



Моделирование и прогнозирование показателей эффективности образовательной деятельности высшего учебного заведения

Н. В. Яндыбаева

*Балаковский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации»
(г. Балаково, Россия)*

nat07@inbox.ru

Введение. Для контроля эффективности образовательной деятельности вузов проводится ежегодный мониторинг. Министерством образования и науки Российской Федерации были установлены порядок проведения данного мониторинга и 8 пороговых значений показателей эффективности. Если более 4 показателей окажутся ниже данных значений, вуз лишается права на осуществление образовательной деятельности или реформируется. В настоящее время отсутствует специализированное программное обеспечение для осуществления оперативного управления показателями эффективности. Целью исследования является разработка математических моделей, методов и программ для моделирования и прогнозирования показателей эффективности образовательной деятельности вуза.

Материалы и методы. Разработан комплекс математических моделей, состоящий из модели системной динамики и регрессионной модели. В качестве моделируемых переменных использовались базовые показатели эффективности: образовательная деятельность вуза, научно-исследовательская деятельность, международная деятельность, финансово-экономическая деятельность, заработная плата профессорско-преподавательского состава, трудоустройство выпускников, контингент студентов, дополнительные показатели образовательных организаций. Выполнена проверка адекватности разработанных математических моделей с помощью фактических значений показателей эффективности. Приведено описание численного метода решения системы дифференциальных уравнений с помощью «ручного» интегрирования с применением рекуррентной трехшаговой процедуры с интуитивным выбором шага. Данный метод основан на методе Рунге-Кутты 4-го порядка точности.

Результаты исследования. Показан пример расчета прогнозных значений показателей эффективности Балаковского филиала ФГБОУ ВО «РАНХиГС» на временном интервале $[0; 3]$ года с использованием разработанного математического обеспечения. Описана процедура вычисления квадратичного критерия, применяемого для оперативного управления показателями эффективности. Величина данного критерия определяется с помощью метода Симпсона и искусственной рекуррентной нейронной сети Элмана, что позволяет повысить точность вычислений. Приведена структурная схема взаимодействия пользователей с программным модулем в процессе мониторинга.

Обсуждение и заключения. Разработанное математическое и программное обеспечение может использоваться для прогнозирования показателей эффективности образовательной деятельности вуза при осуществлении мониторинга, что существенно снижает вероятность возникновения критических ситуаций. Оперативное управление показателями эффективности проводится с помощью варьирования значений квадратичного критерия.



Ключевые слова: системная динамика, математическая модель, мониторинг деятельности вуза, дифференциальное уравнение, программный модуль

Для цитирования: Яндыбаева Н. В. Моделирование и прогнозирование показателей эффективности образовательной деятельности высшего учебного заведения // Вестник Мордовского университета. 2018. Т. 28, № 1. С. 120–136. DOI: 10.15507/0236-2910.028.201801.120-136

Modeling and Forecasting Performance Indicators for Educational Activities of Higher Educational Institution

N. V. Yandybayeva

*Balakovo Branch of the Russian Presidential Academy
of National Economy and Public Administration
(Balakovo, Russia)*

*nat07@inbox.ru

Introduction. In Russia, the effectiveness of educational activities of higher educational institutions is monitored on an annual basis. The Ministry of Education and Science of the Russian Federation established the monitoring procedure and eight threshold levels for performance indicators. A university may be revoked or reformed if at least four important indicators are below threshold levels. There is no special software for operational management of performance indicators. The aim of the research is to develop mathematical models, methods and programs for modeling and forecasting performance indicators.

Materials and Methods. The developed complex of mathematical models consists of a model of system dynamics and a regression model. As the simulated variables, the basic performance indicators of the educational activities of the university are used: educational activities, research activities, international activities, financial and economic activities, the salaries of teaching staff, employment of graduates, a contingent of students, additional indicators of educational organizations. The adequacy of the developed mathematical models was checked with the help of actual values of performance indicators. The description of the numerical method for solving a system of differential equations through “manual” integration via use of a recurrent three-step procedure with an intuitive step selection is presented. The method is based on the Runge-Kutta method of the fourth order of accuracy.

Results. An example of calculating the predicted values of the performance indicators of the Balakovo Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration on the time interval in $[0;3]$ years using the developed software is presented. The procedure for calculating the quadratic criterion used for operational management of performance indicators is described. The magnitude of the quadratic criterion is determined through using the Simpson method and the artificial Elman recurrent neural network to improve the accuracy of the computations. The structural scheme of interaction of users with the program module during monitoring is provided.

Discussion and Conclusions. The developed mathematical software can be used to predict the performance indicators of the educational activities of the university in monitoring. This method reduces significantly the probability of emergence of critical situations. The operational management of performance indicators is carried out by varying the values of the quadratic criterion.

Keywords: system dynamics, mathematical model, monitoring of university activities, differential equation, software module

For citation: Yandybaeva N. V. Modeling and Forecasting Performance Indicators for Educational Activities of Higher Educational Institution. *Vestnik Mordovskogo universiteta* = Mordovia University Bulletin. 2018; 28(1):120–136. DOI: 10.15507/0236-2910.028.201801.120-136

Введение

Одним из показателей национальной безопасности Российской Федерации является уровень обеспеченности ресурсами образования и науки (в процентах от ВВП) [1]. Несомненным является тот факт, что чем больше внимания государство уделяет развитию науки и образования, тем более эффективно работает экономика, растут темпы научно-технического прогресса и, как следствие, увеличивается благосостояние граждан.

Решение проблемы повышения качества образования в вузах России способствует повышению престижа российского высшего образования и его успешной интеграции в международное научно-образовательное пространство. Для оценки качества высшего образования в России используется определение эффективности образовательной деятельности вуза посредством мониторинга. Основная цель мониторинга – формирование информационно-аналитических материалов об образовательных организациях высшего образования с целью контроля их образовательной деятельности.

Мониторинг проводится в несколько этапов.

1. Определение ключевых направлений деятельности образовательных организаций.

2. Выработка показателей их оценки.

3. Сбор и верификация первичных данных статистики.

4. Анализ данных и подготовка предложений:

– расчет показателей эффективности деятельности образовательных организаций и их филиалов;

– определение пороговых значений на основе медианных значений показателей в рамках референтных групп.

5. Публикация результатов мониторинга.

6. Использование результатов мониторинга для принятия решений учредителями и при планировании контрольных мероприятий в области образования Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки¹.

Показатели эффективности вуза рассчитываются на основании «Методики расчета показателей мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования 2017 года»², в которой определены пороговые значения показателей эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования (табл. 1).

Вузы относятся к имеющим признаки неэффективности в том случае, если образовательная организация или ее филиал достигает порогового значения любых 4 из 8 показателей (согласно Приказу Министерства образования и науки РФ от 13.03.2017 г. № 222 «О проведении мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования»).

В 2017 г. Межведомственная комиссия под председательством главы Минобрнауки проанализировала деятельность 769 вузов и 692 филиалов и признала неэффективными 107 вузов и филиалов.

¹ Сайт главного информационно-вычислительного центра Министерства образования и науки Российской Федерации. URL: <http://indicators.miccedu.ru/monitoring/?m=vpo>

² Методика расчета показателей мониторинга эффективности образовательных организаций высшего образования 2017 года. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71535890>



Пороговые значения показателей эффективности высших учебных заведений
Threshold values of performance indicators of higher education institutions

\tilde{O}_i^{δ}	Показатель эффективности / Performance indicator	Пороговое значение / Threshold value
X_1	<i>E.1.1. Образовательная деятельность.</i> Средний балл студентов, принятых по результатам ЕГЭ на обучение по программам очной подготовки бакалавриата и специалитета за счет средств соответствующих бюджетов бюджетной системы РФ и с оплатой стоимости затрат на обучение физическими и юридическими лицами, баллы / <i>Educational activity.</i> The average score of students accepted by the results of the Unified State Examination for full-time education according to the Bachelor's and Specialization programs at the expense of the corresponding budgets of the budget system of the Russian Federation and with the payment of the cost of training costs by individuals and legal entities, points	60,00
X_2	<i>E.2.1. Научно-исследовательская деятельность.</i> Объем НИОКР в расчете на одного научно-педагогического работника (НПР), тыс. руб. / <i>Scientific and research activity.</i> The volume of research and development per one scientific and pedagogical worker (SPW), thousand rubles	51,28
X_3	<i>E.3.1. Международная деятельность (показатель для вузов).</i> Удельный вес численности иностранных студентов, обучающихся по программам бакалавриата, специалитета, магистратуры, в общей численности студентов (приведенный контингент) / <i>International activity (indicator for universities).</i> Specific weight of the number of foreign students studying under the Bachelor's, Specialized, Master's programs, in the total number of students (estimated contingent)	1,00
X_4	<i>E.4.1. Финансово-экономическая деятельность.</i> Доходы образовательной организации из всех источников в расчете на одного НПР, тыс. руб. / <i>Financial and economic activity.</i> Revenues of the educational organization from all sources per SPW, thousand rubles	1 327,57
X_5	<i>E.5.1. Зароботная плата профессорско-преподавательского состава.</i> Отношение заработной платы профессорско-преподавательского состава к средней заработной плате по экономике региона, % / <i>Salaries of university teachers.</i> The ratio of the salaries of the university teachers to the average wage for the economy of the region, %	150,00
X_6	<i>E.6.1. Трудоустройство.</i> Удельный вес выпускников, трудоустроившихся в течение календарного года, следующего за годом выпуска, в общей численности выпускников образовательной организации, обучавшихся по основным образовательным программам высшего образования, % / <i>Employment.</i> Share of graduates who have found employment in the calendar year following the year of release, in the total number of graduates of the educational organization trained in the main educational programs of higher education, %	75,00
X_7	<i>E.7.1. Контингент студентов.</i> Приведенный контингент студентов, ед. / <i>Contingent of students.</i> Estimated contingent of students, units	220,00
X_8	<i>E.8.7. Дополнительные показатели образовательных организаций.</i> Численность сотрудников, из числа ППС (приведенных к доле ставки), имеющих ученые степени кандидата или доктора наук, в расчете на 100 студентов, ед. / <i>Additional indicators of educational organizations.</i> The number of employees, from the number of teachers (reduced to the share of the rate), having a scientific degree of a candidate or doctor of science, per 100 students	2,78

В связи с этим возникает необходимость разработки математических моделей, алгоритмов и программ, позволяющих в рамках информационной

системы вуза осуществить имитационное моделирование и прогнозирование основных показателей эффективности деятельности вуза, а также разработка

методики оперативного управления показателями эффективности.

Обзор литературы

Особенности образовательного процесса в высшей школе были проанализированы в трудах К. Арджириса, С. Богомолова, А. Аганбегяна, В. Байденко³, О. Виханского, А. Джуриного, Э. Деминга⁴ и др. Учеными исследовались вопросы контроля и управления качеством с учетом основных принципов теории управления и с использованием опыта внедрения передовых методик обучения. В настоящее время в России для получения лицензии на образовательную деятельность вуз должен пройти лицензирование и аккредитацию. Особенности проведения данных процедур описаны в нормативно-правовых документах и трудах исследователей В. Г. Наводнова, Г. Н. Мотовой [2] и др. Однако при проведении процедур лицензирования и аккредитации возникают определенные проблемы, основными среди которых являются периодичность экспертизы и отсутствие учета воздействия различных факторов на качество образовательного процесса на пятилетнем интервале. Вследствие этого показатели аккредитации, рассчитанные на основе одномоментного замера, не предоставляют администрации объективной и точной информации о текущей ситуации в вузе⁵.

Для описания образовательного процесса также используется большое коли-

чество показателей, изменение которых требует длительного времени. Подобные проблемы характерны также для процедуры мониторинга эффективности.

Вопросами разработки и использования математических моделей для контроля качества учебного процесса занимались такие ученые как О. А. Граничина⁶, В. П. Сухинин [3], М. В. Горшенина [4], В. И. Мешалкин⁷. Исследованию проблем разработки математических моделей, алгоритмов и программ посвящены также некоторые работы автора данной статьи [5–6].

Существующий методологический аппарат не предоставляет возможности прогнозирования показателей аккредитации и мониторинга, что, в свою очередь, не позволяет администрации своевременно устранить возникающие негативные тенденции и снижает достоверность проводимой экспертизы. Отсутствие эффективных математических моделей и методов, позволяющих осуществлять аналитическое моделирование и прогнозирование показателей эффективности образовательной деятельности вуза, обусловило актуальность проведенного исследования.

Особенности разработки автоматизированных информационных систем, в т. ч. для образовательных организаций, были проанализированы в трудах как российских (А. М. Бершадского⁸, А. С. Клещева⁹, Д. А. Новикова [7], О. И. Ларичева [8]), так

³ Байденко В. И. Болонский процесс: середина пути. М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов. Российский Новый Университет, 2005. 370 с. URL: http://window.edu.ru/resource/938/66938/files/04_349.pdf

⁴ Edwards D. W. The new economics for industry, government, education. MIT Press, 2000. 247 p. URL: <https://bookreef.org/reader?file=1442225>

⁵ Официальный сайт ФГБУ «Росаккредагентство». URL: <http://nica.ru>

⁶ Граничина О. А. Контроль качества образовательного процесса в вузах России и за рубежом. СПб. : Изд-во СПбГУ, 2006. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19130857>

⁷ Мешалкин В. И. Учреждения высшего и среднего профессионального образования в Российской Федерации: аккредитация – самообследование – рейтинг. М. : Изд-во РУДН, 1995. 136 с.

⁸ Бершадский А. М., Бурукина И. П. Информационная система кафедрального документооборота // Телематика : тр. XVI Всерос. науч.-метод. конф. СПб., 2009. Т. 1. С. 149–150.

⁹ Клещев А. С., Черняховская М. Ю. Современное состояние компьютерной обработки знаний // Сб. науч. тр. Владивосток, 2001. С. 273–284.



и зарубежных ученых (I. F. Codd [9], T. R. Gruber¹⁰, G. Piatetsky-Shapiro [10], U. Wang¹¹ и др.).

В российских вузах для оценки эффективности их деятельности используются следующие программные решения. Автоматизированная информационная система «Наука» функционирует в ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет». Она предназначена для анализа результатов и управления научно-исследовательской деятельностью профессорско-преподавательского состава университета.

Кроме этого, для автоматизации процессов в вузах используется «Галактика Управление Вузом»¹² – современная информационная система, основными функциями которой являются: осуществление эффективного планирования учебного процесса; объединение основных подразделений в единую информационную систему вуза; снижение трудоемкости процессов обработки данных; обеспечение контроля и управления финансовыми и кадровыми ресурсами и пр. Отметим также информационную систему «Университет», автоматизирующую процессы управления деятельностью высшего учебного заведения и успешно функционирующую в ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный университет».

Общими недостатками вышеперечисленных информационных систем являются сложная архитектура, а также слабоструктурированная система экспорта и импорта данных. Ни одна из них не предназначена для вычисления прогнозных значений показателей эффективности образовательной деятельности вуза.

Задачей исследования является разработка математических методов, моделей и программ для моделирования и прогнозирования показателей эффективности деятельности вуза, а также методики оперативного управления показателями эффективности.

Материалы и методы

В разработанный комплекс математических моделей для проведения компьютерных экспериментов по прогнозированию основных показателей эффективности деятельности вуза входят модель системной динамики и регрессионная модель.

В основу метода системной динамики положены следующие допущения:

- динамике поведения сложного процесса можно отслеживать с помощью изменения значений «уровней», а сами изменения регулировать «потоками», которые повышают или снижают эти уровни;

- все изменения в функционировании системы основаны на «петлях обратных связей», которые являются замкнутыми цепями взаимодействий. Подобная цепь соединяет причину действия с его результатом, изменяющим состояние окружающей среды;

- петли обратной связи в системе соединяются нелинейно, поэтому информация об уровнях системы влияет через обратные связи на сами уровни непропорционально и труднопредсказуемо¹³.

Выберем в качестве моделируемых переменных в разработанной математической модели показатели эффективности деятельности вуза X_1-X_8 , приведенные в табл. 1.

На рис. 1 приведен граф причинно-следственных связей между моделируемыми переменными X_1-X_8 . Стрелками

¹⁰ Gruber T. R., Tenenbaum J. M., Weber J. C. Toward acknowledge medium for collaborative product development // Artificial Intelligence in Design. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1992. URL: <http://tomgruber.org/writing/onto-design.pdf>

¹¹ Survey on QoS Management of VoIP / X. Chen [et al.] // Proc. Int. Conf. on Computer Networks and Mobile Computing, 2003.

¹² Официальный сайт корпорации «Галактика». URL: <https://www.galaktika.ru/vuz>

¹³ Forrester J. W. World dynamics. Cambridge ; Massachusetts : Wright-Alien Press, Inc. 1971. DOI: 10.1017/S0770451800029973

показаны причинно-следственные связи между переменными, кружками обозначены функциональные зависимости $f_1(X_7), \dots, f_9(X_7)$, определяющие степень влияния одной моделируемой переменной на другую. Причинно-следственные связи для разработанной модели были выбраны путем изучения мнений экспертов, подтвержденных экспериментально при проведении мониторинга в Балаковском филиале ФГБОУ ВО «РАНХиГС».

Проанализируем производные моделируемых переменных X_1-X_8 как функции данных переменных. Производные уровней по времени $\frac{dX_i(t)}{dt}$, $i=1..n$, которые называются потоками, являются скоростями изменения уровней в единицу времени. В этом случае связи между потоками и моделируемыми переменными будут иметь вид систем дифференциальных уравнений:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = F_i(X_1(t), \dots, X_n(t)), i=1..n. \quad (1)$$

Для подхода Дж. Форрестера в системной динамике характерны упрощение и декомпозиция системы.

Представим функции F_i в виде разложений в ряд по степеням $X_k(t)$, и проанализируем первые, линейные, члены разложения. Коэффициенты при членах разложения определяются экспериментально. Система в этом случае имеет вид:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \alpha_{i,0} + \alpha_{i,1}X_1(t) + \dots + \alpha_{i,n}X_n(t), i=1..n, \quad (2)$$

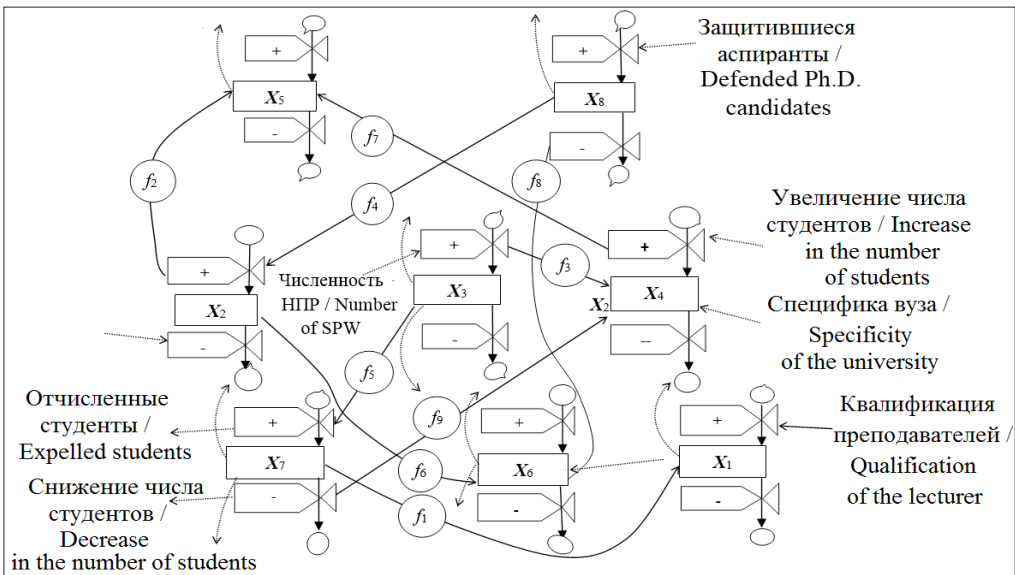
где произведения $\alpha_{i,k}X_k(t)$, $i=1..n$ – темпы i -го потока; t – время.

Поскольку сложная система нелинейна, пусть темпы зависят от уровней: $\alpha_{i,k} = \alpha_{i,k}(X_1(t), \dots, X_n(t))$, $k=1..n$. Указанная зависимость имеет мультипликативный вид:

$$\alpha_{i,k}(x_1(t), \dots, x_n(t)) = \alpha_{i,k} f_{i,k,1}(x_1(t)) \dots f_{i,k,n}(x_n(t)), \quad k=1..n, \quad (3)$$

где $\alpha_{i,k}$ – константы из уравнения (2).

Каждый из элементов $f_{i,k,l}$, $l=1..n$ мультипликативной модели зависит только от уровня $X_l(t)$. За «базовое»



Р и с. 1. Граф причинно-следственных связей между переменными X_1-X_8

F i g. 1. The graph of cause-effect relations between the variables X_1-X_8



значение $f_{i,k,l}$, от которого под влиянием аргументов они могут отклоняться в ту или иную сторону, принимается 1.

Таким образом, модель имеет вид:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = \alpha_{i,0} + \sum_{k=1}^n \alpha_{i,k} \prod_{l=1}^n f_{i,k,l}(X_l(t)), X_k(t), i = 1...n. \quad (4)$$

Система уравнений (4) дает декомпозицию исходной системы общего вида (1)¹⁴.

Проанализируем моделируемую переменную X_2 – объем НИОКР в расчете на одного научно-педагогического работника (НПР). Подграф для моделируемой переменной приведен на рис. 2.

Запишем для X_2 дифференциальное уравнение следующего вида:

$$\frac{dX_2(t)}{dt} = \frac{(F(t) \cdot PN(t) \cdot f_4(X_8) - (G(t) \cdot PK(t)))}{PS(t)}, \quad (5)$$

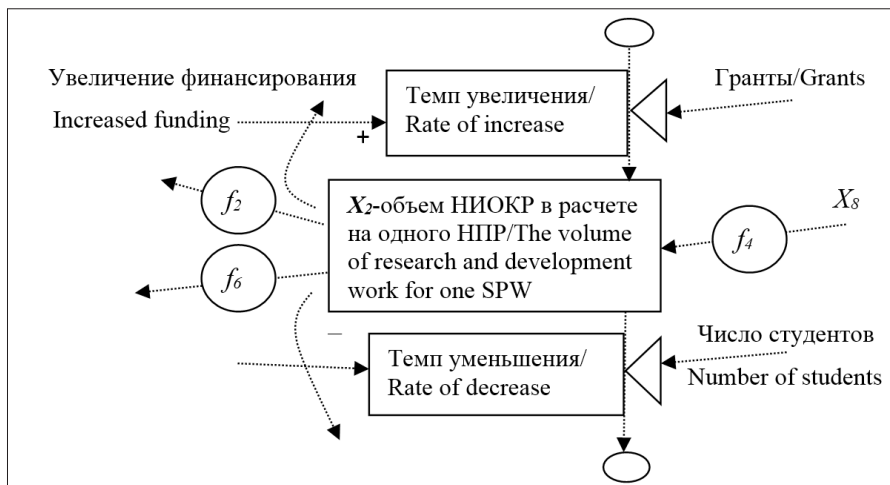
где $X_2(t)$ – текущий объем НИОКР в расчете на одного НПР, руб.; $F(t)$ и $G(t)$ – объем НИОКР в расчете на одного НПР на начало и конец расчетного периода соответственно, руб.; $PN(t)$ и $PK(t)$ – численность НПР на начало и конец расчетного периода, чел.; $PS(t)$ – среднегодовая численность НПР, чел.

Аналогично записываются уравнения для переменных X_1, X_3-X_8 .

Таким образом, разработанная на основе системно-динамического подхода математическая модель имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dX_1(t)}{dt} &= \frac{EN(t) - EK(t) \cdot f_1(X_7)}{ES(t)}; \\ \frac{dX_2(t)}{dt} &= \frac{F(t) \cdot PN(t) \cdot f_4(X_8) - G(t) \cdot PK(t)}{PS(t)}; \\ \frac{dX_3(t)}{dt} &= M(t) + Kv(t) - S_o(t); \\ \frac{dX_4(t)}{dt} &= \frac{(SK(t) + Mo(t) + Vr(t) + PN(t))f_9(X_7) \cdot f_5(X_2) - X_2(t) + MTO(t) + NR(t)}{PS(t)}; \\ \frac{dX_5(t)}{dt} &= (US(t) + St(t) + Gr(t)) \cdot f_2(X_2) \cdot f_7(X_4) - (T(t) + I(t)); \\ \frac{dX_6(t)}{dt} &= SV(t) \cdot f_6(X_2) \cdot f_8(X_8) - (U(t) + SnV(t)); \\ \frac{dX_7(t)}{dt} &= B_o(t) + B_z(t) \cdot f_3(X_3) - D(t); \\ \frac{dX_8(t)}{dt} &= \frac{EK(t) + KP(t) - (BK(t) + KP(t))}{KS(t)}, \end{aligned} \right. \quad (6)$$

где $X_1(t) - X_8(t)$ – текущие значения моделируемых переменных; $EN(t)$ и $EK(t)$ – средний балл ЕГЭ на начало и конец расчетного периода; $ES(t)$ – среднегодовое значение среднего балла ЕГЭ; $K_v(t)$ –



Р и с. 2. Подграф моделируемой переменной X_2
 F i g. 2. The subgraph of the simulated variable X_2

¹⁴ Бродский Ю. И. Лекции по математическому и имитационному моделированию. М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. 240 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25689955>

ежегодная государственная квота на обучение за рубежом, шт.; $S_o(t)$ – стоимость обучения в вузе (руб.); $US(t)$ – наличие ученой степени у ППС вуза; $St(t)$ – размер ставки ППС в данном учебном году, руб.; $G(t)$ – гранты научных фондов, руб.; $T(t)$ – налоги, руб.; $I(t)$ – уровень инфляции, %; $SK(t)$ – средства частных компаний, руб.; $Mo(t)$ – средства Минобрнауки, руб.; $Vr(t)$ – текущий объем финансирования за расчетный период, руб.; $MTO(t)$ – материально-техническая оснащенность учебного процесса, руб.; $NR(t)$ – накладные расходы вуза, руб.; $SV(t)$ – спрос на бакалавров/специалистов, чел.; $SnV(t)$ – количество выпускников по данному направлению/специальности, чел.; $B_o(t)$ – количество студентов очной формы обучения, чел.; $B_z(t)$ – количество студентов заочной формы обучения, чел.; $D(t)$ – количество отчисленных студентов на конец учебного года, чел.; $BK(t)$ и $EK(t)$ – количество кандидатов наук на начало и конец расчетного периода соответственно, чел.; $KP(t)$ – количество докторов наук, профессоров, чел.; $KS(t)$ – общая численность ППС, чел.

В разработанной математической модели используются следующие функциональные зависимости: $f_1(X_7)$ – среднего балла студентов от приведенного контингента студентов; $f_2(X_2)$ – заработной платы ППС от объема НИОКР в расчете на одного НПП; $f_3(X_2)$ – доходов вуза от объема НИОКР на одного НПП; $f_4(X_8)$ – объема НИОКР на одного НПП от численности кандидатов/докторов наук; $f_5(X_3)$ – приведенного контингента студентов от численности иностранных студентов; $f_6(X_2)$ – удельного веса трудоустроившихся выпускников от объема НИОКР на одного НПП; $f_7(X_4)$ – отношения заработной платы ППС от доходов вуза из всех источников на одного НПП; $f_8(X_8)$ – удельного веса трудоустроившихся выпускников от численности кандидатов/докторов наук; $f_9(X_7)$ – приведенного

контингента студентов от доходов вуза из всех источников на одного НПП.

Функциональные зависимости $f_i(X_i)$ $i = 1...9$, определяются экспериментально и могут быть аппроксимированы полиномами 3–4 степени. Например, функциональные зависимости $f_2(X_2)$ и $f_3(X_2)$ имеют следующий вид:

$$f_2(X_2) = 1,2 \cdot X_2^4 - 2,6 \cdot X_2^3 + 1,7 \cdot X_2^2 + 0,63 \cdot X_2 + 0,1;$$

$$f_3(X_2) = -0,52 \cdot X_2^4 + 0,97 \cdot X_2^3 - 0,75 \cdot X_2^2 + 1,2 \cdot X_2 + 0,14.$$

С целью проверки адекватности математической модели (6) было произведено сравнение расчетных показателей X_1-X_8 с показателями, полученными по регрессионной модели, а также с ретроспективными данными.

Регрессионная модель была получена с использованием статистических данных (показателей эффективности) в филиале академии на временном интервале 2013–2017 гг. Параметры уравнений регрессии определялись с помощью метода наименьших квадратов. При определении вида регрессионной модели проводился анализ на наличие гетероскедастичности.

$$X_1^n = -0,7967t^4 + 10,035t^3 - 44,028t^2 + 77,11t + 9,95;$$

$$X_2^n = 38,288 \cdot \ln|t| - 0,253;$$

$$X_3^n = -0,2075t^2 + 1,2845t - 0,6575;$$

$$X_4^n = 256,1 \cdot \ln|t| + 1036,7;$$

$$X_5^n = -11,569t^3 + 102,49t^2 - 24587t + 282,18;$$

$$X_6^n = 5,6501 \cdot \ln|t| + 65,292;$$

$$X_7^n = -9,9417t^3 + 89,925t^2 - 267,73t + 683,14;$$

$$X_8^n = 0,3283t^3 - 2,77t^2 + 6,9817t - 1,58. \quad (7)$$



Проверим адекватность разработанного комплекса моделей. Рассчитаем по модели системной динамики значение переменной X_2 в 2016 г. по формуле (5):

$$X_2(2016) = \frac{46,97 \cdot 66 \cdot 2,1 - 48,44 \cdot 64}{65} = 52,46 \text{ тыс. руб.}$$

Согласно регрессионной модели, $X_2(2016) = 61$ тыс. руб. Фактическое значение переменной X_2 в 2016 г. составило 54,43 тыс. руб. Таким образом, абсолютная погрешность вычислений по моделям (6–7) в сравнении с ретроспективными данными варьируется от 4 % до 12 %, что свидетельствует об относительной адекватности комплекса моделей.

Поскольку задача прогнозирования показателей эффективности деятельности вуза является задачей Коши с заданными начальными условиями, то теоретически она может решаться с использованием традиционных численных методов: Эйлера, Рунге-Кутты и др. Однако разработанная математическая модель (6) является сложной, нелинейной, неоднородной, разнотемповой, нестационарной системой дифференциальных уравнений, поэтому использование классического метода Рунге-Кутты 4-го порядка для ее решения вызывает определенные затруднения.

Решить систему (6) можно с помощью «ручного» интегрирования посредством рекуррентной трехшаговой процедуры с интуитивным выбором шага:

1) вычисление временных определенных интегралов от временных функциональных зависимостей;

2) ручной выбор шага для нелинейных функциональных зависимостей по схеме Рунге-Кутты 4-го порядка;

3) подстановка на следующем шаге результатов интегрирования на предыдущем шаге с вычислением временных функциональных зависимостей на текущем шаге.

Результаты исследования

При проведении модельного эксперимента с разработанным математическим обеспечением были рассчитаны показатели эффективности деятельности Балаковского филиала ФГБОУ ВО «РАНХиГС». В качестве начальных значений были выбраны нормированные относительно пороговых показатели эффективности образовательной деятельности вуза за 2017 г.:

$$X_{oi} = [0,85; 1,27; 1,19; 1,02; 1,13; 0,93; 1,58; 1,09].$$

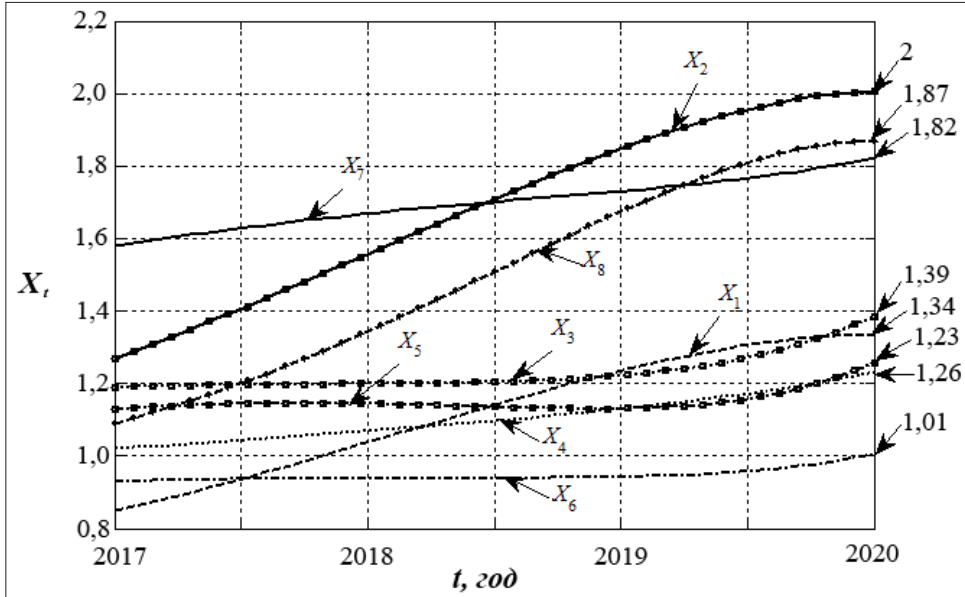
На рис. 3 показаны расчетные показатели по Балаковскому филиалу «РАНХиГС» на интервале [0; 3] года.

При проведении мониторинга эффективности вуза возникает необходимость обработки больших объемов статистических данных, что существенно повышает трудоемкость выполняемых работ. Поэтому для автоматизации вычислений прогнозных значений показателей эффективности требуется разработка специализированного программного обеспечения¹⁵ [11–13].

В интегрированной среде разработки ПО Visual Studio на языке программирования C# был создан «Модуль для определения эффективности деятельности высшего учебного заведения»¹⁶. Важным достоинством программы является определение текущей ситуации в вузе и предоставление лицу, принимающему решения, возможности оперативного управления показателями эффективности. Рассмотрим алгоритм работы программы «Модуль для определения эффективности деятельности высшего учебного заведения» [14].

¹⁵ Яндыбаева Н. В., Кушников В. А. Inform System CQEP // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616991 от 08.09.2011 г.

¹⁶ Яндыбаева Н. В., Кожанова Е. Р., Кушников В. А. Модуль для определения эффективности деятельности вуза // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613210 от 19.03.2014 г.



Р и с. 3. Динамика моделируемых переменных X_1 – X_8 на интервале [0; 3] года
 F i g. 3. Dynamics of the simulated variables X_1 – X_8 on the interval [0; 3] years

На первом этапе осуществляется выбор местоположения и типа вуза. Значения пороговых показателей мониторинга для различных типов вузов приведены в соответствующих базах данных, созданных в MS Access 2007. Подключения баз к основному блоку программы производится через .NET Framework для OLE DB. После этого вводятся фактические и пороговые значения показателей эффективности, весовые коэффициенты, которые выбираются экспертами. В процессе работы программы вычисляются взвешенные отклонения значений фактических показателей от критических (пороговых). При этом определяется значение целевой функции $Z(t)$ по следующей формуле:

$$Z(t) = \int_{t_{нач}}^{t_{кон}} \sum_{i=1}^j (X_i^n(t) - X_i^\phi(t))^2 \cdot \mu_i \cdot dt \rightarrow \min, \quad (8)$$

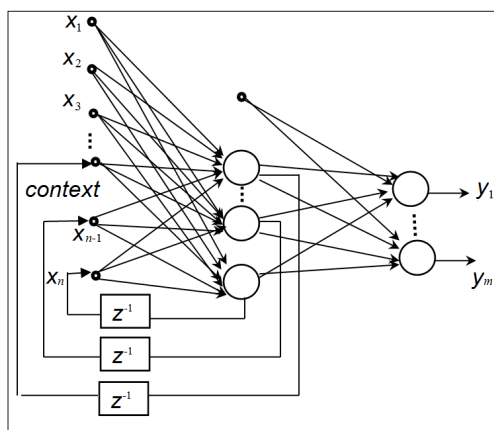
где $i = 1..j$ – число показателей эффективности образовательной деятельности; μ_i – коэффициент (доля) i -го показателя эффективности; X_i^n – пороговое (критическое) значение

показателя эффективности; X_i^ϕ – фактическое значение показателя эффективности; $0 < X_i^\phi \leq 1$ – фактические показатели эффективности нормированы; $0 < X_i^n \leq 1$ – пороговые показатели эффективности подчинены нормальному закону распределения. В качестве начальных условий определим: $0 < X_{0i} \leq 1$. Управляющие воздействия $U(t) \in \bar{u}(t)$ – процедуры решений ЛПР, которые представляют собой линейные уравнения вида: $U(t) = at + b$; где $a, b > 0$; t – время.

Целевая функция $Z(t)$ позволяет оперативно управлять образовательной деятельностью вуза посредством варьирования значения показателей и весовых коэффициентов μ_i . Весовой коэффициент μ_i служит для гибкого планирования администрацией своей образовательной политики, определяя приоритеты в развитии вуза. С целью достижения необходимой точности и снижения погрешности расчетов определение значений целевой функции (8) необходимо производить 2 спо-



собами: 1) численным методом Симпсона; 2) с помощью искусственной нейронной сети *Elman backprop*. Сеть Элмана характеризуется частичной рекуррентностью в виде обратной связи между скрытым и входным слоями нейронов. Данная связь формируется с использованием единичных элементов запаздывания z^{-1} . Рекуррентные сети, по сути своей, являются потомками однонаправленных сетей персептронного типа. Архитектура искусственной нейронной сети *Elman backprop* представлена на рис. 4.



Р и с. 4. Архитектура *Elman backprop*
F i g. 4. The architecture of *Elman backprop*

Значения функции $Z(t)$ вычислялись по формуле (8), при заданном интервале $[t_{нач}; t_{кон}]$, равным соответственно $[0; 1]$ с шагом 0,1 месяца, $i = 1 \dots 8$ – количество показателей эффективности. Определим значения коэффициентов $\mu_i = const$ на всех интервалах времени, руководствуясь следующими приоритетами: для X_3 – международной деятельности вуза определим $\mu_1 = 0,2$; для X_6 – трудоустройства выпускников $\mu_2 = 0,2$; для X_8 – дополнительные показатели образовательных организаций $\mu_2 = 0,2$. Значения коэффициентов μ_i приведены в матрице-столбце:

$$\mu_i = \begin{matrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \\ \mu_5 \\ \mu_6 \\ \mu_7 \\ \mu_8 \end{matrix} = \begin{matrix} 0,13 \\ 0,14 \\ 0,20 \\ 0,01 \\ 0,01 \\ 0,02 \\ 0,01 \\ 0,20 \end{matrix}.$$

Значения функции $Z(t)$, рассчитанные по методу Симпсона, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Table 2

Значения функции $Z(t)$, рассчитанные по методу Симпсона
The values of the function $Z(t)$, calculated by the Simpson method

Z	t
42,5	[0; 0,001]
376,0	[0; 0,1]
654,7	[0; 0,2]
883,3	[0; 0,3]
1066,3	[0; 0,4]
1208,1	[0; 0,5]
1312,7	[0; 0,6]
1384,3	[0; 0,7]
1426,5	[0; 0,8]
1443,0	[0; 0,9]
1437,3	[0; 10]

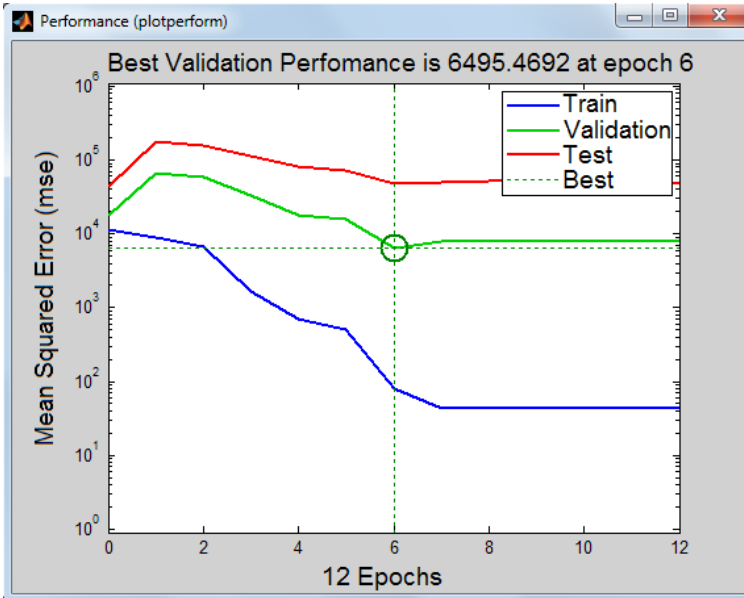
При создании и обучении нейронной сети обучающее множество было достаточно представительным и включало 15 значений целевой функции Z на заданном интервале. Нейронная сеть обучалась с заданным числом итераций – 1 000. Результаты обучения выводились через 25 итераций при погрешности расчетов 0. Сеть обучилась относительно быстро, пройдя 12 итераций:

[42,6448; 377,9812; 644,8256; 883,6781;
1066,3; 1195,3851; 1313.4688; 1385,3674;
1443,0096; 1443,0167; 1443,0099]

График расчета погрешности при обучении и вид тестовой кривой ней-

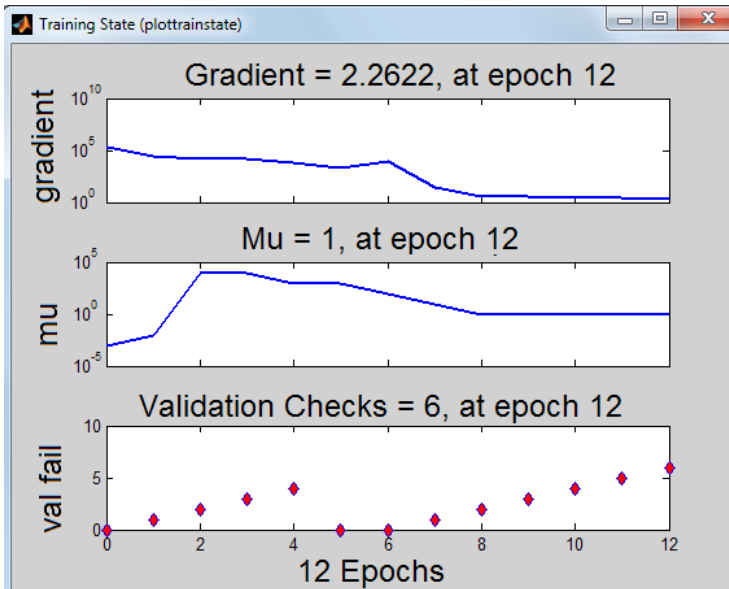
ронной сети представлены на рис. 5–6 соответственно.

Погрешность вычисления $Z(t)$ по методу Симпсона и с помощью искусственной нейронной сети составляет



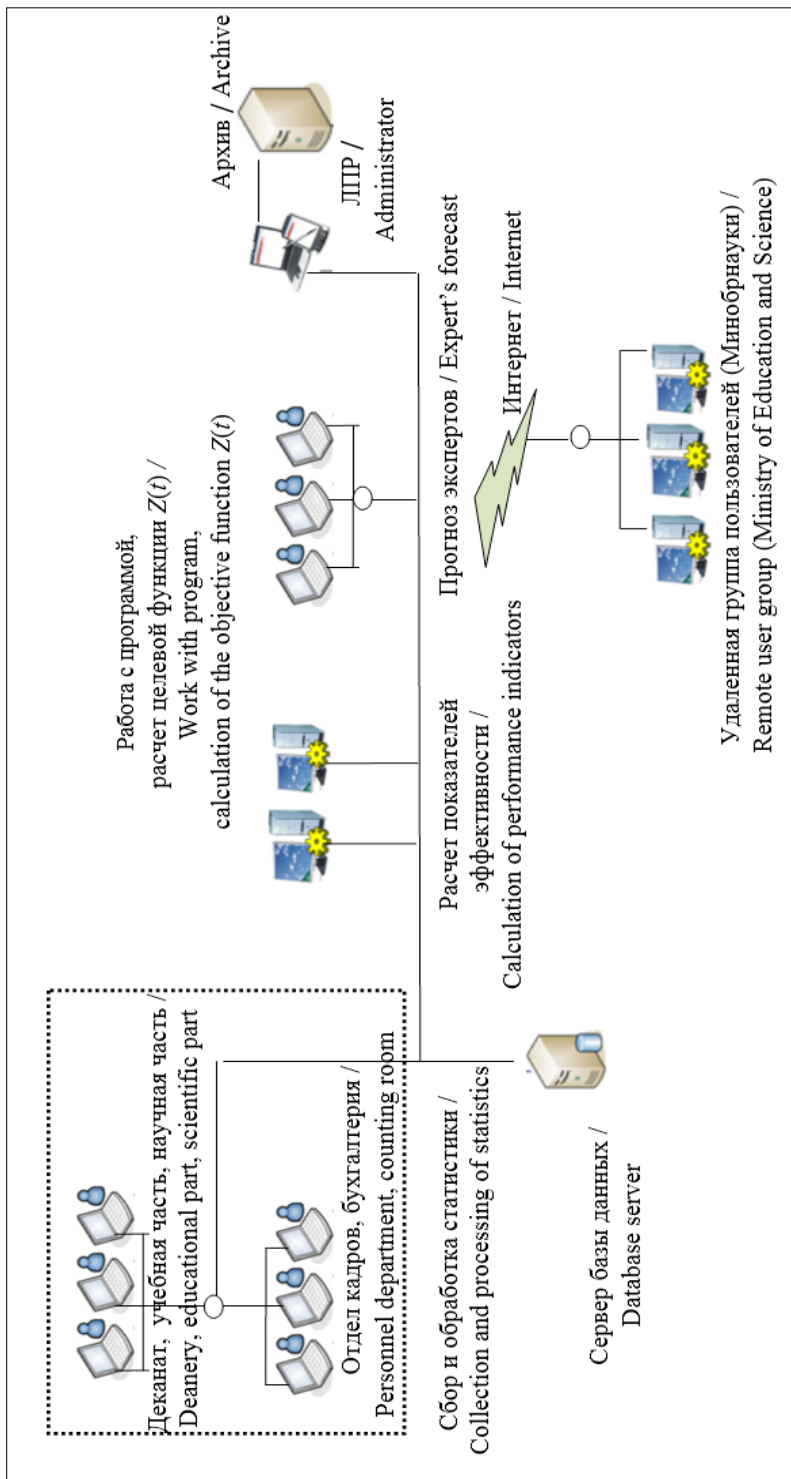
Р и с. 5. Расчет погрешности

F i g. 5. Calculation of error



Р и с. 6. Вид обучающей кривой

F i g. 6. The view of training curve



Р и с. 7. Схема проведения мониторинга вуза
F i g. 7. The scheme of the monitoring in the university

10–15 %. Подобный подход к вычислению квадратичного критерия $Z(t)$ двумя способами способствует снижению погрешности вычислений и увеличению точности расчетов.

«Модуль для определения эффективности деятельности высшего учебного заведения» предоставляет возможность архивирования вычисленных значений показателей эффективности в базе данных для последующего использования при проведении мониторинга.

Варьируя значения весовых коэффициентов μ_i в зависимости от текущей ситуации, ЛПР получает возможность оперативного управления образовательной деятельностью вуза. На рис. 7 показана схема проведения мониторинга в вузе с использованием разработанного программного обеспечения.

Приведем алгоритм практического применения разработанного математического и программного обеспечения в интегрированной среде вуза.

1. По собранным статистическим данным (отчетам, актам самообследования) формируется массив необходимой информации.

2. Исходные данные формализуются для проведения расчетов, по приведенной методике определяются показатели эффективности образовательной деятельности вуза.

3. Полученные показатели предоставляются в Министерство образования и науки РФ.

4. Рассчитываются прогнозные значения показателей с использованием модели (6) на заданном временном интервале. Возможные сценарии осуществления вузом образовательной деятельности анализируются экспертами с учетом прогнозных значений показателей эффективности.

5. Определяется величина отклонений фактических значений показателей эффективности от пороговых значений (рассчитывается квадратичный критерий $Z(t)$).

6. ЛПР (ректорат, директор, декан факультета) информируется о текущей ситуации в вузе. Если ситуация критическая (в случае значительного отклонения фактических показателей от пороговых значений) определяются возможные направления ее ликвидации.

Обсуждение и заключения

Разработанное математическое и программное обеспечение может найти широкое применение при мониторинге образовательной деятельности вуза для определения прогнозных значений показателей его эффективности. Это позволит существенно снизить вероятность возникновения критических ситуаций. Созданные модели, методы и программы предоставляют возможность оперативного управления вузом путем сравнения пороговых и фактических показателей эффективности и формирования гибкой образовательной стратегии для конкретного высшего учебного заведения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Модель для оценки состояния национальной безопасности России на основе теории системной динамики / А. Ф. Резчиков [и др.] // Прикладная информатика. 2017. Т. 68, № 2. С. 106–118. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29155311>
2. **Наводнов В. Г., Мотова Г. Н.** Практика аккредитации в системе высшего образования России // Высшее образование в России. 2015. № 5. С. 12–20. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/praktika-akkreditatsii-v-sisteme-vysshego-obrazovaniya-rossii>
3. **Сухинин В. П., Горшенина М. В.** Управление качеством проектирования образовательной среды вуза // Вестник Самарского государственного технического университета (Сер. «Психолого-педагогические науки»). 2014. Т. 23, № 3. С. 192–197. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23272608>



4. **Сухинин В. П., Горшенина М. В.** Диагностика образовательной среды вуза с помощью векторного моделирования // Вестник Самарского государственного технического университета (Сер. «Психолого-педагогические науки»). 2014. Т. 21, № 1. С. 186–192. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22790947>
5. **Яндыбаева Н. В., Кушников В. А.** Математические модели, алгоритмы и комплексы программ для мониторинга эффективности образовательной деятельности вуза // Проблемы управления. 2015. № 1. С. 53–63. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22958726>
6. **Яндыбаева Н. В.** Принцип системной динамики в управлении качеством образовательного процесса вуза // В мире научных открытий. 2010. № 2-3. С. 46–48. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15190515>
7. **Новиков Д. А.** Кибернетика 2.0 // Проблемы управления. 2016. № 1. С. 73–81. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25505770>
8. **Димитриади Г. Г., Ларичев О. И.** Система поддержки принятия решений и метод ЗАПРОС-III: ранжирование многокритериальных альтернатив с вербальными оценками качества // Автоматика и телемеханика. 2005. Т. 66, № 8. С. 146–160. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16287801>
9. **Codd E. F.** A relational model of data for large shared data banks // Communications of the ACM. 1970. Vol. 13 (6). P. 377–387. DOI: 10.1145/362384.362685
10. Data mining and knowledge Discovery – 1996 to 2005: overcoming the hype and moving from «University» to «Business» and «Analytics» Gregory Piatetsky-Shapiro, data mining and knowledge // Discovery Journal. 2007. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10618-006-0058-2>
11. Intelligence system for supporting human-computer interaction engineering processes / M. N. Sheriyev [et al.] // Applied Mathematics and Information Sciences. 2016. Vol. 10, № 3. P. 927–935. DOI: 10.18576/amis/100310
12. **Tuglular T., Belli F., Linschulte M.** Input contract testing of graphical user interfaces // International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 2016. Vol. 26, no. 2. P. 183–215. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26987153>
13. **Кoo H. M., Ko I. Y.** An analysis of problem-solving patterns in open source software // International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering. 2015. Vol. 25, no. 6. P. 1077–1103. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25220031>
14. **Яндыбаева Н. В., Кожанова Е. Р., Кушников В. А.** Разработка программного продукта для определения эффективности деятельности высшего учебного заведения // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2014. Т. 75, № 2. С. 214–219. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22567751>

Поступила 13.11.2017; принята к публикации 27.12.2017; опубликована онлайн 20.03.2018

Об авторе:

Яндыбаева Наталья Валентиновна, доцент кафедры информационного и документационного обеспечения управления, Балаковский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (413865, Россия, г. Балаково, ул. Чапаева, д. 107), кандидат технических наук, ResearcherID: V-3314-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2145-6501>, nat07@inbox.ru

Автор прочитала и одобрила окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Rezchikov A. F., Kushnokov V. A., Yandybaeva N. V., Ivaschenko V. A., Bogomolov A. S., Filimonuk L. Yu. Model to assess the state of Russia's national security, based on system dynamics theory. *Prikladnaya informatika = Applied Informatics*. 2017; 2(68):106–118. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29155311> (In Russ.)

2. Navodnov V. G., Motova G. N. [The practice of accreditation in the system of higher education in Russia]. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii* = Higher Education in Russia. 2015; 5:12–20. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/praktika-akkreditatsii-v-sisteme-vysshego-obrazovaniya-rossii> (In Russ.)
3. Sukhinin V. P., Gorshenina M. V. Quality management design of the educational environment of the university. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Psikhologo-pedagogicheskiye nauki* = Samara State Technical University Bulletin. Psychological and Pedagogical Sciences. 2014; 23(3):192–197. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23272608> (In Russ.)
4. Sukhinin V. P., Gorshenina M. V. Diagnostics of the educational university environment by means of vector modeling. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Psikhologo-pedagogicheskiye nauki* = Samara State Technical University Bulletin. Psychological and Pedagogical Sciences. 2014; 21(1):186–192. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22790947> (In Russ.)
5. Yandybaeva N. V., Kushnikov V. A. [Mathematical models, algorithms and program complexes for monitoring the effectiveness of the educational activity of the university]. *Problemy upravleniya* = Management Problems. 2015; 1:53–63. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=22958726> (In Russ.)
6. Yandybaeva N. V. [The principle of system dynamics in the management of the quality of the university educational process]. *V mire nauchnykh otkrytiy* = In the World of Scientific Discoveries. 2010; 2(3):46–48. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15190515> (In Russ.)
7. Novikov D. A. [Cybernetics 2.0]. *Problemy upravleniya* = Management Issues. 2016; 1:73–81. Available at: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25505770> (In Russ.)
8. Dimitriadi G. G., Larichev O. I. The decision support system and the ZAPROS-III method for ranking the multiattribute alternatives with verbal quality estimates. *Avtomatika i telemekhanika* = Automation and Telemechanics. 2005; 66(8):146–160. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16287801> (In Russ.)
9. Codd E. F. A relational model of data for large shared data banks // *Communications of the ACM*. 1970; 13(6):377–387. DOI: 10.1145/362384.362685
10. Piatetsky-Shapiro G. Data mining and knowledge Discovery – 1996 to 2005: overcoming the hype and moving from “University” to “Business” and “Analytics”, data mining and knowledge. *Discovery Journal*. 2007. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10618-006-0058-2>
11. Sheriyev M. N., Atymtayeva L. B., Beissembetov I. K., Kenzhaliyev B. K. Intelligence system for supporting human-computer interaction engineering processes. *Applied Mathematics and Information Sciences*. 2016; 10(3):927–935. DOI: 10.18576/amis/100310
12. Tuglular T., Belli F., Linschulte M. Input contract testing of graphical user interfaces. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2016; 26(2):183–215. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26987153>
13. Koo H. M., Ko I. Y. An analysis of problem-solving patterns in open source software. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2015; 25(6):1077–1103. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25220031>
14. Yandybaeva N. V., Kozhanova E. R., Kushnikov V. A. Developing software to determine effectiveness of a higher school. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Saratov State Technical University Bulletin. 2014; 2(75):214–219. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22567751> (In Russ.)

Submitted 13.11.2017; revised 27.12.2017; published online 20.03.2018

About the author:

Natalya V. Yandybaeva, Associate Professor, Chair of Information and Document Support, Balakovo Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (107 Chapayeva St., Balakovo 413865, Russia), Ph.D. (Engineering), ResearcherID: V-3314-2017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2145-6501>, nat07@inbox.ru

The author has read and approved the final version of the manuscript.