

УДК 517.958:52/59
ББК 22.165

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АККРЕДИТАЦИИ ВУЗА

Яндыбаева Н. В.¹, Кушников В. А.².

*(Саратовский государственный технический университет
им. Ю.А. Гагарина, Саратов)*

Предложена методика, основанная на модели Дж. Форрестера, которая позволяет осуществлять эффективный контроль качества образовательного процесса вуза. В решении задачи управления качеством используются нормированные показатели аккредитации вуза.

Ключевые слова: модель системной динамики Дж. Форрестера, образовательный процесс, высшая школа, показатели аккредитации.

1. Введение

Инновационные изменения, происходящие в обществе, переход вузов на двухуровневую систему подготовки специалистов, повышение автономности вузов, развитие негосударственного сектора выявили проблему оценки качества высшего образования. На нынешнем социально-экономическом этапе в России необходимо учитывать следующие тенденции развития системы высшего образования:

1. Усиление децентрализации государственного управления и регулирования в системе высшего профессионального образования и, как следствие, повышение автономности вузов.

¹ Наталья Валентиновна Яндыбаева, аспирант (nat07@inbox.ru).

² Вадим Алексеевич Кушников, доктор технических наук, профессор (kushnikoff@yandex.ru).

2. Появление и развитие негосударственного сектора в системе высшего образования и связанное с этим усиление внимания к проблемам контроля качества предоставляемых услуг.

3. Возрастание конкуренции между вузами на фоне демографического спада.

Эти предпосылки способствуют разработке методов контроля и управления качеством образовательного процесса в вузе с учетом специфики конкретного вуза, его статуса и вида, профессорско-преподавательского состава, инновационной среды и предполагают в конечном итоге четкое разграничение полномочий головных вузов, филиалов, подразделений в плане выбора образовательной стратегии.

Основными способами контроля образовательной деятельности вуза в России являются лицензирование и аккредитация. Методические основы проведения данной экспертизы разработаны в трудах исследователей В.Г. Наводнова, В.И. Байденко, Г.Н. Мотовой, Е.Н. Геворкян и др. и подробно изложены в соответствующих нормативно-правовых документах [2].

В соответствии с действующим положением вуз обязан периодически проходить лицензионную и аккредитационную экспертизу, по результатам которой определяется его статус (университет, академия, институт) и принимается решение о продолжении деятельности в сфере образования. Критериальные показатели аккредитации для вузов различных типов приведены в таблице 1.

Между тем, как показывает практика, существующая процедура лицензирования и аккредитации вузов РФ обладает рядом особенностей, снижающих, на наш взгляд, эффективность процесса контроля и управления качеством образовательного процесса.

Экспертиза проводится один раз в пять лет, вуз к ней тщательно готовится, полученные результаты считаются неизменными на всем интервале аккредитации. При этом практически не учитываются неизбежные изменения показателей аккредитации вуза между двумя экспертизами, вызванные воздействием внешних факторов.

Таблица 1. Критериальные значения показателей аккредитации вузов различных типов

X_i^{Φ}	Показатель аккредитации	Критериальное значение		
		Университет	Академия	Институт
X_1	Число аспирантов на 100 студентов контингента, приведенного к очной форме обучения (чел.)	4	2	–
X_2	Среднегодовой объем научных исследований на единицу научно-педагогического персонала за пять лет (тыс. руб)	18	12	5
X_3	Среднегодовой объем финансирования научных исследований за пять лет (млн. руб)	10	5	1,5
X_4	Среднегодовой контингент обучающихся по образовательным программам профессиональной переподготовки и/или повышения квалификации (чел.)	50	20	–
X_5	Среднегодовое количество монографий на 100 основных штатных педагогических работников с учеными степенями и/или учеными званиями, изданных за 5 лет (шт.)	2	1,5	1,2
X_6	% аспирантов, защитившихся в течение года после окончания аспирантуры (от числа поступивших) (чел.)	25	25	–
X_7	% ППС с учеными степенями и /или званиями	60	60	55
X_8	% в ППС докторов наук и /или профессоров	10	10	8,5
X_9	Среднегодовое число защит диссертаций на 100 человек научно-педагогического персонала за пять лет	3	3	1
X_{10}	% ППС, работающего в вузе на штатной основе	50	50	50

Оценка эффективности функционирования вуза на всем пятилетнем интервале аккредитации, полученная на основе однократного замера основных показателей его деятельности в начале данного интервала, представляется недостаточно достоверной, особенно с учетом человеческого фактора и тщательной подготовки, предшествующей проведению экспертизы. Образовательный процесс в вузе характеризуется большим количеством показателей, для изменения которых требуется значительное время.

Существующий методологический аппарат не дает возможность осуществить прогноз этих показателей на интервале между аккредитациями, что не позволяет руководству вуза своевременно устранить возникающие негативные тенденции и уменьшает практическую ценность проведенной экспертизы.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость разработки и внедрения новых математических моделей и алгоритмов, позволяющих осуществлять оценку основных показателей вуза на всем интервале его аккредитации, что позволит преодолеть указанные трудности.

2. Постановка задачи

Для автоматизированной системы контроля качества образовательного процесса вуза разработать математическую модель, позволяющую осуществить:

– прогнозирование изменений показателей аккредитации высшего учебного заведения на выбранном ЛПР временном интервале $[t_{\text{нач}}, t_{\text{кон}}]$;

– оперативное управление качеством образовательного процесса по критерию минимума целевой функции (1), характеризующей отклонение фактических значений показателей аккредитации X_i^{Φ} , $i = 1, \dots, 10$, от заданных (критериальных) значений X_i^K , $i = 1, \dots, 10$, на временном интервале $[t_{\text{нач}}, t_{\text{кон}}]$

$$(1) \quad F(t) = \int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} \sum_{i=1}^n (X_i^K(t) - X_i^{\Phi}(t))^2 \cdot \mu_i \cdot dt \rightarrow \min ,$$

где μ_i – весовой коэффициент i -го показателя аккредитации.

3. Математическая модель

Поскольку образовательный процесс представляет собой недетерминированную, стохастичную систему, были проанализированы модели, описывающие процессы, происходящие в сложных системах.

Среди них – агрегатная модель Бусленко, дискретно-непрерывная модель Глушкова, гибридная система А. Пнуэли. Они используются преимущественно для анализа непрерывно-дискретных систем. Модель Месаровича – Пестеля позволяет анализировать сложные системы на основе теории многоуровневых иерархических систем [1, 4, 6].

Все вышеперечисленные модели могут использоваться для описания образовательного процесса лишь на отдельных этапах, так как не позволяют учитывать в полной мере особенности функционирования объекта исследований в силу его сложной, человекозависимой природы.

Для наиболее точного описания взаимосвязи элементов в образовательном процессе используем модель мировой динамики Дж. Форрестера [9].

Модель базируется на принципе системной динамики – методе изучения сложных систем с нелинейными обратными связями, разработанным Дж. Форрестером в конце 50-х годов XX века. Аналитические основы построения модели, предназначенной для имитации мировых процессов, были рассмотрены в его работах, посвященных изучению промышленных и урбанизированных систем.

Методология системной динамики предполагает, что поведение системы определяется ее информационно-логической структурой.

Структурная схема содержит источники усиления временных задержек и информационных обратных связей, подобных тем, которые встречаются в сложных инженерных системах [7, 10].

Базовая модель мировой динамики Дж. Форрестера «Мир-2» состоит из следующих элементов: уровней; потоков, перемещающих содержимое одного уровня к другому; процедур решений, которые регулируют темпы потока между уровнями;

каналов информации, соединяющих процедуры решений с уровнями (рис. 1).

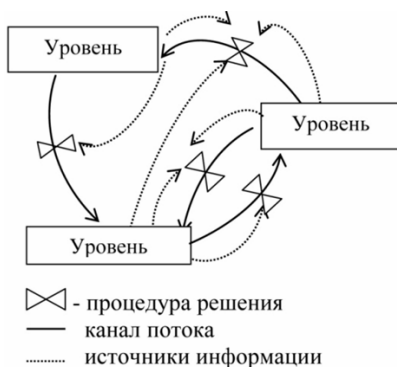


Рис. 1. Базовая структура модели Форрестера

Для основных фазовых переменных (так называемых системных уровней) составляются дифференциальные уравнения типа (2):

$$(2) \quad \frac{dy}{dt} = y^+ - y^-,$$

где y^+ – положительный темп скорости переменной y , включающий в себя все факторы, вызывающие рост переменной y ; y^- – отрицательный темп скорости, включающий в себя все факторы, вызывающие убывание переменной y .

Предполагается, что эти темпы расщепляются на произведение функций, зависящих только от «факторов» – комбинаций основных переменных, т.е. в свою очередь самих являющихся функциями системных уровней:

$$(3) \quad y^{\pm} = g(y_1, y_2, \dots, y_n) = f(F_1, F_2, \dots, F_k) = f_1(F_1) f_2(F_2) \dots f_k(F_k),$$

где $F_j = g(y_{i1}, \dots, y_{im})$ – факторы, причем $m = m(j) < n$, $k = k(j) < n$ (число уровней).

То есть факторов меньше, чем основных переменных, и каждый фактор зависит не от всех системных уровней, а только от какой-то их части. Это позволяет упростить задачу моделирования.

Динамическая структура модели представлена рядом уровней, связанных между собой управляемыми потоками (рис. 1).

В модели Дж. Форрестера для образовательного процесса существует несколько взаимосвязанных потоков – студентов/аспирантов, денежных средств, материально-технического, методического обеспечения образовательного процесса, профессорско-преподавательского состава.

На основании анализа причинно-следственных связей, существующих между основными показателями аккредитационного процесса, разработан знаковый орграф, приведенный на рис. 2.

Рассмотрим основные контуры данного орграфа, а также соответствующие им описания образовательного процесса с использованием аппарата обыкновенных дифференциальных уравнений.

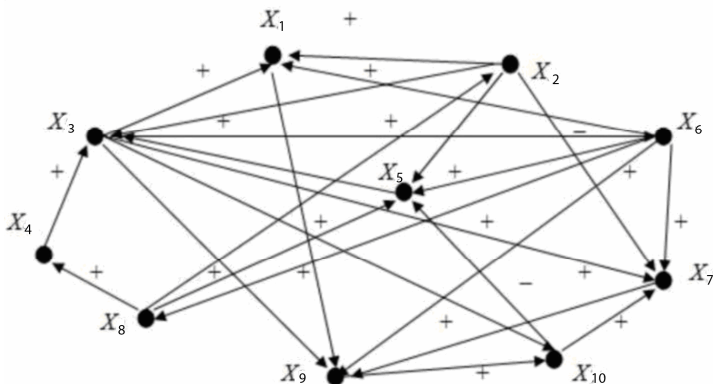


Рис. 2. Знаковый орграф

На рис. 3. приведен фрагмент модели Форрестера, на котором представлены уровни X_1, X_2, X_3, X_4, X_6 .

На схеме указаны факторы, влияющие на уровни – показатели качества образовательного процесса, темпы, коэффициенты зависимости одного фактора от другого. Ниже приводятся подграфы этих системных уровней и записаны дифференциальные уравнения уровней и темпов.

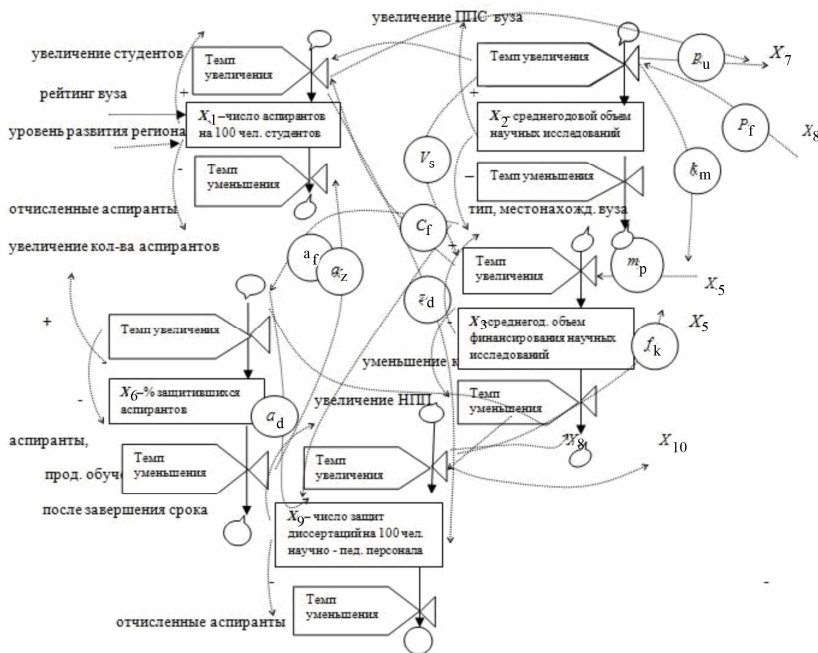


Рис. 3. Фрагмент модели Форрестера с уровнями X_1, X_2, X_3, X_4, X_6

На рис. 4. показан подграф системного уровня X_1 . Дифференциальное уравнение, описывающее взаимосвязи в уровне:

$$(4) \quad \frac{dX_1}{dt} = (X_1^{T+} - X_1^{T-}) = X_1 \left(\frac{B}{X_1} - \frac{D}{X_1} \right),$$

$$D = f_1^{T-}(X_2) f_2^{T-}(X_3) f_3^{T-}(X_8) f_4^{T-}(X_9),$$

$$B = f_1^{T+}(X_2) f_2^{T+}(X_5) f_3^{T+}(X_8) f_4^{T+}(X_9),$$

где B – среднегодовое количество зачисленных аспирантов (чел.); D – среднегодовое количество отчисленных аспирантов (чел.); X_1 – текущая численность аспирантов (чел.).

Положительные и отрицательные темпы изменения фактора X_1 вычисляются по формуле

$$(5) \quad X_1^{T+} = f_1^{T+}(X_2) \cdot f_2^{T+}(X_6) \cdot f_3^{T+}(X_7) \cdot f_4^{T+}(X_8) \cdot f_5^{T+}(X_9) \cdot f_6^{T+}(X_{10}),$$

$$X_1^{T-} = f_1^{T-}(X_2) \cdot f_2^{T-}(X_6) \cdot f_3^{T-}(X_7) \cdot f_4^{T-}(X_8) \cdot f_5^{T-}(X_9) \cdot f_6^{T-}(X_{10}).$$

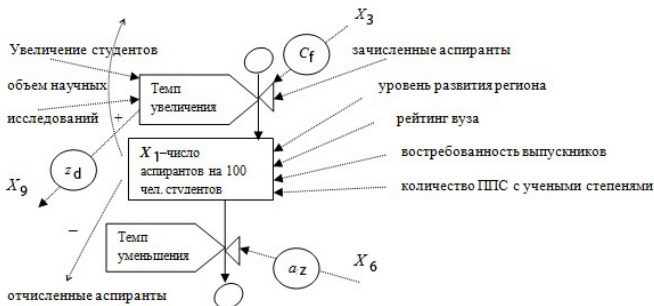


Рис. 4. Подграф системного уровня X_1

Для системного уровня X_2 запишем уравнение (6):

$$(6) \quad \frac{dX_2}{dt} = X_2^{T+} - X_2^{T-} = X_2 \left(\left(\frac{U}{P_s} \right)^+ - \left(\frac{U}{P_s} \right)^- \right)$$

$$U^+ = \frac{F^+ + G^+ + S^+}{P^+}; \quad U^- = \frac{F^- + G^- + S^-}{P^-},$$

где F – среднегодовой объем финансовых средств, располагаемых вузом (тыс. руб.); G – объем научно-исследовательской работы по освоению грантов российских научных фондов (тыс. руб.); S – собственные средства научно-педагогического персонала (тыс. руб.); P^\pm – численность научно – педагогического персонала на начало/конец расчетного периода (чел.); P_s – среднегодовая численность научно-педагогического персонала (чел.); U^\pm – положительный/ отрицательный темпы изменения показателя X_2

Подграф системного уровня X_2 приведен на рис. 5.

Положительные и отрицательные темпы для X_2 вычисляются по формуле

$$(7) \quad X_2^{T+} = f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_3) \cdot f_3^{T+}(X_6) \cdot f_4^{T+}(X_7) \cdot f_5^{T+}(X_8) \cdot f_6^{T+}(X_9),$$

$$X_2^{T-} = f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_3) \cdot f_3^{T-}(X_6) \cdot f_4^{T-}(X_7) \cdot f_5^{T-}(X_8) \cdot f_6^{T-}(X_9).$$

Подграф системного уровня X_3 приведен на рис. 6. Для системного уровня X_3 дифференциальное уравнение (8) представлено ниже.

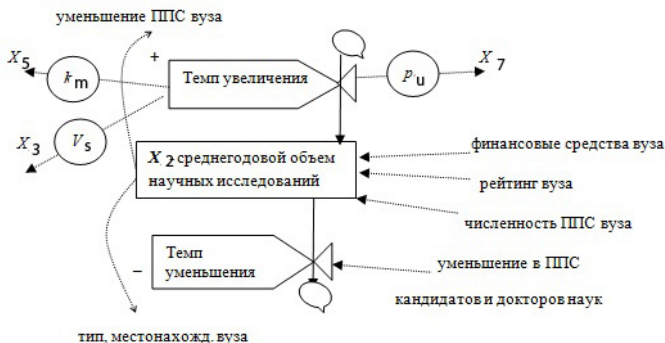


Рис.5. Подграф системного уровня X_2

$$(8) \quad \frac{dX_3}{dt} = X_3^{T+} - X_3^{T-} = X_3 \left(\left(\frac{SK + M + S}{V} \right)^+ - \left(\frac{SK + M + S}{V} \right)^- \right),$$

где SK - средства частных компаний, фирм (млн. руб.); M - средства Минобрнауки (млн. руб.); S - собственные средства научно-педагогического персонала (млн. руб.); V - текущий объем финансирования за расчетный период (млн. руб.).

Положительные и отрицательные темпы для X_3 описываются с помощью уравнения

$$(9) \quad \begin{aligned} X_3^{T+} &= f_1^{T+}(X_2) \cdot f_2^{T+}(X_4) \cdot f_3^{T+}(X_6) \cdot f_4^{T+}(X_7) \cdot f_5^{T+}(X_8) \cdot f_6^{T+}(X_9), \\ X_3^{T-} &= f_1^{T-}(X_2) \cdot f_2^{T-}(X_4) \cdot f_3^{T-}(X_6) \cdot f_4^{T-}(X_7) \cdot f_5^{T-}(X_8) \cdot f_6^{T-}(X_9). \end{aligned}$$

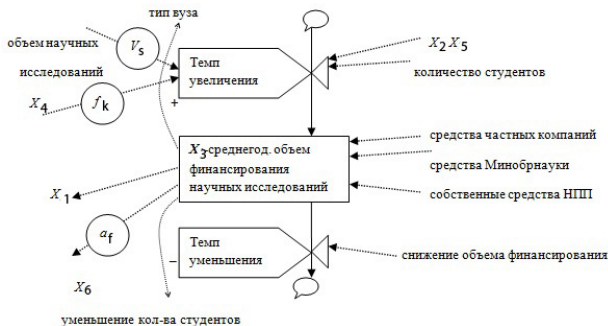


Рис. 6. Подграф системного уровня X_3

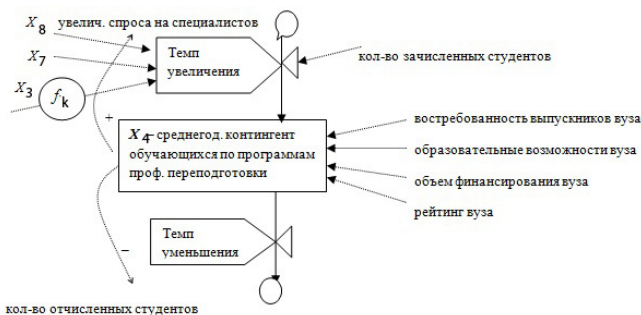


Рис. 7. Подграф системного уровня X_4

Для системного уровня X_4 дифференциальное уравнение имеет вид (10). Подграф системного уровня X_4 приведен на рис. 7.

$$(10) \frac{dX_4}{dt} = X_4^{T+} - X_4^{T-} = X_4 \left(\left(\frac{K_z}{X_4} \right)^+ - \left(\frac{K_o}{X_4} \right)^- \right),$$

где K_z – количество зачисленных студентов на переподготовку (чел.); K_o – количество отчисленных студентов (чел.); X_4 – текущая численность контингента студентов (чел.).

Положительные и отрицательные темпы в системном уровне можно записать следующим образом:

$$(11) \quad X_4^{T+} = f_1^{T+}(X_3) \cdot f_2^{T+}(X_5) \cdot f_3^{T+}(X_6) \cdot f_4^{T+}(X_7) \cdot f_5^{T+}(X_8),$$

$$X_4^{T-} = f_1^{T-}(X_3) \cdot f_2^{T-}(X_5) \cdot f_3^{T-}(X_6) \cdot f_4^{T-}(X_7) \cdot f_5^{T-}(X_8).$$

На рис. 8. приведен фрагмент модели Форрестера, на котором изображены взаимосвязи факторов $X_5, X_7, X_8, X_9, X_{10}$.

Подграф системного уровня X_5 приведен на рис. 9, дифференциальное уравнение (12) записано ниже.

$$(12) \quad \frac{dX_5}{dt} = X_5^{T+} - X_5^{T-} = X_5 \left(\left(\frac{M_v}{P_p} \right)^+ - \left(\frac{M_p}{P_p} \right)^- \right).$$

В уравнении (12) примем следующие обозначения:

$$M_p = \frac{M_n}{ST}, \quad M_v = \frac{M_i}{ST}.$$

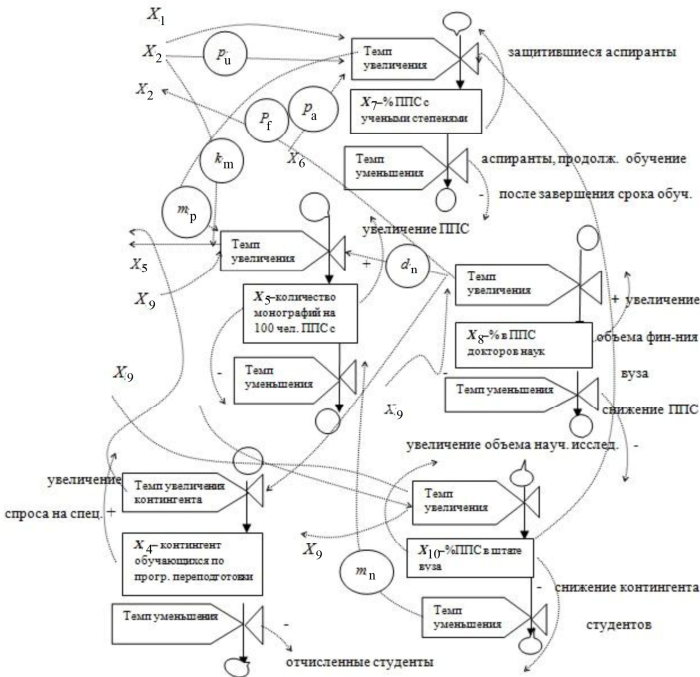


Рис. 8. Фрагмент модели Форрестера с уровнями $X_5, X_7, X_8, X_9, X_{10}$

Здесь M_i – количество изданных вузом монографий (шт.); M_n – количество монографий в печати или изданных в других вузах (шт.); M_p – среднегодовое количество монографий за расчетный период (шт.); ST – количество штатного профессорско-преподавательского состава вуза с учеными степенями (чел.); P_p – среднегодовая численность научно-педагогического персонала (чел).

Положительные и отрицательные темпы в системном уровне можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned}
 X_5^{T+} &= f_1^{T+}(X_2) \cdot f_2^{T+}(X_3) \cdot f_3^{T+}(X_6) \cdot f_4^{T+}(X_7) \cdot \\
 (13) \quad & f_5^{T+}(X_8) \cdot f_6^{T+}(X_9) \cdot f_7^{T+}(X_{10}), \\
 X_5^{T-} &= f_1^{T-}(X_2) \cdot f_2^{T-}(X_3) \cdot f_3^{T-}(X_6) \cdot f_4^{T-}(X_7) \cdot \\
 & \cdot f_5^{T-}(X_8) \cdot f_6^{T-}(X_9) \cdot f_7^{T-}(X_{10}).
 \end{aligned}$$

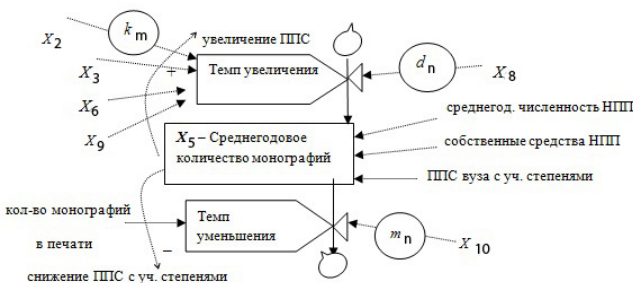


Рис. 9. Подграф системного уровня X_5

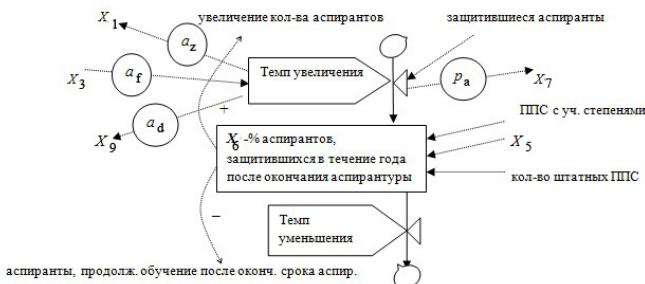


Рис. 10. Подграф системного уровня X_6

Подграф системного уровня X_6 приведен на рис. 10. Дифференциальное уравнение для уровня:

$$(14) \frac{dX_6}{dt} = X_6^{T+} - X_6^{T-} = X_6 \left(\left(\frac{A_z}{B} \right)^+ - \left(\frac{A_d}{B} \right)^- \right),$$

где A_d – количество аспирантов, продолжающих обучение после истечения срока аспирантуры (чел.); A_z – количество защитившихся аспирантов после окончания аспирантуры (чел.); B – среднегодовое количество зачисленных аспирантов (чел.); X_6 – среднегодовое количество защитившихся аспирантов (чел.).

Положительные и отрицательные темпы вычисляются по формуле

$$(15) \begin{aligned} X_6^{T+} &= f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_2) \cdot f_3^{T+}(X_3) \cdot f_4^{T+}(X_5) \cdot \\ &\cdot f_5^{T+}(X_7) \cdot f_6^{T+}(X_8) \cdot f_7^{T+}(X_9) \cdot f_8^{T+}(X_{10}), \\ X_6^{T-} &= f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_2) \cdot f_3^{T-}(X_3) \cdot f_4^{T-}(X_5) \cdot \\ &\cdot f_5^{T-}(X_7) \cdot f_6^{T-}(X_8) \cdot f_7^{T-}(X_9) \cdot f_8^{T-}(X_{10}). \end{aligned}$$

Подграф системного уровня X_7 изображен на рис. 11. Дифференциальное уравнение уровня имеет вид (16).

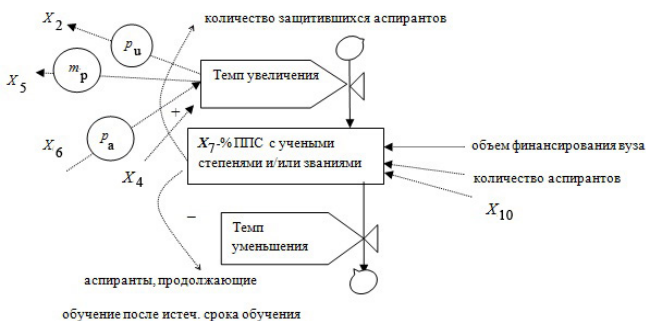


Рис. 11. Подграф системного уровня X_7

$$(16) \frac{dX_7}{dt} = X_7^{T+} - X_7^{T-} = X_7 (K_k - K_n),$$

$$K_k = \left(\frac{KN + KP}{KS} \right)^+, \quad K_n = \left(\frac{KN + KP}{KS} \right)^-,$$

где K_n – количество профессорско-преподавательского состава с учеными степенями и званиями на начало расчетного периода (чел.); K_k – количество профессорско-преподавательского состава с учеными степенями и званиями на конец расчетного периода (чел.); KN – количество кандидатов наук на начало расчетного периода (чел.); KP – количество докторов наук, профессоров (чел.); KS – общая численность профессорско-преподавательского состава вуза (чел.); X_7 – текущий % профессорско-преподавательского состава (ППС) с учеными степенями и/или званиями.

Положительные и отрицательные темпы вычисляются по формуле

$$(17) \quad \begin{aligned} X_7^{T+} &= f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_2) \cdot f_3^{T+}(X_3) \cdot f_4^{T+}(X_5) \cdot \\ &\cdot f_5^{T+}(X_6) \cdot f_6^{T+}(X_7) \cdot f_7^{T+}(X_8) \cdot f_8^{T+}(X_9), \\ X_7^{T-} &= f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_2) \cdot f_3^{T-}(X_3) \cdot f_4^{T-}(X_5) \cdot \\ &\cdot f_5^{T-}(X_6) \cdot f_6^{T-}(X_7) \cdot f_7^{T-}(X_8) \cdot f_8^{T-}(X_9). \end{aligned}$$

Подграф системного уровня X_8 приведен на рис. 12. Уравнение уровня будет иметь вид

$$(18) \quad \frac{dX_8}{dt} = X_8^{T+} - X_8^{T-} = X_8 \left(\left(\frac{KP_k}{X_8} \right)^+ - \left(\frac{KP_n}{X_8} \right)^- \right),$$

где KP_n – количество докторов наук, профессоров на начало расчетного периода (чел.); KP_k – количество докторов наук, профессоров на конец расчетного периода (чел.); X_8 – среднегодовая численность профессоров в вузе (чел.).

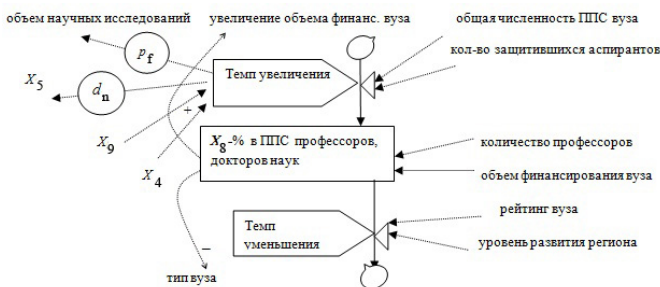


Рис. 12. Подграф системного уровня X_8

Положительные и отрицательные темпы в уровне вычисляются по формуле

$$(19) \quad \begin{aligned} X_8^{T+} &= f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_2) \cdot f_3^{T+}(X_3) \cdot f_4^{T+}(X_4) \cdot \\ &\cdot f_5^{T+}(X_5) \cdot f_6^{T+}(X_7) \cdot f_7^{T+}(X_9) \cdot f_8^{T+}(X_{10}), \\ X_8^{T-} &= f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_2) \cdot f_3^{T-}(X_3) \cdot f_4^{T-}(X_4) \cdot \\ &\cdot f_5^{T-}(X_5) \cdot f_6^{T-}(X_7) \cdot f_7^{T-}(X_9) \cdot f_8^{T-}(X_{10}). \end{aligned}$$

Подграф системного уровня X_9 приведен на рис. 13. Уравнение зависимости имеет вид

$$(20) \quad \frac{dX_9}{dt} = X_9^{T+} - X_9^{T-} = X_9 \left(\left(\frac{Z}{X_9} \right)^+ - \left(\frac{Z}{X_9} \right)^- \right),$$

$$Z = \left(\frac{D_z + K_z}{KS} \right).$$

Здесь D_z – количество защит докторских диссертаций (шт.);
 K_z – количество защит кандидатских диссертаций (шт.);
 KS – количество научно-педагогического персонала (чел.);
 X_9 – среднегодовое число защит диссертаций на 100 чел. научно-педагогического персонала (шт./чел.),

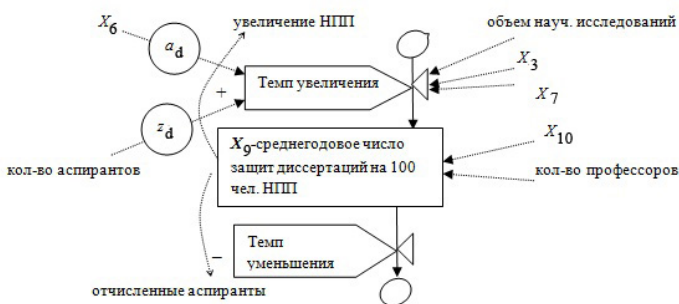


Рис.13. Подграф системного уровня X_9

Положительные и отрицательные темпы вычисляются по формуле

$$\begin{aligned}
 X_9^{T+} &= f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_2) \cdot f_3^{T+}(X_3) \cdot f_4^{T+}(X_6) \cdot \\
 (21) \quad &\cdot f_5^{T+}(X_7) \cdot f_6^{T+}(X_8) \cdot f_7^{T+}(X_{10}), \\
 X_9^{T-} &= f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_2) \cdot f_3^{T-}(X_3) \cdot f_4^{T-}(X_6) \cdot \\
 &\cdot f_5^{T-}(X_7) \cdot f_6^{T-}(X_8) \cdot f_7^{T-}(X_{10}).
 \end{aligned}$$

Подграф системного уровня приведен на рис. 14. Для системного уровня X_{10} дифференциальное уравнение (22) запишем следующим образом:

$$(22) \quad \frac{dX_{10}}{dt} = X_{10}^{T+} - X_{10}^{T-} = X_{10} \left(\left(\frac{S_k}{X_{10}} \right)^+ - \left(\frac{S_n}{X_{10}} \right)^- \right),$$

$$S_n = \frac{ST_n}{KS}, \quad S_k = \frac{ST_k}{KS},$$

где S_n, S_k % профессорско-преподавательского состава в вузе, работающего на штатной основе на начало/конец расчетного периода соответственно (чел.) ST_n, ST_k – количество штатных преподавателей на начало/конец расчетного периода (чел.); KS – общее количество научно-педагогического персонала (чел.); X_{10} – среднегодовое количество штатного профессорско-преподавательского состава от общего количества научно-педагогического персонала.

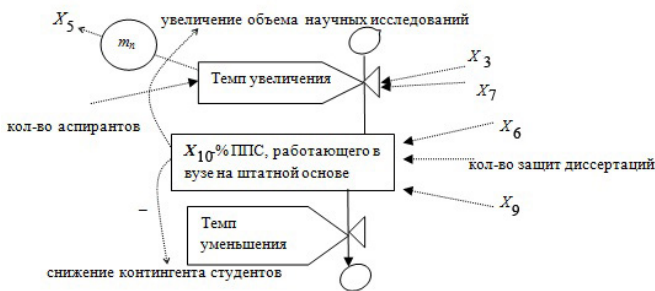


Рис. 14. Подграф системного уровня X_{10}

Положительные и отрицательные темпы вычисляются по формуле

$$(23) \quad \begin{aligned} X_{10}^{T+} &= f_1^{T+}(X_1) \cdot f_2^{T+}(X_2) \cdot f_3^{T+}(X_3) \cdot f_4^{T+}(X_4) \cdot \\ &\cdot f_5^{T+}(X_6) \cdot f_6^{T+}(X_7) \cdot f_7^{T+}(X_8) \cdot f_8^{T+}(X_9), \\ X_{10}^{T-} &= f_1^{T-}(X_1) \cdot f_2^{T-}(X_2) \cdot f_3^{T-}(X_3) \cdot f_4^{T-}(X_4) \cdot \\ &\cdot f_5^{T-}(X_6) \cdot f_6^{T-}(X_7) \cdot f_7^{T-}(X_8) \cdot f_8^{T-}(X_9). \end{aligned}$$

Таким образом, математическую модель, разработанную на основе модели системной динамики, можно представить в виде системы (24).

$$(24) \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{dX_1}{dt} &= X_1 \left(\frac{B}{X_1} \cdot z_d \cdot C_f - \frac{D}{X_1} \cdot a_z \right), \\ \frac{dX_2}{dt} &= X_2 \left(\left(\left(\frac{F^+ + G^+ + S^+}{P_s} \right) \cdot P^+ \right) - \left(\left(\left(\frac{F^- + G^- + S^-}{P_s} \right) \cdot P^- \right) \right) \right), \\ \frac{dX_3}{dt} &= X_3 \left(\left(\frac{SK + M + S}{V} \right)^+ \cdot V_s \cdot f_k - \left(\frac{SK + M + S}{V} \right)^- \right), \\ \frac{dX_4}{dt} &= X_4 \left(\left(\frac{K_z}{X_4} \right)^+ - \left(\frac{K_o}{X_4} \right)^- \right), \\ \frac{dX_5}{dt} &= X_5 \left(\left(\frac{M_v}{P_p} \right)^+ \cdot k_m \cdot m_p \cdot d_n - \left(\frac{M_p}{P_p} \right)^- \cdot m_n \right), \\ \frac{dX_6}{dt} &= X_6 \left(\left(\frac{A_z}{B} \right)^+ \cdot a_f - \left(\frac{A_d}{B} \right)^- \right), \\ \frac{dX_7}{dt} &= X_7 (K_k \cdot p_u \cdot p_a - K_n), \\ \frac{dX_8}{dt} &= X_8 \left(\left(\frac{KP_k}{X_8} \right)^+ - \left(\frac{KP_n}{X_8} \right)^- \right), \\ \frac{dX_9}{dt} &= X_9 \left(\left(\frac{Z}{X_9} \right)^+ \cdot a_d - \left(\frac{Z}{X_9} \right)^- \right), \\ \frac{dX_{10}}{dt} &= X_{10} \left(\left(\frac{S_k}{X_{10}} \right)^+ - \left(\frac{S_n}{X_{10}} \right)^- \right). \end{aligned} \right.$$

В модели используются также эмпирические коэффициенты:

z_d – множитель зависимости числа аспирантов от числа защит диссертаций (X_1 от X_9);

C_f – множитель зависимости числа аспирантов от объема финансирования (X_2 от X_3);

a_z – множитель зависимости количества аспирантов от % аспирантов, защитившихся в течение года после окончания аспирантуры (X_1 от X_6);

V_s – множитель зависимости объема финансирования от объема научных исследований (X_3 от X_2);

k_m – множитель зависимости количества монографий от объема научных исследований (X_5 от X_2);

p_u – множитель зависимости количества ППС с учеными степенями и званиями от объема научных исследований (X_7 от X_2);

f_k – множитель зависимости объема финансирования научных исследований от контингента обучающихся по программам профессиональной переподготовки (X_3 от X_4);

a_f – множитель зависимости % аспирантов, защитившихся в течении года после окончания аспирантуры от объема финансирования научных исследований (X_6 от X_3);

d_n – множитель зависимости количества монографий от % в ППС профессоров (X_5 от X_8);

m_n – множитель зависимости количества монографий от количества штатных преподавателей (X_5 от X_{10}); p_a – множитель зависимости % ППС с учеными степенями и званиями от % аспирантов, защитившихся в течении года после окончания аспирантуры (X_7 от X_6);

a_d – множитель зависимости среднегодового количества защит диссертаций от % аспирантов, защитившихся в течении года после окончания аспирантуры (X_9 от X_6);

m_p – множитель зависимости количества монографий от % ППС с учеными степенями и званиями (X_5 от X_7);

p_f – множитель зависимости объема научных исследований от % в ППС профессоров, докторов наук (X_2 от X_7).

Эти коэффициенты определяются экспериментально на стадии адаптации разработанного математического обеспечения

к конкретному объекту моделирования (университету, институту, академии).

4. Определение показателей аккредитации по математической модели

Рассмотрим нормированные относительно критериальных показатели аккредитации института X_i^Φ за пять лет. Значения показателей приведены в таблице 2.

Определим величины эвристических коэффициентов и решим систему уравнений (24).

Аппроксимируем эвристические коэффициенты полиномами невысокой степени.

$$z_d = -6,5 \cdot X_9^3 + 7,9 \cdot X_9^2 - 3,6 \cdot X_9 + 1,2,$$

$$a_z = -19 \cdot X_9^3 + 23 \cdot X_9^2 - 13 \cdot X_9 + 3,$$

$$C_f = 23 \cdot X_3^3 - 16 \cdot X_3^2 + 0,36 \cdot X_3 + 0,36.$$

Таблица 2. Нормированные показатели аккредитации института за 2005–2009 гг.

Годы	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
2005	0,63	0,39	0,34	0,1	0,081	0,7	0,49	0,049	0,242	0,65
2006	0,66	0,42	0,53	0,18	0,061	0,63	0,51	0,068	0,211	0,72
2007	0,71	0,51	0,72	0,15	0,082	0,78	0,36	0,061	0,204	0,67
2008	0,78	0,4	0,79	0,21	0,06	0,56	0,48	0,068	0,208	0,79
2009	0,76	0,48	0,55	0,3	0,07	0,6	0,4	0,064	0,192	0,88

Аппроксимирующие зависимости для коэффициентов z_d, a_z, C_f на интервале 1 год имеют следующий вид (рис. 15):

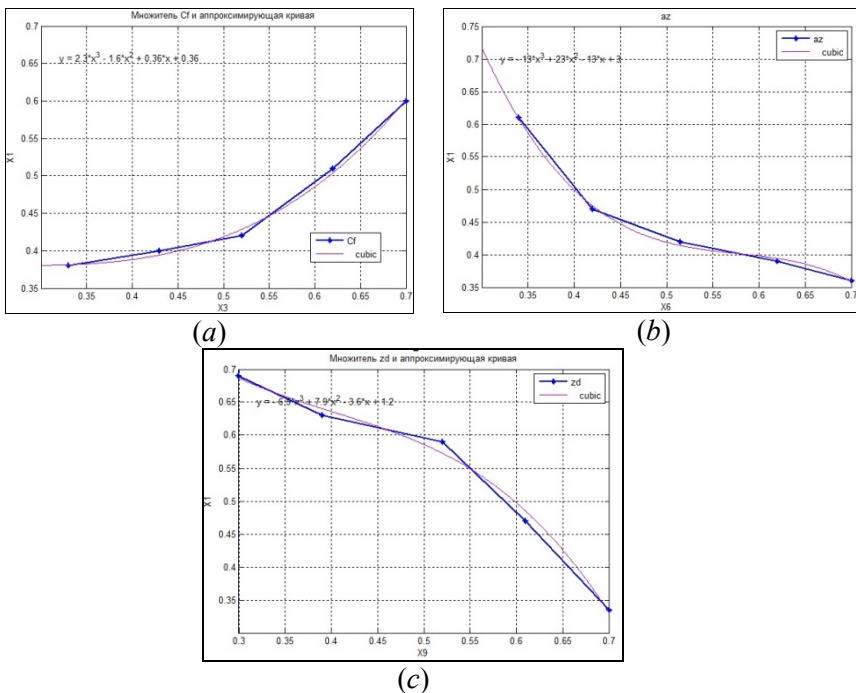


Рис. 15. Графики эмпирических коэффициентов:

(a) – C_f , (b) – z_d , (c) – a_z

В качестве начальных условий $X_{0i} = X_i^\phi, i = 1, \dots, 10$, в расчетах использовались нормированные показатели аккредитации института в 2009 году. Показатели аккредитации Балаковского института техники, технологии и управления (БИТТиУ) на интервале $[0; 1]$ – 1 год, рассчитанные в *MatLab* с использованием разработанной математической модели приведены на рис. 16. Далее производится сравнение показателей регрессионной модели [7], вычисленных по разработанной модели и назначаемых экспертами эвристически. На рис. 17 показаны графики сравнения для показателей X_1, X_2 на интервале $[0; 1]$ – 1 год, на которых функция $H(t)$ представляет собой зависимость, определяемую опытным путем.

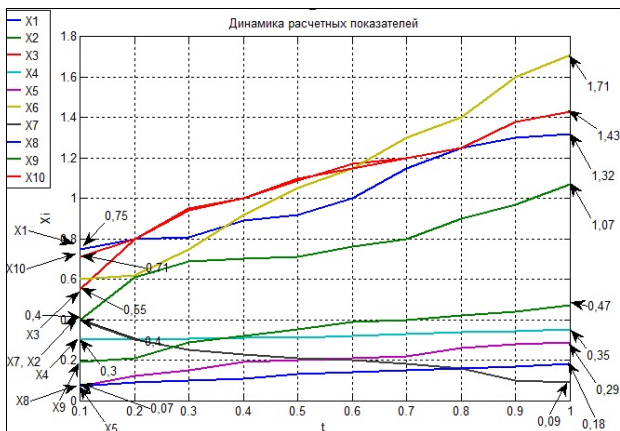


Рис. 16. Расчетные показатели аккредитации

Из анализа построенных зависимостей можно сделать вывод, что существующие расхождения в значениях показателей, вычисленных по модели Форрестера, регрессионной модели и назначаемые ЛПР на основе собственного опыта, незначительны и их можно считать достоверными.

Далее решим задачу (1): определим величину взвешенных отклонений основных показателей аккредитации от заданных значений. При проведении вычислительного эксперимента значения функции $F(t)$ в точках интервала $[0; 1]$ определялись с шагом 0,1 по методу Симпсона. Величины весовых коэффициентов μ_i оставались неизменными на всех временных интервалах. Выберем значения весовых коэффициентов μ_i , исходя из приоритета:

- показателя X_1 – числа аспирантов на 100 студентов контингента, приведенного к очной форме обучения (чел.), $\mu_1 = 0,193$;
- показателя X_2 – среднегодового объема научных исследований на единицу научно-педагогического персонала за пять лет (тыс. руб.), $\mu_2 = 0,243$.

Минимальное значение весовых коэффициентов определим у показателей:

- X_7 – % профессорско-преподавательского состава (ППС) с учеными степенями и/или званиями, $\mu_7 = 0,03$;
- X_{10} – % ППС, работающего в вузе на штатной основе, $\mu_{10} = 0,04$.

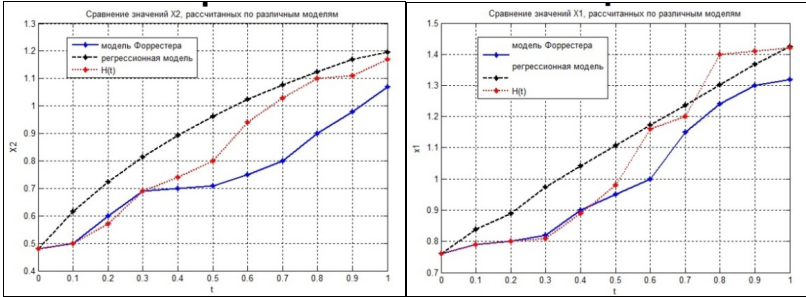


Рис. 17. Сравнение значений факторов X_1 и X_2 , рассчитанных по различным моделям

Зададим коэффициенты μ_i в виде матрицы-столбца:

$$\mu_i = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \\ \mu_4 \\ \mu_5 \\ \mu_6 \\ \mu_7 \\ \mu_8 \\ \mu_9 \\ \mu_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,193 \\ 0,243 \\ 0,09 \\ 0,076 \\ 0,07 \\ 0,06 \\ 0,03 \\ 0,05 \\ 0,148 \\ 0,04 \end{pmatrix}.$$

Значения целевой функции $F(t)$, определенные методом Симпсона, занесены в таблицу 3.

Далее рассчитаем значения функции $F(t)$ с помощью обученной нейронной сети *Cascade forward backprop* [8]. Структурная схема данной сети приведена на рис. 18. График функции $F(t)$, определенной двумя способами – методом Симпсона и с использованием каскадной нейронной сети *Cascade forward backprop* изображен на рис. 19.

Таблица 3. Значения целевой функции $F(t)$, вычисленной по методу Симпсона

t	$[0; 0,1]$	$[0; 0,2]$	$[0; 0,3]$	$[0; 0,4]$	$[0; 0,5]$	$[0; 0,6]$	$[0; 0,7]$	$[0; 0,8]$	$[0; 0,9]$	$[0; 1]$
$F(t)$	0,3304	0,2704	0,2486	0,2519	0,2335	0,2338	0,2379	0,2455	0,2423	0,2762

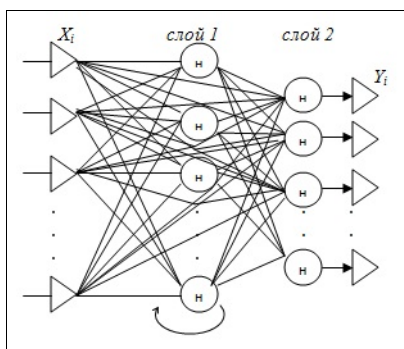


Рис. 18. Структурная схема нейронной сети Cascade forward backprop

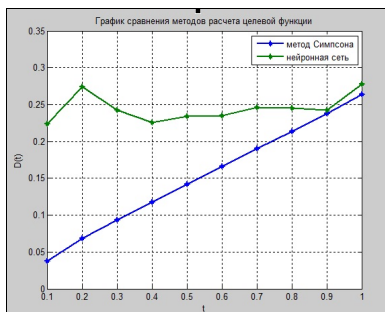


Рис. 19. Сравнение методов расчета $F(t)$

При проведении вычислительного эксперимента было установлено, что наименьшее расхождение (5–7%) между расчетами по указанным методам достигается на интервале [0,8; 1] лет. Данная особенность решаемой задачи позволяет увеличить точность вычислений и сократить время проведения расчетов на временном интервале 1 год.

5. Оперативное управление образовательным процессом вуза с использованием разработанной математической модели

Для автоматизированной системы контроля качества образовательного процесса вуза в среде *GUIDE MatLab Version 7.6.0.324 (R2008a)* был разработан программный комплекс «*Inform_System_CQEP*», позволяющий осуществить оперативное управление данным процессом [5].

Структурная схема программного комплекса и отдельные элементы его пользовательского интерфейса изображены на рис. 20 и 21.

Процедуру оперативного управления образовательным процессом вуза по критерию (1) с использованием математической модели (24) и комплекса программ «*Inform_System_CQEP*» иллюстрирует информационно-логическая схема (ИЛС), приведенная на рис. 22.

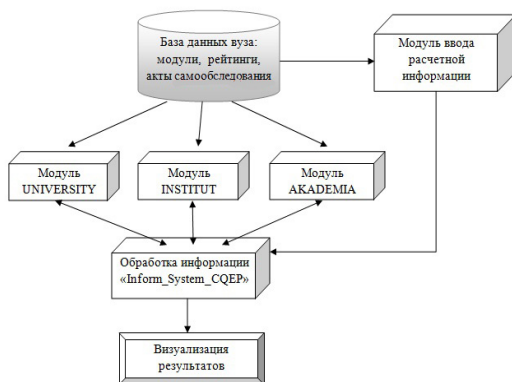


Рис. 20. Схема программного комплекса «*Inform_System_CQEP*»

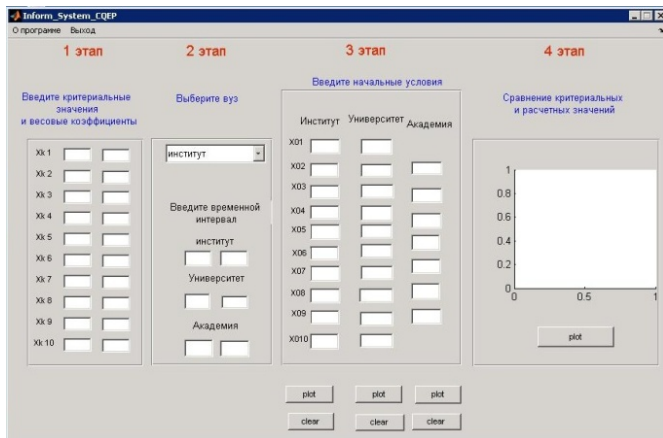


Рис. 21. Интерфейс программного комплекса «Inform_System_CQEP»

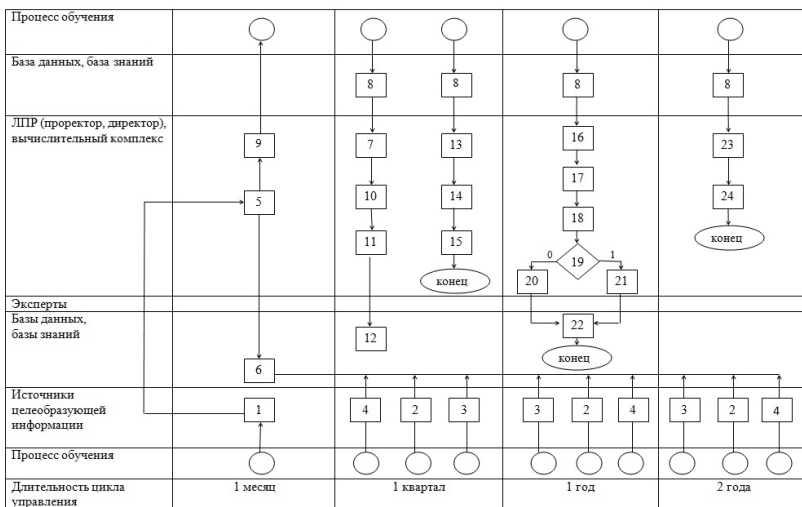


Рис. 22. Информационно-логическая схема системы управления образовательным процессом вуза

Схема позволяет интерпретировать состав и структуру актов управления, выявляет основные процедуры принятия решений, устанавливает взаимосвязи функций управления, а также харак-

теризует периодичность выполнения различных мероприятий, связанных с решением задачи (1) в различных структурных подразделениях высшего учебного заведения [3].

При описании ИЛС были сделаны следующие обозначения:

1 – Сбор статистических данных по материальной базе, профессорско-преподавательскому составу, численности студентов, аспирантов и др.

2 – Сбор информации у руководителей подразделений и экспертов.

3 – Определение релевантной информации в базах и банках данных.

4 – Сбор информации в результате анализа директивных материалов.

5 – Загрузка критериальных (нормативных) показателей в модуль программного комплекса «*Inform_System_CQEP*» [5].

6 – Запись информации в базу данных.

7 – Формирование стратегии развития вуза на конкретном временном интервале.

8 – Получение информации из базы данных.

9 – Информирование ЛПП об опасных тенденциях развития вуза на различных временных интервалах.

10 – Анализ поступившей информации.

11 – Формализация новых и коррекция поставленных целей стратегического развития вуза.

12 – Подготовка моделей к занесению в базу данных.

13 – Визуализация фактических и нормативных значений показателей.

14 – Просмотр протоколов сессий экспертов (комиссии, проводящей экспертизу показателей деятельности вуза).

15 – Запуск на исполнение первоочередных задач.

16 – Формирование статистических показателей, характеризующих решение задачи (дифференцирование полученных в результате расчета показателей аккредитации).

17 – Архивация протоколов сессий экспертов.

18 – Контроль эффективности системы контроля качества образовательного процесса.

19 – Требуемый уровень эффективности достигнут?

20 – Анализ причин нарушения заданного режима работы.

21 – Поощрение персонала.

22 – Коррекция информационного содержимого баз данных и знаний.

23 – Предоставление информации в Федеральную службу по надзору в сфере образования и науки.

24 – Принятие решения Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки о выдаче лицензии вузу на ведение образовательной деятельности.

6. Заключение

Разработанная математическая модель позволяет прогнозировать изменение показателей аккредитации высшего учебного заведения на различных временных интервалах и осуществить оперативное управление качеством образовательного процесса по критерию (1).

К недостаткам данной модели следует отнести то обстоятельство, что зависимости, существующие между ее внутренними параметрами, не всегда поддаются точному количественному определению и достаточно сложно обосновать полноту системы обратных связей между ее переменными. Поэтому для оценки адекватности модели предложено использовать аппарат регрессионного анализа.

Разработанная математическая модель позволяет более полно учесть особенности образовательного процесса и оперативное управлять его качеством на временных интервалах между аккредитациями.

Литература

1. БУСЛЕНКО Н.П. *Моделирование сложных систем*. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1968. – 356 с.
2. *Об утверждении Положения о лицензировании образовательной деятельности* [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 31.03.2009 г. №277. URL:<http://nica.ru/accred/> (дата обращения 12.01.2011).

3. РЕЗЧИКОВ А.Ф., ШРАЙ Ю.К., КУШНИКОВ В.А., ДОНИН С.Б. *Оперативная идентификация и управление на знаниях режимами энергоснабжения промышленных предприятий* // Приборы и системы управления. – 1994. – №5. – С. 27–32.
4. РОМАНОВ В.Н. *Системный анализ для инженеров*. – СПб.: СЗГЗТУ, 2006. – 186 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616991 (РФ). Inform_System_CQEP / Яндыбаева Н.В. Кушников В.А. Заявка №2011615223, зарегистрировано 08.09.2011 г.
6. СОВЕТОВ Б.Я., ЯКОВЛЕВ С.А. *Моделирование систем*. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 343 с.
7. ФОРРЕСТЕР ДЖ. *Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика)*. – М.: Издательство «Прогресс», 1971. – 325 с.
8. ЯНДЫБАЕВА Н.В. *Нейронные сети в задаче прогнозирования аккредитационных показателей вуза* // Материалы Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной информатики», Коломна: МГОСГИ, 2012. – С. 194–198.
9. ЯНДЫБАЕВА Н.В., КУШНИКОВ В.А. *Управление образовательным процессом вуза на основе модели Форрестера* // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – №2(55). – С. 172–176.
10. JAY W. FORRESTER. *World dynamics*. – Cambridge: Wright - Alien Press, Inc., 1971. – 176 p.

MATHEMATICAL MODEL TO PREDICT HIGHER SCHOOL ACCREDITATION RATES

Yandybaeva Natalya Valentinovna, Saratov State Technical University, Postgraduate (nat07@inbox.ru).

Kushnikov Vadim Alekseyevich, Saratov State Technical University, Doctor of Technical Sciences, Professor (kushnikoff@yandex.ru).

Abstract: We suggest a method for efficient monitoring of educational process quality in a higher education institution. The method is based on the model of system dynamics by J. Forrester and employs normalized metrics of higher education institution accreditation.

Keywords: Forrester's system dynamics, educational process, higher school, accreditation rate.

Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии А. А. Ворониным