

А.И. Астровский, кандидат физико-математических наук, доцент,
заведующий кафедрой высшей математики Минского института управления
Б.А. Гедранович, доцент Минского института управления
Г.А. Хацкевич, доктор экономических наук, профессор, проректор по науке
Минского института управления

УПРАВЛЕНИЕ ВУЗОМ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЕГО РЕСУРСОВ

Введение. Понятие инновационной деятельности вызывает пристальный интерес исследователей. В социально-экономической системе изучаются различные её аспекты в сферах управления, образовательных технологий, финансов и т.д. Финансовая устойчивость частных вузов, выражающаяся в их способности покрывать собственные текущие расходы, платить установленные налоги, производить инвестиции в расширение и совершенствование материальной базы, зависит от наличия финансовых ресурсов, их движения и рационального использования [1]. Одной из стратегических задач управления финансами вуза является вложение финансовых ресурсов в инновационную деятельность, что реально позволяет повысить качество образования. Для обеспечения устойчивого развития вуза в условиях рынка и конкурентной среды следует оперативно регулировать денежные потоки в целях стабилизации финансовых результатов и создания базы для их наращивания в перспективе. Изложенное выше еще раз подчеркивает актуальность проблемы направления внутренних инвестиций на инновационную деятельность вуза в условиях ограниченных финансовых ресурсов. Финансовый менеджмент вуза можно определить как инновационную систему управления формированием и движением финансовых ресурсов.

В условиях конкуренции на рынке образовательных услуг особенно важно планирование указанной деятельности высшего учебного заведения. Возникают вопросы, в каком направлении ее развивать, по каким перспективным специальностям осуществлять образование и т.д. В значительной мере решение этих вопросов зависит от логики вуза. Внутренние инвестиции в развитие его материально-технической базы, в создание новых специальностей, инновационных технологий образования значительно повышают экономическую устойчивость высшего учебного заведения, его привлекательность для абитуриентов. Таким образом, актуальной является проблема распределения финансовых ресурсов вуза на текущее потребление и инвестиций в будущее, которые должны гарантировать экономическую устойчивость и планомерное развитие вуза. В связи с этим возникает задача оценки влияния внутренних инвестиций на его развитие и экономическую устойчивость.

В данной работе описывается математическая модель, на основе которой можно производить прогнозные расчеты, характеризующие деятельность вуза, а также оценивать эффективность инвестиций, вкладываемых в его развитие.

1. Агрегированные переменные и их описание. При экономико-математическом моделировании [2–4] сложных объектов (а таким является вуз) одной из важных проблем является задача выбора ключевых

факторов, которые оказывают преобладающее воздействие на поведение изучаемого объекта. При математическом моделировании экономических процессов обычно состояние системы в каждый момент времени t описывается конечным набором переменных, среди которых есть как **эндогенные** (внутрисистемные), так и **экзогенные** (внешние по отношению к рассматриваемой системе). Между этими переменными существуют функциональные и статистические связи. К функциональному типу связей относят тождества, вытекающие из определений и содержательного смысла переменных, а к статистическому — поведенческие, сущностные связи, являющиеся выражениями экономических законов, действующих в системе.

Учитывая вышесказанное, функционирование высшего учебного заведения будем рассматривать на основе трех агрегированных факторов: **финансового, технологического и первичного**. Далее эти факторы будем называть ресурсами вуза. Образовательную же его деятельность мы проанализируем на промежутке времени $[0, T]$, где числу 0 соответствует некоторый начальный момент моделирования (например, 2002 год), а через T обозначен прогнозный период в годах. Для построения математической модели введем в рассмотрение следующие эндогенные переменные $Y(t)$, $A(t)$, $R_n(t)$, $R_c(t)$ и кратко поясним их суть.

Переменная $Y(t)$ характеризует финансовый ресурс частного вуза, который формируется в результате его лицензионной деятельности, а основным (и почти единственным) источником является оплата за предоставляемые образовательные услуги. Этот ресурс идет на поддержание, возобновление и использование материальной и технологической базы вуза, оплату текущих расходов и инвестиций в его развитие. Переменная $Y(t)$ — это относительная величина, полученная в результате нормировки абсолютной величины финансового ресурса в момент времени t на абсолютную величину финансового ресурса в начальный момент $t = 0$. Переменная $Y(t)$ описывает динамику финансового ресурса, и очевидно, что $Y(t) > 0$.

Технологический ресурс вуза включает в себя уровень его образовательной деятельности и все то, что оказывает на этот процесс существенное влияние: характеристики профессорско-преподавательского состава, данные о созданных или освоенных технологиях

обучения, об уровне научно-исследовательских разработок, о наличии компьютерных классов, о библиотечном фонде, о возможностях сети Интернет и т.д. Подчеркнем, что технологический ресурс как агрегированный фактор определяет уровень подготовки выпускников, престиж и конкурентоспособность вуза. Для описания технологического ресурса используется безразмерная переменная $A(t)$, вычисленная по определенной методике в момент времени t . Предполагается, что $A(t) \geq 0$.

За **первичный ресурс** принимается набор студентов на первый курс (полная форма обучения) и на третий курс (сокращенная форма обучения) в начале t -го учебного года. Обозначим через $N_n(t)$ и $N_c(t)$ численности студентов, принятых в начале t -го учебного года на первый и третий курсы соответственно.

Для описания динамики первичного ресурса в математической модели удобнее использовать безразмерные переменные $R_n(t)$ и $R_c(t)$, полученные в результате нормировки переменных $N_n(t)$ и $N_c(t)$ в момент времени t на общую численность $N(t)$ студентов вуза при $t = 0$.

С учетом принятой нормировки и введенных обозначений общую нормированную численность $R(t)$ студентов вуза на начало t -го учебного года можно определить по следующей формуле:

$$R(t) = \sum_{i=0}^3 \prod_{j=1}^i \lambda(t-j) \cdot [R_n(t-i) + \gamma_i \cdot R_c(t-i)] + \prod_{j=1}^4 \lambda(t-j) \cdot [R_n(t-4) + \gamma_3 \cdot \lambda(t-5) \cdot R_n(t-5)],$$

где коэффициенты $\gamma_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = 1$, а γ_3 введен для учета средней численности студентов на шестом курсе заочной формы обучения и по экспертным оценкам его показатель — $\gamma_3 = 0,271$. Дискретная функция $\lambda(t)$ рассматривается как управляющее воздействие на вуз и описывает среднюю интенсивность изменения численности студентов в t -ом учебном году за счет их выбытия из вуза и прибытия в вуз.

Для изучения перспектив развития частного вуза желательно знать, как изменяются агрегированные переменные $Y(t)$, $A(t)$, $R_n(t)$, $R_c(t)$, что влияет на них и как можно управлять их динамикой. При этом особенно важно соблюдать условия устойчивого развития вуза, которые математически можно выразить в виде неравенств:

$$\begin{aligned} 0 < \alpha_0(t) &\leq Y(t), \\ 0 < \beta_0(t) &\leq R(t) \leq \beta_1(t), \quad t \in [0, T], \\ 0 < \gamma_0(t) &\leq A(t), \end{aligned}$$

где $\alpha_0(t)$, $\beta_0(t)$, $\gamma_0(t)$ указывают на нижние границы агрегированных переменных, выход за пределы которых не гарантирует нормального функционирования вуза (низкий образовательный уровень, задержка выплаты зарплат, развал материальной базы, увольнение сотрудников и т.д.), а параметр $\beta_1(t)$ определяется органами управления образованием. Подчеркнем, что дискретные функции $\alpha_0(t)$, $\beta_0(t)$, $\gamma_0(t)$, $\beta_1(t)$, $t \in T$ для каждого вуза определяются индивидуальным образом, исходя из стоящих перед вузом целей и задач.

2. Математическая модель. Актуальной проблемой финансового менеджмента остается задача распределения финансовых ресурсов вуза на текущее потребление и инвестиции в будущее, которые должны гарантировать его экономическую устойчивость и планомерное развитие. Внутренние инвестиции должны, в частности, способствовать повышению профессионально-интеллектуального потенциала высшего учебного заведения, что в конечном счете приведет к увеличению технологического ресурса. Экономическая система, технологический уровень которой выше, будет иметь возможности быстрее адаптироваться к изменениям окружающей реальности и достигать более высоких темпов развития.

В качестве управляющих факторов в данной ситуации будем рассматривать внутренние инвестиции $I(t)$ в развитие материально-технической базы вуза, создание новых специальностей, инновационных технологий образования, привлечение высококвалифицированных специалистов, повышение профессионального уровня сотрудников, т.е. на развитие технологического ресурса данного учебного заведения. Внутренние инвестиции должны способствовать повышению его экономической устойчивости, конкурентоспособности и привлекательности для абитуриентов.

Для описания внутренних инвестиций (т.е. управляющих факторов) $I(t)$, $0 \leq t \leq T$ введем функцию управления $u(t)$ дискретного аргумента t , которая описывает выделение доли финансового ресурса $Y(t)$, направляемое на

развитие технологического ресурса, т.е.

$$I(t) = u(t) \cdot Y(t), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Доля внутренних инвестиций $u(t)$ должна быть, по крайней мере, не менее такого значения, при котором технологический ресурс вуза не убывал бы.

Отметим, что финансовый ресурс вуза можно представить следующим образом: $Y(t) = C(t) + I(t)$, где $C(t)$ – его текущее потребление.

Финансовый менеджмент вуза, вообще говоря, предполагает изменение величины среднегодовой оплаты за предоставляемые образовательные услуги в зависимости от влияния различных факторов. Очевидно, что для потребителей образовательных услуг это имеет существенное значение и влияет на их решение о выборе учебного заведения.

Пусть $F(t)$ – финансовый ресурс вуза в абсолютных величинах, $N(t)$ – общая численность его студентов в абсолютных величинах. Обозначим через $s(t)$ среднюю величину оплаты студентом образовательных услуг за год. Тогда

$$F(t) = s(t) N(t), \quad t \in 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Выразим зависимость (1) в относительных величинах, приняв за точку отсчета ($t=0$) 2002 год. Имеем

$$\frac{F(t)}{F(0)} = \frac{s(t) \cdot N(t)}{s(0) \cdot N(0)} = \frac{s(t)}{s(0)} \cdot \frac{N(t)}{N(0)}$$

Так как по определению

$$\frac{F(t)}{F(0)} = Y(t), \quad \frac{N(t)}{N(0)} = R(t), \quad \frac{s(t)}{s(0)} = s(t),$$

то из (1) получаем зависимость

$$Y(t) = \frac{s(t)}{s(0)} \cdot R(t). \quad \text{Величина } \frac{s(t)}{s(0)} \text{ означа}$$

ет относительное изменение величины оплаты образовательных услуг в t -ом учебном году по отношению к начальному.

Введем в рассмотрение функцию дискретного аргумента $g(t)$, $t \in T$, которая описывает относительные изменения текущей среднегодовой оплаты студента за обучение, т.е.

$$g(t) = \frac{s(t)}{s(t-1)} - 1, \quad t \geq 1, \quad g(0) = 0. \quad \text{В математической модели функцию } g(t), \quad t \in T \text{ будем рассматривать в качестве управляющего воздействия, определяемого руководством вуза. Несложно показать, что справедлива формула}$$

$$\frac{s(t)}{s(0)} = \prod_{i=1}^t (1 + g(i)), \quad t \geq 1.$$

С учетом принятых обозначений влияние управляющих воздействий на движение ресурсов вуза представим в виде следующей структурной схемы (см. рис. 1):

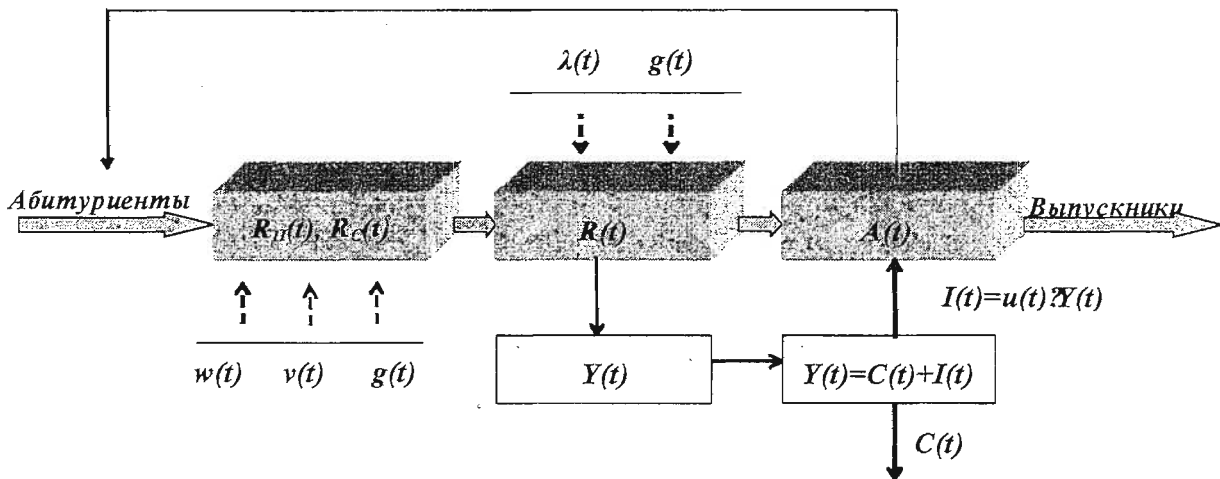


Рисунок 1. Взаимосвязь ресурсов вуза и управляющих воздействий

В данной схеме дискретные функции $w(t)$ и $v(t)$ описывают влияние внешних факторов (или воздействий) на условия приема в вуз. В качестве таковых можно рассматривать рынок абитуриентов, решения вышестоящих управляющих органов о правилах приема в данное учебное заведение и т.д. Значения этих функций для конкретного момента t представляют собой коэффициенты влияния на условия приема в вуз для t -го учебного года.

Для исследования динамики финансового, технологического и первичного ресурсов вуза построим математическую модель, связывающую эндогенные переменные $Y(t), R_n(t), R_c(t), R(t), A(t)$ и экзогенные управляющие воздействия $u(t), g(t), \lambda(t), w(t)$ и $v(t), 0 \leq t \leq T$.

Образовательный процесс в учебных заведениях подчинен годичным циклам. Поэтому целесообразно при исследовании об-

разовательной деятельности вуза использовать дискретные модели с основным шагом времени один год. Подчеркнем, что системы дискретных уравнений позволяют адекватно учитывать природу социально-экономических процессов. С учетом сложности изучаемой проблемы будем использовать нелинейные системы дискретных уравнений. Заметим, что экономико-математическое моделирование развития системы высшего образования, изложенное в некоторых работах известных авторов [2, 5, 6], позволяет получить достаточно аргументированные рекомендации и выводы.

Для описания динамики финансового, технологического и первичного ресурсов в зависимости от времени и приведенных выше управлений $u(t), g(t), \lambda(t), w(t)$ и $v(t), t \in T$ предлагается следующая математическая модель в виде системы четырех нелинейных дискретных уравнений:

$$\begin{cases} Y(t+1) = \prod_{i=1}^{t+1} (1 + g(i)) \cdot \left(\sum_{i=0}^3 \prod_{j=1}^i \lambda(t+1-j) \cdot \left[R_n(t+1-i) + \gamma_i \cdot R_c(t+1-i) \right] + \prod_{j=1}^4 \lambda(t+1-j) \cdot \left[R_n(t-3) + \gamma_3 \cdot \lambda(t-4) \cdot R_n(t-4) \right] \right) \\ R_n(t+1) = w(t) \cdot \left[p_0 + \frac{p_1 \cdot A(t)}{R_n(t) + R_c(t)} + b \cdot (A(t) - A(t-\tau)) - p_2 \cdot g(t) \right] \cdot R_n(t) \\ R_c(t+1) = v(t) \cdot \left[p_0 + \frac{p_1 \cdot A(t)}{R_n(t) + R_c(t)} + b \cdot (A(t) - A(t-\tau)) - p_2 \cdot g(t) \right] \cdot R_c(t) \\ A(t+1) = q \cdot A(t) + f \cdot \frac{u(t) \cdot Y(t) \cdot A(t)}{\alpha \cdot A(t) + u(t) \cdot Y(t)} \end{cases} \quad (2)$$

Начальные значения рассматриваемых эндогенных переменных $Y(t), R_{II}(t), R_C(t), A(t)$, описывающих состояние деятельности Минского института управления в условный начальный момент времени $t = 0$ (в модели - 2002 год) с учетом нормировки равны:

$Y(0)=1,0; A(0)=0,4383; R_{II}(0)=0,2462; R_C(0)=0,1297.$

В математической модели (2) параметры $p_0, p_1, p_2, b, \tau, q, f, \alpha$ имеют следующий смысл:

– p_0 – уровень экстенсивного изменения первичного ресурса;

– p_1 – уровень интенсивного изменения первичного ресурса за счет технологического ресурса $A(t)$;

– p_2 – доля изменения первичного ресурса в случае изменения уровня оплаты за обучение на 1%;

– b – уровень усвоения (внедрения) инноваций в вузе;

– τ – запаздывание эффекта от отдачи технологического ресурса (временной лаг в годах);

– q – коэффициент убывания технологического ресурса за год;

– f – скорость роста технологического ресурса при "щедром" финансировании;

– α – коэффициент учета соотношения технологического и финансового ресурсов.

3. Вычислительный эксперимент. Используя реальные данные по Минскому институту управления за 2002–2004 годы, мы определили величины $Y(1), R_{II}(1), R_C(1), A(1), Y(2), R_{II}(2), R_C(2), A(2)$, значения которых приведены в табл. 1:

Таблица 1. Начальные значения эндогенных переменных модели

$Y(1)$	$R_{II}(1)$	$R_C(1)$	$A(1)$	$Y(2)$	$R_{II}(2)$	$R_C(2)$	$A(2)$
1,2846	0,1251	0,0673	0,4419	1,8472	0,2768	0,1761	0,4308

На основе решения системы нелинейных дискретных уравнений, полученных из мо-

дели (2) при $t = 0$ и $t = 1$ и экспертного анализа экзогенных параметров получены их значения (табл. 2):

Таблица 2. Значения параметров системы

p_0	p_1	p_2	b	τ	q	f	α
0,52	0,2421	0,75	2,5283	2	0,78	0,42	0,4356

С помощью математической модели (2) проведен ряд прогнозных (до 2016 года) вычислительных экспериментов, результаты которых в зависимости от заданных управляющих воздействий приведены ниже.

Сценарий 1

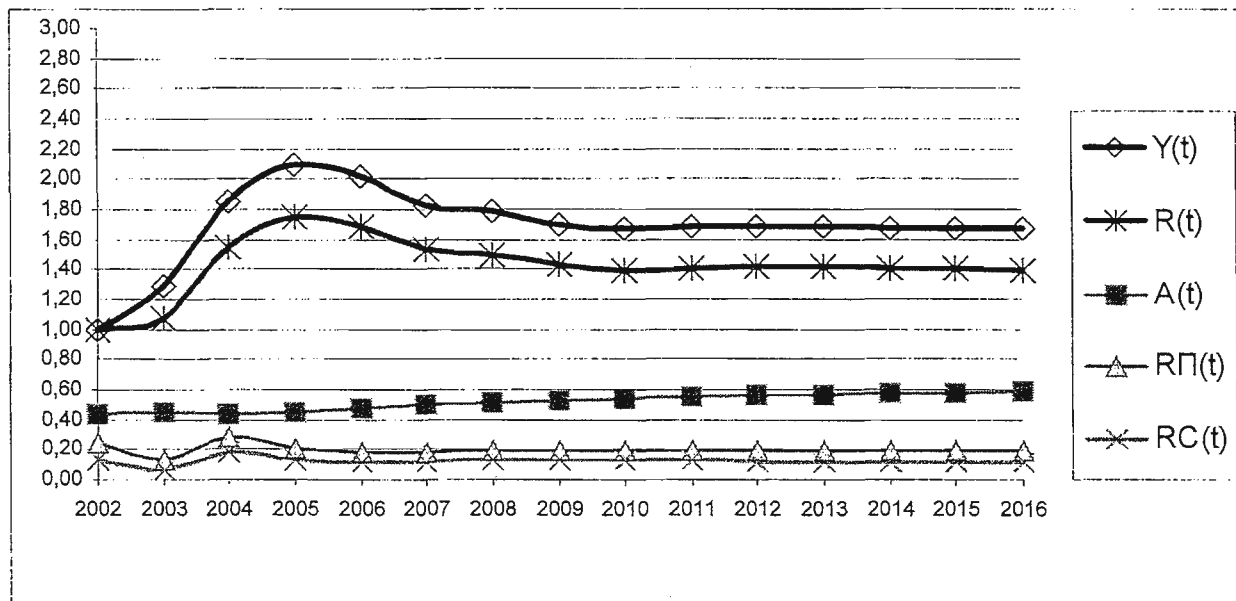
– Внутренние инвестиции с 2004 по 2016 годы были определены на уровне 18% от финансового ресурса вуза ($u(t)=0,18; 2 \leq t \leq 16$).

– Внешние воздействия на вуз нейтральны ($\lambda(t)=1, 2 \leq t \leq 16$).

– Условия приемной кампании и демографическая ситуация считаются стабильными ($w(t) = v(t) = 1, 2 \leq t \leq 16$).

– Изменений среднегодовой оплаты за обучение нет ($g(t) = 0, 2 \leq t \leq 16$).

Результаты расчетов показывают, что, начиная с 2007года, финансовый и первичный ресурсы находятся в стабильном состоянии, которое обеспечивается ростом технологического ресурса.



Сценарий 2

– Внутренние инвестиции с 2004 по 2016 годы были определены на уровне 18% от финансового ресурса вуза ($u(t) = 0,18$; $2 \leq t \leq 16$).

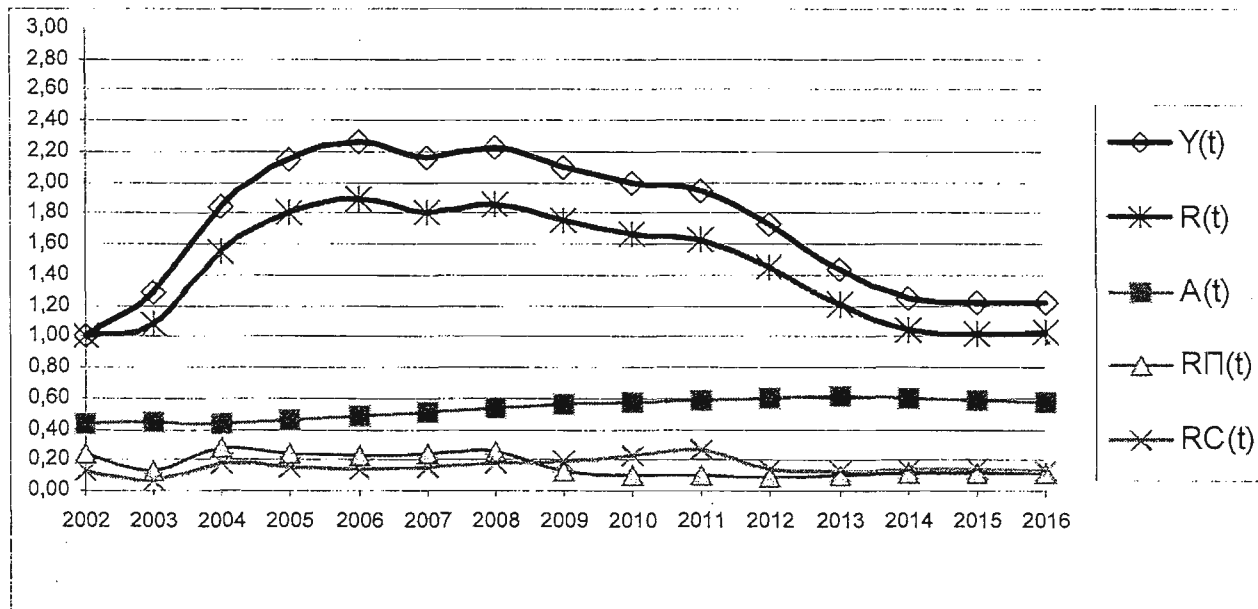
– Внешние воздействия на вуз нейтральны ($\lambda(t) = 1$, $2 \leq t \leq 16$).

– Учитывается прогнозный выпуск учащихся средних школ, связанный с демогра-

фической ситуацией [1]. Значения функций $w(t)$ и $v(t)$ пропорциональны количеству выпускников средних школ.

– Изменений среднегодовой оплаты за обучение нет ($g(t) = 0$, $2 \leq t \leq 16$).

Результаты расчетов показывают, что, начиная с 2008 года, финансовый и первичный ресурсы имеют устойчивую тенденцию к уменьшению.



Сценарий 3

– Внутренние инвестиции с 2004 по 2016 годы были определены на уровне 18% от финансового ресурса вуза ($u(t) = 0,18$; $2 \leq t \leq 16$).

– Внешние воздействия на вуз положительны и выражаются прибытием на учебу примерно по 100 студентов в год (за счет пе-

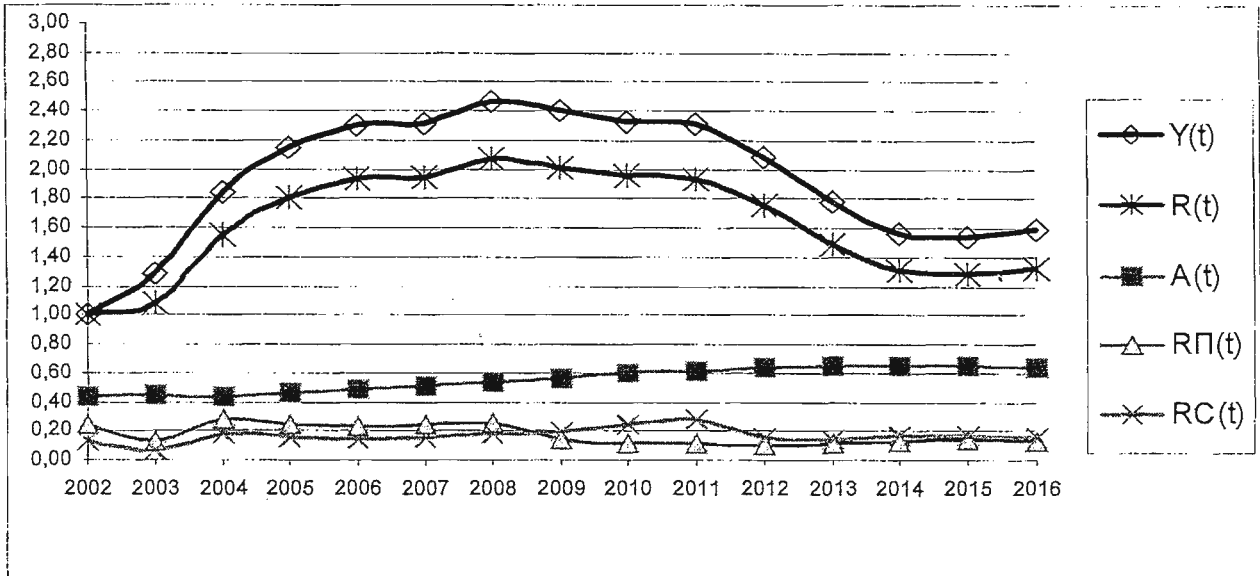
реводов из других учебных заведений и т.д.) ($\lambda(t) = 1,075$; $2 \leq t \leq 16$).

– Учитывается прогнозный выпуск учащихся средних школ, связанный с демографической ситуацией [1]. Значения функций $w(t)$ и $v(t)$ пропорциональны количеству выпускников средних школ.

– Изменений среднегодовой оплаты за обучение нет ($g(t) = 0, 2 \leq t \leq 16$).

Результаты расчетов показывают, что с 2006 по 2011 годы финансовый и первичный ре-

сурсы находятся в стабильном состоянии, которое обеспечивается ростом технологического ресурса.



Сценарий 4

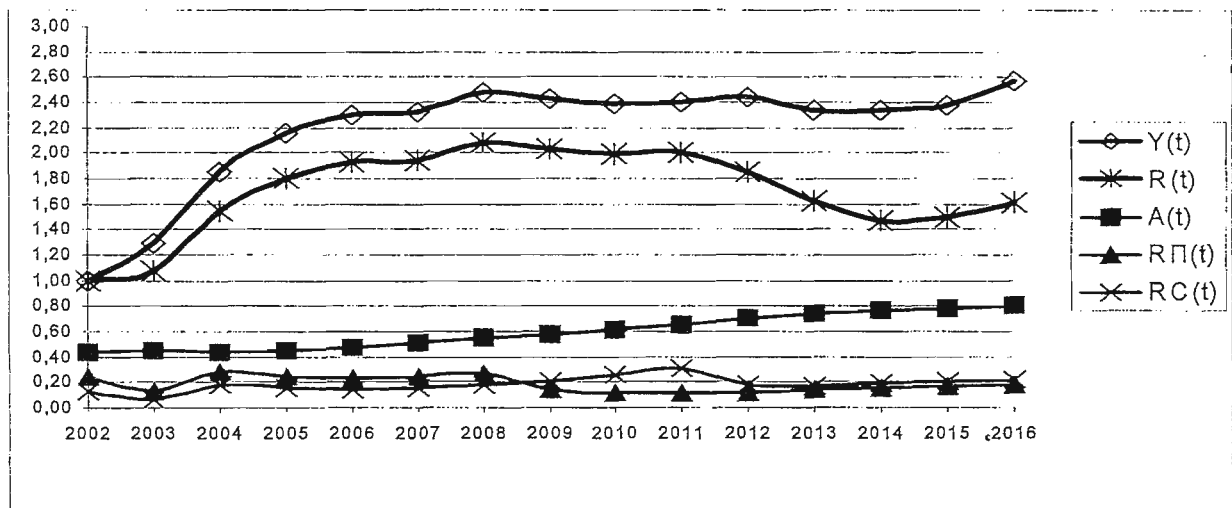
– Внутренние инвестиции были распределены следующим образом: с 2006 по 2009 и с 2013 по 2016 годы определены на уровне 20%, а с 2010 по 2012 годы – на уровне 25%.

– Внешние воздействия на вуз положительны; они выражаются прибытием на учебу примерно по 100 студентов в год (за счет переводов из других учебных заведений и т.д.) ($\lambda(t) = 1,075; 2 \leq t \leq 16$).

– Учитывается прогнозный выпуск учащихся средних школ [1]. Значения функций $w(t)$ и $v(t)$ пропорциональны количеству выпускников средних школ.

– Среднегодовая оплата за обучение в 2012–2014 годах увеличивалась на 10%.

Результаты расчетов показывают, что с 2002 года финансовый и технологический ресурсы вуза стабильно возрастают.



Сценарий 5

– Внутренние инвестиции с 2004 по 2016 годы определены на уровне 10% от финансового ресурса вуза ($u(t) = 0,10; 2 \leq t \leq 16$).

– Внешние воздействия на вуз положительны, они выражаются прибытием на учебу примерно по 100 студентов в год (за

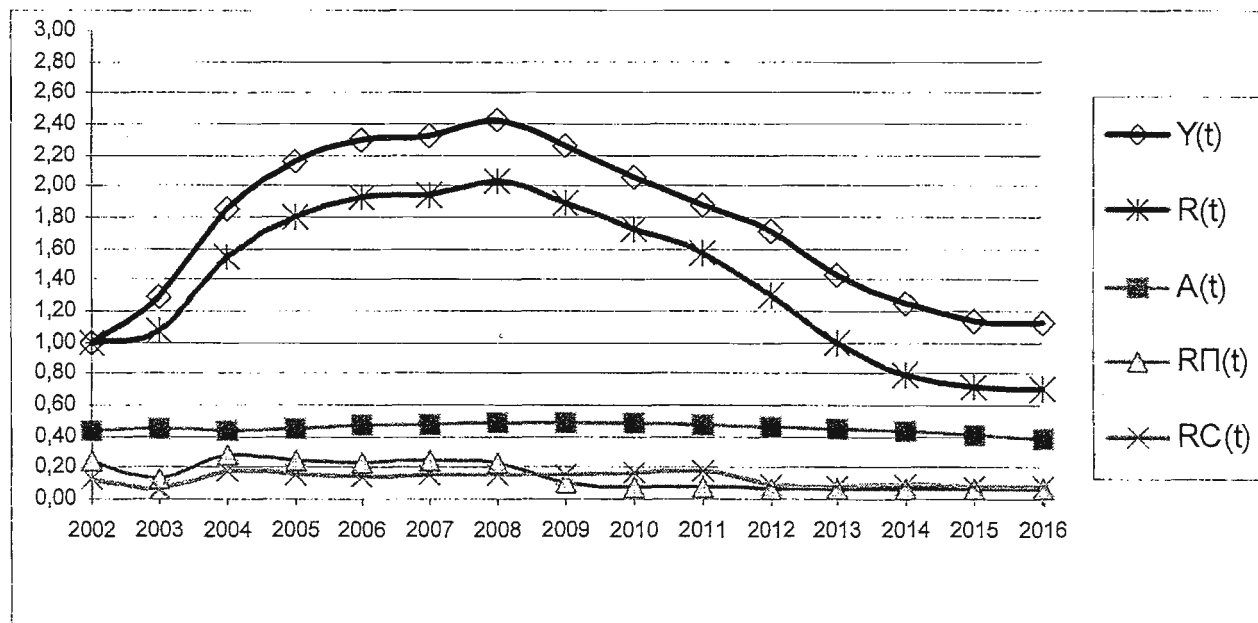
счет переводов из других учебных заведений и т.д.) ($\lambda(t) = 1,075; 2 \leq t \leq 16$).

– Учитывается прогнозный выпуск учащихся средних школ, связанный с демографической ситуацией [1]. Значения функций $w(t)$ и $v(t)$ пропорциональны количеству выпускников средних школ.

– Среднегодовая оплата за обучение в 2012–2014 годах увеличивалась на 10%.

Результаты расчетов показывают, что с 2008 года финансовый, первичный и техно-

логический ресурсы вуза будут стабильно убывать, что говорит о явно недостаточной величине внутренних инвестиций.



Выводы. В статье предложена экономико-математическая модель управления вузом на основании изучения динамики его финансового, первичного и технологического ресурсов. Их математическое описание представляет собой четыре нелинейные разностные динамические уравнения, включающие четыре эндогенных переменных и восемь параметров.

С целью апробации предложенной модели проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого:

- 1) определено начальное состояние модели на основе данных о деятельности Минского института управления за период с 1997 по 2002 годы;
- 2) осуществлена идентификация парамет-

ров математической модели (часть из них оценивалась экспертным путем, а остальные вытекали из решения системы уравнений модели при $t=0$ и $t=1$);

3) проведена оценка возможных величин управляющих воздействий модели, которые доступны лицу, принимающему решение;

4) получены значения эндогенных переменных модели по пяти сценариям, в которых использовалось последовательное (маргинальное) изменение управляющих воздействий.

Результаты вычислительного эксперимента позволили спрогнозировать динамику первичного, финансового и технологического ресурсов в зависимости от выбора стратегии управления вузом и внешних воздействий на него.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суша Н.В. Инновации в высшем образовании. – Мн.: МИУ, 2002. – 80с.
2. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 288с.
3. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. – М.: Айрис Пресс, 2002. – 576с.
4. Колемаев В.А. Математическая экономика. – М.: Юнити-Дана, 2005. – 399с.
5. Гедранович Б.А. Прогнозирование устойчивого развития вуза // Экономика. Управление. Право. – 2004. – №1(9). – С. 28–30.
6. Астровский А.И., Гедранович Б.А., Хапкевич Г.А. Нелинейная динамическая система управления инновационной деятельностью вуза // Вузовская наука, промышленность, международное сотрудничество: Сб. науч. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. – Мн.: БГУ, 2004. С. 92–96.