении материала, переход на дистанционное и смешанное обучение и другие.

Учитывая, что выделенные проблемы затрудняют изучение вузовских математических дисциплин, необходимо найти способ устранения пробелов в знаниях первокурсников. Поэтому для студентов первого курса педагогических направлений разработана дисциплина «Вводный курс математики», целью изучения которой является актуализация знаний школьного курса математики, необходимых для успешного изучения вузовского курса математики [5].

И. В. Дробышева, Ю. А. Дробышев в статье «Модель проектирования вводного курса математики» [3] обосновывают важность изучения данной дисциплины первокурсниками, а также предлагают свою модель проектирования курса.

В институте математического моделирования и игропрактики Псковского государственного университета данная дисциплина включает три модуля:

Адаптационный. В рамках этого модуля студентам предлагается входная контрольная работа, которая включает задания по следующим темам: арифметика, проценты, теория делимости, формулы сокращенного умножения, уравнения и неравенства, сюжетная задача. Результаты работы анализируются, выделяются проблемы, проводятся консультации по каждой из тем и предлагаются материалы для повторения и систематизации знаний. Для каждого студента составляются индивидуальные рекомендации по повторению конкретных тем школьной математики, предлагается список литературы для самостоятельного изучения и задания для самостоятельного решения. Преподаватель назначает даты консультаций, где обучающиеся могут задать вопросы, получить рекомендации.

Теоретический. Данный модуль включает теоретическое изучение следующих тем: предложения языка математики, множества, модуль, функция и ее свойства, элементарные функции, методы доказательств в математике. Студентам читаются лекции, где представлен теоретический материал и разбираются примеры задач с подробными решениями, после чего они сдают устный зачет по данным темам.

Практический. Занятия практического модуля направлены на отработку умений и навыков решения задач по темам лекционных занятий. На практических занятиях решается достаточное число задач по каждой из тем, все задания подробно разбираются на доске как самим преподавателем, так и студентами. Первокурсники получают домашние задания, индивидуальные задания (например, по теме «Исследова-

ние функции и построение графика»), а также пишут проверочные и итоговую контрольные работы.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Вводный курс математики» является экзамен. Отметка может быть выставлена студенту по рейтингу (на усмотрение преподавателя). Студенты, которые не согласны с результатами рейтинга или не выполнившие все требования по изучению дисциплины, сдают экзамен в традиционной форме — по билетам. Вопросы к экзамену и примеры задач выдаются студентам заранее.

Учитывая ограничения, введенные из-за Covid-19 в 2020–21 и 2021–22 учебных годах, изучение дисциплины сопровождалось дистанционным курсом, размещенным на платформе LMS Modlle СДО ПсковГУ (do3.pskgu.ru). Все презентации к лекциям, а также список рекомендуемой литературы размещались в дистанционном курсе. Лекции проходили в формате онлайн-конференций, делались их записи и в курсе размещались ссылки (для студентов, которые не могли присутствовать на лекции или желающих повторить материал). Это позволяет обеспечить возможность каждому студенту изучать теоретический материал. Задания практической части с примерами решений также представлены в дистанционном курсе, студенты могут выполнить задания и загрузить ответ для проверки.

О важности и необходимости дистанционной поддержки пишут сегодня многие исследователи, например М. М. Бостанова, З. К. Джаубаева, М. Б. Узденова, М. Ю. Кочегурная [6; 7]. Авторы высказывают мнение, что современный учитель-предметник должен не только владеть знаниями и умениями в рамках предмета, но и «уметь подавать его в дистанционной форме», а также предлагают эффективные, по их мнению, средства организации обучения в дистанционном формате.

Изучение дисциплины «Вводный курс математики» помогает студентам осваивать курс математического анализа, который начинается с изучения функции, предела функции, исследования функции, а также алгебры и геометрии. Однако основная подготовка в рамках математики школьного курса происходит при изучении различных разделов дисциплины «Элементарная математика». В табл. 1 представлены разделы, тематика и семестры реализации для студентов, получающих образование по двум профилям подготовки (Информатика и Математика; Математика и Физика).

Таблица 1

Тематическое планирование дисциплины «Элементарная математика»

№ п/п	Наименование раздела	Содержание раздела	Семестр
1	Уравнения и неравенства	Теория равносильных преобразований. Алгебраические уравнения и неравенства. Метод интервалов. Рациональные уравнения и неравенства. Иррациональные уравнения и неравенства. Показательные и логарифмические уравнения и неравенства. Уравнения и неравенства с модулем	5
2	Текстовые задачи	Задачи на движение. Задачи на совместную работу. Задачи на сплавы и смеси. Задачи на числовые зависимости. Задачи на прогрессии	6
3	Планиметрия	Основные аксиомы планиметрии. Взаимное расположение прямых на плоскости. Основные теоремы планиметрии. Треугольник. Виды треугольников. Решение треугольников. Прямоугольный треугольник. Основные свойства треугольника и теоремы. Четырехугольники и их свойства (квадрат, ромб, трапеция, прямоугольник, параллелограмм). Окружность, вписанная и описанная, основные свойства окружности и теоремы. Нахождение площадей фигур. Симметрия, подобие	7
4	Стереометрия	Аксиомы стереометрии и основные понятия. Взаимное расположение прямых и плоскостей в пространстве. Основные теоремы и свойства. Свойства пространственных тел (куб, параллелепипед, конус, цилиндр, шар). Нахождение объемов и площадей поверхности тел	8
5	Тригонометрия	Формулы тригонометрии. Формулы приведения. Преобразования тригонометрических выражений. Тригонометрические уравнения и неравенства. Системы тригонометрических уравнений и неравенств. Обратные тригонометрические функции. Смешанные уравнения и неравенства	9

Все разделы дисциплины также представлены на платформе дистанционного обучения ПсковГУ и содержат всю необходимую информацию и материалы, позволяющие студентам готовиться самостоятельно, отрабатывать пропущенные занятия, поддерживать обратную связь с преподавателем и другими студентами группы. На рис. 1 представлен курс по тригонометрии.

Лекционные занятия по разделам «Элементарной математики» направлены не столько на сообщение готовых знаний, сколько на организацию повторения теоретического материала школьной математики. Студенты получают индивидуальные задания, где им нужно подготовить материал по конкретной теме и выступить на занятии у доски, объясняя этот материал, как учитель математики. Дополнительную информацию по теме сообщает преподаватель: особенности изучения темы; нюансы, на которые следует обращать внимание при изучении теории; методы решения задач, которые можно применять в теме. Так-

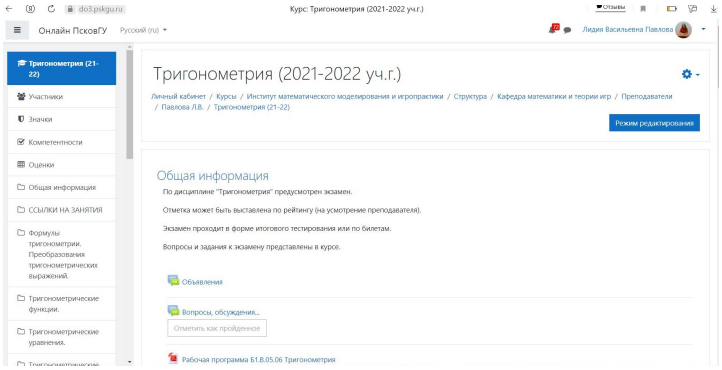


Рис. 1. Дистанционный курс по тригонометрии

же преподаватель рассматривает разные задачи в каждой изучаемой теме, приводит способы их решения, показывает наиболее часто допускаемые ошибки в решениях, рациональные методы решения. Большее внимание уделяется задачам повышенного уровня сложности и систематизации методов решений.

Рассмотрим более подробно методику обучения на примере раздела «Тригонометрия». Особенностью методики обучения будущих учителей математики является формирование глубоких теоретических знаний по тригонометрии и методических умений, позволяющих объяснять этот материал школьникам. Свою методику обучения тригонометрии описывает Н. И. Попов [8], отмечая при этом, что самое главное — это «усвоение обучаемыми фундаментальных математических знаний по изучаемому разделу».

В ПсковГУ обучение построено следующим образом.

Первое лекционное занятие является вводным: проводится опрос студентов о сложностях изучения данного раздела, повторяются основные понятия по теме, ставятся задачи и выдаются индивидуальные задания по подготовке теоретического материала.

При повторении теоретического материала важно, чтобы будущие учителя математики умели выводить формулы тригонометрии. Поэтому каждый студент получает формулу или блок формул, изучает вывод и представляет его у доски на занятии. Обучающиеся группы разбираются в представленном материале, могут задавать вопросы и записывают в тетрадь, так как это будет один из вопросов на экзамене. Опыт показывает, что сообщение готового знания на лекциях делает процесс обучения малоинтересным и непродуктивным, а активное участие раз-

Таблица 2

Способ запоминания значений тригонометрических функций

Угол	$\sin\alpha$	$\cos\alpha$
0°	$\frac{\sqrt{0}}{2}$	$\frac{\sqrt{4}}{2}$
30°	$\frac{\sqrt{1}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{1}}{2}$
90°	$\frac{\sqrt{4}}{2}$	$\frac{\sqrt{0}}{2}$

вивает творчество, мышление и формирует необходимые профессиональные навыки, а также «познавательную самостоятельность» [9].

Важным умением является работа с тригонометрическим кругом: умение находить любые углы и определять в них значения функций; понимать, какая ось координат связана с синусом, а какая с косинусом. Нужно донести до будущих учителей математики, что существуют методы «простого» запоминания, мнемонические правила, которые позволят запоминать информацию более легко и даже тем, кому сложно дается заучивание. Например, основные значения тригонометрических функций можно легко воспроизвести таким образом (табл. 2).

Заполнять столбец для синуса начинаем сверху, а для косинуса – снизу. Значения тангенса и котангенса легко получить делением значений синуса на косинус или косинуса на синус, при этом не забываем отметить, где эти функции не существуют.

Часто студенты не понимают, как работать с формулами приведения, считая, что нужно выучить таблицу с этими формулами. Для некоторых, становится открытием, что алгоритм прост: 1) определить четверть на тригонометрическом круге, куда попадает заданный угол; 2) определить знак (+ или –) функции (синуса, косинуса, тангенса, котангенса) в этой четверти и поставить его перед итоговой функцией; 3) определить, целое или нет значение π указано под знаком функции; 4) если значение π целое ($\pi \pm \alpha, 2\pi \pm \alpha, \ldots$), то функция не меняется, если не целое $\left(\frac{\pi}{2} \pm \alpha, \frac{3\pi}{2} \pm \alpha, \ldots\right)$ — функция меняется (синус на косинус, косинус на синус, тангенс на котангенс и наоборот).

Преподаватель организует повторение методов решения тригонометрических уравнений и неравенств, которые изучаются в школе, а также знакомит студентов с новыми, нестандартными, универсальными методами решения, например введением вспомогательного угла, особыми видами замен, универсальной подстановкой. Создается банк решенных уравнений и неравенств по видам и способам решения.

Особое внимание нужно уделять обратным тригонометрическим функциям, рассматривать различные задания и методы их решения, так как в школьном курсе этой теме уделяется мало внимания. Распространенная ошибка, которую допускают многие студенты: при изображении графика обратных тригонометрических функций изображают, например, синусоиду вдоль оси ординат, не ограничивая ее по области значения. Важно объяснить, почему графиком обратной тригонометрической функции является только часть синусоиды: этого требует определение функции, в котором говорится, что «...каждому значению аргумента соответствует единственное значение функции». Полезно предложить задания, где нужно строить графики, работать с ними, например, решить графически уравнения или определить число решений, найти точки пересечения графиков функций.

Приведем пример заданий, которые вызвали затруднения почти у всех студентов: Задание 1. Доказать, что а) если $-1 \leq x \leq 1$, то $\arcsin x = \operatorname{arctg} \dfrac{x}{\sqrt{1-x^2}}$; б) $2 \operatorname{arctg} \dfrac{1}{4} + \operatorname{arctg} \dfrac{7}{23} = \dfrac{\pi}{4}$.

Задание 2. Решить уравнение: $\arcsin \dfrac{3x}{5} + \arcsin \dfrac{4x}{5} = \arcsin x$ [4].

Решение таких заданий необходимо подробно рассмотреть на занятии или разработать материалы с примерами и алгоритмами решения, дополнив их заданиями для самостоятельной работы.

В ходе изучения тригонометрии происходит повторение теоретического материала на занятиях, разбираются основные виды задач и методы их решения. Однако выделить достаточное количество часов на изучение этой темы не удается, и в связи с этим были выделены следующие группы заданий: 1) свойства и графики обратных тригонометрических функций; 2) преобразования выражений; 3) доказательства равенств и тождеств; 4) решение уравнений и их систем. По каждой группе разработаны материалы, которые содержат: теоретический материал, примеры заданий с подробными решениями и алгоритмами, задания для самостоятельного решения, список рекомендуемой литературы, ссылки на интернет-источники. Эти материалы размещены в дистанционном

курсе в форме презентации или документа, которые студенты могут просмотреть и изучить, задать вопросы преподавателю в чате или на консультации.

Будущие учителя математики должны уметь качественно готовить школьников к итоговым экзаменам. Во второй части ЕГЭ встречается комбинированное уравнение или неравенство, где необходимо знание в том числе и тригонометрии. Поэтому студенты получают индивидуальное задание, где они должны подобрать комбинированные уравнения, решить их и составить небольшой сборник с рекомендациями по решению.

Можно предлагать студентам повторить материал с помощью массовых открытых онлайн-курсов (MOOK), например, различные виды уравнений и неравенств школьного курса математики хорошо представлены в курсе «Уравнения» на платформе Stepik (https://stepik.org/course/4938/promo).

По каждому разделу предусмотрена промежуточная аттестация в форме зачета с оценкой или экзамена. Вопросы, примеры заданий и билетов выдаются студентам заранее. До зачета или экзамена допускаются студенты, которые выполнили требования, прописанные в рабочей программе дисциплины (например, написали все проверочные или контрольные работы), также отметка может быть выставлена по рейтингу.

Проверить уровень знаний студентов в рамках школьного курса математики позволяют итоговые контрольные работы по каждому разделу элементарной математики, а также контрольные работы по школьному курсу математики, которые проводятся для каждого курса один раз в год. Эти работы позволяют видеть изменения уровня знаний школьной математики каждого студента в течение всего процесса обучения в вузе.

Результаты

Заметим, что на повышение уровня знаний по программе школьного курса математики в большой степени влияют и вузовские математические дисциплины, которые дают научные знания по предмету, дополнительные методы решения задач, формируют целостное представление о математике и, наряду с методическими дисциплинами, позволяют стать профессионалом в области преподавания математики в школе. Изучение методики обучения математике невозможно полноценно без владения студентом хорошими знаниями по курсу школьной математики.

Итак, выделим основные положения, которые применяются при подготовке будущих учителей математики в рамках изучения элементарной математики:

- увеличить долю самостоятельного повторения теоретического материала школьной математики;
- сформировать умение объяснять теоретический материал доступно, с применением методов «простого» запоминания, мнемонических правил и других способов;
- рассмотреть различные виды заданий по каждой теме, повторить школьные методы решения и изучить другие методы, не включенные в школьную программу;
- решить достаточное количество задач разного уровня сложности по каждой теме (как на занятии, так и самостоятельно);
- создать банк решенных задач по каждой теме, которые могут быть использованы при изучении методических дисциплин, прохождении педагогической практики и в профессиональной деятельности;
- разработать материалы для самостоятельного повторения и изучения тех тем и разделов школьной математики, которые не удается рассмотреть подробно на занятиях в вузе;
- сделать процесс обучения доступным для всех студентов.

Заключение

Полученные выводы показывают необходимость формирования профессиональных компетенций будущего педагога, которому предстоит работать в современной школе, а также важного умения человека – учиться на протяжении всей жизни. Важно не только сформировать у будущих учителей-предметников умение учиться, но и показать им, как его развивать у школьников. Опыт применения описанной методики изучения курса «Элементарная математика» в вузе для подготовки будущих учителей математики показывает свою состоятельность, что отмечают сами студенты, а также доказывают высокие показатели результатов контрольных работ по школьному курсу, участие многих студентов в олимпиаде по элементарной математике.

Список источников

1. Рабочая программа учебной дисциплины «Элементарная математика» для направления подготовки Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки «Информатика и математика»), очная форма обучения, разработчик: Л. В. Павлова. Псков: ПсковГУ, 2020. URL: https://pskgu.ru/eduprogram (дата обращения: 01.02.2022).

2. **Севостьянова С. А., Шумакова Е. О., Мартынова Е. В.** Рейтинговая система оценки знаний студентов при изучении дисциплины «Вводный курс математики» // *Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета.* 2018. № 8. С. 116–129.

3. **Дробышева И. В., Дробышев Ю. А.** Модель проектирования вводного курса математики // *Математическое моделирование в экономике, управлении и образовании : сборник научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции.* 2017. С. 150–155.

4. **Панфилова Т. Л.** Некоторые особенности преподавания элементарной математики студентам педагогических направлений // *Современные проблемы и перспективы обучения математике, физике, информатике в школе и вузе : межвузовский сборник научно-методических работ, отв. ред. С. Ф. Митенева.* Вологда, 2018. С. 49–52.

5. Рабочая программа учебной дисциплины «Вводный курс математики» для направления подготовки Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки «Информатика и математика»), очная форма обучения, разработчик: Л. В. Павлова. Псков: ПсковГУ, 2020 г. URL: https://pskgu.ru/eduprogram (дата обращения: 01.02.2022).

6. **Бостанова М. М., Джаубаева З. К., Узденова М. Б.** Электронный учебник как средство повышения эффективности самостоятельной работы студентов в условиях дистанционного обучения при изучении дисциплины «Элементарная математика» // *Современные проблемы математического образования : материалы Межрегиональной научно-практической конференции.* 2020. С. 44–48.

7. **Кочегурная М. Ю.** Использование дистанционных форм обучения в преподавании дисциплины «Элементарная математика» // *Информационные системы и технологии в моделировании и управлении : сборник трудов V Международной научно-практической конференции, отв. ред. К. А. Маковейчук.* 2020. С. 411–413.

8. **Попов Н.** И. Об эффективности использования модели обучающей технологии по тригонометрии при обучении студентов-математиков // *Образование и наука.* 2013. № 9 (108). С. 138–153.

9. **Стефанова Г. П., Байгушева И. А., Товарниченко Л. В., Степкина М. А.** Формирование познавательной самостоятельности первокурсников при изучении элементарной математики в вузе // *Современные проблемы науки и образования.* 2018. № 4. С. 67.

References

1. *The working program of the discipline «Elementary Mathematics» for the direction of training Pedagogical education (with two training profiles «Computer Science and Mathematics»), full-time education.* Developer: L. V. Pavlova. Pskov State University, 2020. Available: https://pskgu.ru/eduprogram (accessed: 01.02.2022). (In Russ.)

2. **Sevostyanova S. A., Shumakova E. O., Martynova E. V.** Rating system for assessing students' knowledge in the study of the discipline «Introductory course of Mathematics». *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta* [Bulletin of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University]. 2018. No. 8. Pp. 116–129.

3. **Drobysheva I. V., Drobyshev Yu. A.** The design model of the introductory course of mathematics. *Matematicheskoe modelirovanie v ekonomike, upravlenii i obrazovanii : sbornik nauchny'x statej po materialam III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Mathematical modeling in economics, management and education. Collection of scientific articles based on the materials of the III International Scientific and Practical Conference]. 2017. Pp. 150–155. (In Russ.)

4. **Panfilova T. L.** Some features of teaching elementary mathematics to students of pedagogical directions. *Sovremennye problemy i perspektivy obucheniya matematike, fizike, informatike v shkole i vuze : mezhvuzovskij sbornik nauchno-metodicheskix rabot, otv. red. S. F. Miteneva* [Modern problems and prospects of teaching mathematics, physics, computer science at school and university. Interuniversity collection of scientific and methodological works. Responsible editor S.F. Miteneva]. Vologda, 2018. Pp. 49–52. (In Russ.)

5. *The work program of the discipline «Introductory course of mathematics» for the direction of training Pedagogical education (with two training*

profiles «Computer Science and Mathematics»), full-time education. Developer: L. V. Pavlova. Pskov State University, 2020. Available: https://pskgu.ru/eduprogram (accessed 01.02.2022). (In Russ.)

6. **Bostanova M. M., Dzhaubaeva Z. K., Uzdenova M. B.** Electronic textbook as a means of increasing the effectiveness of independent work of students in the conditions of distance learning in the study of the discipline «Elementary Mathematics». *Sovremenny'e problemy' matematicheskogo obrazovaniya : materialy' Mezhregional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii* [Modern problems of mathematical education. Materials of the Interregional scientific and practical conference]. 2020. Pp. 44–48. (In Russ.)

7. **Kochegurnaya M. Yu.** The use of distance learning in teaching the discipline «Elementarnaya matematika». [Information systems and technologies in modeling and management. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Editor-in-chief K. A. Makoveychuk.] 2020. Pp. 411–413.

8. **Popov N. I.** On the effectiveness of using the model of learning technology in trigonometry in teaching mathematics students. *Education and science.* 2013. No. 9 (108). Pp. 138–153. (In Russ.)

9. **Stefanova G. P., Baigusheva I. A., Tovarnichenko L. V., Stepkina M. A.** Formation of cognitive independence of first-year students in the study of elementary mathematics at the university. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. 2018. No. 4. Pp. 67. (In Russ.)

Сведения об авторе / Information about author
Лидия Васильевна Павлова/ Lydia V. Pavlova
к.п.н., доцент кафедры математики и теории игр / Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Mathematics and Game theory
Псковский государственный университет / Pskov State University
180000, Россия, Псков, площадь Ленина, дом 2 / 180000, Russia, Pskov, Lenin Square, 2

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 12.01.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 23.01.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 27.01.2022

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktyvkar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

Научная статья

УДК 539.3
https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_90

АСЛАНОВ РАМИЗ МУТАЛЛИМ ОГЛЫ (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Сотникова Ольга Александровна
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, e-mail: rector@syktsu.ru

Аннотация. Статья посвящена Асланову Рамизу Муталлим оглы, кандидату физико-математических наук, доктору педагогических наук, профессору, члену-корреспонденту Международной академии наук педагогического образования.

Ключевые слова: Асланов Рамиз Муталлим оглы

Для цитирования: Сотникова О. А. Асланов Рамиз Муталлим оглы (к 75-летию со дня рождения) // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика.* 2022. Вып. 1 (42). С. 90–94. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_90

Abstract. The article is dedicated to Aslanov Ramiz, PhD in Physics and Mathematics, Doctor of pedagogical sciences, professor, corresponding member of the International Academy of Sciences of Pedagogical Education.

Keywords: Aslanov Ramiz

For citation: Sotnikova O. A. Aslanov Ramiz (on his 75th birthday). *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 90–94. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_90

© Сотникова О. А., 2022.

26 марта 2022 года исполнилось 75 лет со дня рождения Асланова Рамиза Муталлим оглы, кандидата физико-математических наук, доктора педагогических наук, профессора, члена-корреспондента Международной академии наук педагогического образования. Истинное научное содружество всегда подкреплено временем, традициями, общими истоками. И сотрудничество Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина с выдающимся педагогом, прирожденным математиком, профессором Аслановым относится именно к этой категории. Весь трудовой, научный и без преувеличения творческий путь этого замечательного ученого проникнут духом самоотверженного служения идеалам высшей школы – интернациональным и вневременным.

Уроженец села Мушаваг Дашкесанского района Азербайджанской ССР, он в 1968 году окончил математический факультет Кировобадского государственного педагогического института им. Г. Б. Зардаби (ныне Гянджинский государственный университет). Степень кандидата физико-математических наук была присвоена Р. М. Асланову в 1981 году за диссертацию «Некоторые нагруженные граничные задачи для эллиптических уравнений в абстрактных пространствах», и здесь его официальные оппоненты представляли столичные вузы – Московский институт электроники и математики, Московский институт электронной техники, а ведущей организацией оказался Институт математики и механики АН Азербайджанской ССР. Удивительно, но это географическое сочетание с того момента сопровождало всю жизнь будущего профессора Асланова: начав свой трудовой и научный путь в родном Кировобадском пединституте, работая вначале лаборантом, затем преподавателем с 1980 по 1982 год, являясь даже депутатом Гянджинского совета народных депутатов г. Кировобада, пика своей научной карьеры Рамиз Муталлим оглы достиг именно в Москве. Здесь он обучался в докторантуре при математическом факультете Московского педагогического государственного университета (МПГУ), здесь подготовил диссертацию «Методическая система обучения дифференциальным уравнениям в педвузе», за которую ему и была присуждена в 1998 году ученая степень доктора педагогических наук. А сам МПГУ сыграл для Р. М. Асланова роль второй альма-матер, которой он верой и правдой служил в качестве профессора кафедры математического анализа до совсем недавнего времени, когда колесо истории сделало полный оборот,

Фото. Асланов Рамиз Муталлим оглы

и на сегодняшний день профессор Асланов – один из самых уважаемых сотрудников Института математики и механики НАН Азербайджана.

Казалось бы, где в этой биографии место Сыктывкара? В том педагогическом братстве математиков-преподавателей бывшей советской, но до сих пор во многом единой высшей школы, которое позволяет находить общие темы и общие интересы, невзирая на географические расстояния. Р. М. Асланов, автор огромного количества научных и научно-методических работ, едва ли не десятка учебников по высшей математике, специалист в области дифференциальных уравнений и уравнений с частными производными, теории функций комплексного переменного, интегральных уравнений, операционного исчисления, и в нашем университете нашел коллег и собратьев на педагогическом пути. Изначальное заочное знакомство – по учебникам, научным трудам – в конце концов привело к плотному и плодотворному сотрудничеству. Пособия, учебники, задачники под авторством Р. М. Асланова неизбежно пользовались спросом при организации учебного процесса, и также востребованы оказались его научно-методические идеи.

Очное знакомство с профессором произошло на одном из семинаров преподавателей высшей математики, созданном А. Г. Мордковичем. В обсуждениях проблем преподавания математики в университетах и наметились планы его сотрудничества с университетом. Был подписан Меморандум о сотрудничестве нашего университета и Института математики и механики НАН Азербайджана.

Рамиз Муталлимович входит в состав редакционной коллегии нашего журнала. Последние несколько лет особенно активно развивается научное взаимодействие профессора Р. М. Асланова с доцентом СГУ имени Питирима Сорокина В. В. Сушковым. Оно началось с подготовки совместного учебного пособия – сборника задач по теории функций комплексного переменного. Однако подготовкой книги эта несколько неожиданная коллаборация не ограничилась и развернулась в цикл статей по методике преподавания высшей математики в вузе, о принципах реализации электронного обучения в рамках классических математических дисциплин (от ТФКП до уравнений математической физики). География конференций и форумов, на которых были представлены совместные доклады, впечатляет – здесь и Москва, и Ульяновск, Арзамас, Сыктывкар, Красноярск, Минск, Баку, и хочется надеяться, что со временем она будет только расширяться, потому что профессор Асланов не может находиться в информационном вакууме, его деятельная натура требует постоянного приложения собственных сил и умений в деле расширения области человеческого знания. Он, как и всякий настоящий математик, чтит традиции научного сообщества, знает и понимает историю своей науки (чего стоят опубликованные им книги «Женщины-математики», «Восемь лекций по истории математики» и др.) и осознает, что без постоянного движения, постоянного развития невозможна ни научная жизнь, ни истинная педагогика. Его публикационная и репрезентационная активность стимулирует окружающих его коллег к постоянному саморазвитию и самосовершенствованию. А значит, хочется надеяться, к следующему юбилею у нас будет возможность поздравить с новыми научными и творческими успехами не только самого профессора Р. М. Асланова, но и всех его коллег и сотрудников, в том числе и среди научно-педагогических работников нашего университета.

Сведения об авторе / Information about author
Сотникова Ольга Александровна/ Olga A. Sotnikova
д.п.н., ректор Сыктывкарского государственного университета им. Питирима Сорокина / Doctor of pedagogical sciences, Rector of Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина / Pitirim Sorokin Syktyvkar State University
167001, Россия, г. Сыктывкар, Октябрьский пр., 55 / 167001, Russia, Syktyvkar, Oktyabrsky Ave., 55

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 20.02.2022
Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 03.03.2022
Принято к публикации / Accepted for publication 04.03.2022

Contents

Mathematics

Chernov V. G. *Non-cooperative antagonistic game with fuzzy estimates* 5

Kotelina N. O., Pevnyi A. B. *Quadratic problem of mathematical diagnostics* 15

Computer sciences

Maslyaev D. A. *Current state of the higher school timetabling problem* 23

Golchevskiy Yu. V., Shchukin N. Yu. *Design and Development of a Service Web Configurator for Computer Assembly* 41

Melnikov V. A., Yermolenko A. V. *Development of XML-based Markup Language* 61

Methodical materials

Pavlova L. V. *Methods of teaching elementary mathematics in preparation a mathematics teacher at a university* 74

Anniversaries

Sotnikova O. A. *Aslanov Ramiz (on his 75th birthday)* 90

Научное периодическое издание

Вестник Сыктывкарского университета
Серия 1: Математика. Механика. Информатика
Выпуск 1 (42) 2022

Гл. редактор О. А. Сотникова
Отв. редактор А. В. Ермоленко

Редактор Е. М. Насирова
Компьютерный макет В. А. Устюгов
Корректор Л. Н. Руденко

Подписано в печать 25.04.2022. Дата выхода в свет 19.05.2022.
Формат $70 \times 108\frac{1}{8}$. Бумага офсетная.
Гарнитура Computer Modern.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 10,8.
Тираж 32 экз. Заказ № 21.

Отпечатано в соответствии с предоставленными
материалами в ООО «Коми республиканская типография»
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Савина, 81
Тел. 8(8212)-28-46-60
E-mail: ceo@komitip.ru
Сайт: komitip.ru