

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В.Я. АСАНОВИЧ, С.Я. ЖУКОВИЧ

БИЗНЕС-ПРОЦЕСС ЭКСПОРТА СЕТЕВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСЛУГ В ВУЗАХ

В настоящее время в Республике Беларусь актуальна проблема роста экспорта образовательных услуг: к 2015 г. планировалось увеличить их экспорт в 3 раза [1]. Однако традиционный вид экспорта образовательной услуги, когда студенты непосредственно контактируют с преподавателем, близок к насыщению. Поэтому необходимо вводить различные формы дистанционного обучения: он-лайн и оффлайн [2]. В таких формах обучения преподаватель находится удаленно и не имеет полной обратной связи с обучаемым, что может негативно отразиться на качестве образовательной услуги.

Отсюда возникает необходимость применения экономико-математических методов для оптимального управления дистанционным бизнес-процессом обучения. Были исследованы следующие вопросы: моделирование процесса обучения и бизнес-процесс экспорта сетевых образовательных услуг в вузах на основе теории оптимального управления.

1. Математическая модель обучения на основе теории управления. С достаточной точностью можно аппроксимировать экспериментальные данные для процесса забывания [3], с помощью экспоненты с отрицательным показателем (если брать характерное время для процесса обучения — сутки и более). Большинство исследователей выражают эту зависимость с помощью следующей формулы [4]:

$$Z = Z_0 \exp(-kt), \quad (1.1)$$

где $Z = Z(t)$ — уровень (объем) текущих знаний (в академических часах); Z_0 — начальный объем знаний при $t = t_0$; k — коэффициент забывания, который показывает, какую часть от текущих знаний Z обучаемый забывает в среднем за сутки. Дифференцируя (1.1) по времени t получаем однородное линейное дифференциальное уравнение

$$\frac{dZ}{dt} = -kZ. \quad (1.2)$$

Валерий Яковлевич АСАНОВИЧ, доктор химических наук, профессор кафедры прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета;

Сергей Яковлевич ЖУКОВИЧ, ассистент кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета.

Для того чтобы имелся положительный прирост знаний, процесс обучения нужно описывать с помощью следующего неоднородного линейного дифференциального уравнения:

$$\frac{dZ}{dt} = -kZ + f(t), \quad (1.3)$$

где $f(t)$ — объем усвоенных знаний.

Решение уравнения (1.3) представляется функцией

$$Z = Z_0 e^{-\int_0^T k dt} + e^{-\int_0^T k dt} \int_0^T f(t) e^{\int_0^t k dt} dt, \quad (1.4)$$

где T — конечный момент времени.

В технических системах функцию управления разбивают на программное управление и управление с обратной связью [5]. Нагрузку на учебном курсе ($U(t)$) можно представить в виде суммы [6; 7]

$$U(t) = u_0(t) + u_2(t) + u_4(t),$$

где u_0 — программное управление, задаваемое в виде заранее запланированной нагрузки, осуществляемой преподавателем (в академических часах); u_2 — программное управление в виде нагрузки для самостоятельного обучения; u_4 — программное управление на сетевом курсе в виде просмотра обучаемым видеолекций, апробированных во время традиционного процесса обучения.

Если учесть, что в процессе обучения присутствует управление с обратной связью в виде повторения уже пройденного материала, объем усвоенных знаний из (1.3) можно составить из шести частей:

$$f(t) = \sum_{i=0}^5 k_i u_i(t) \cos(au_i(t)), \quad (1.5)$$

где k_0 — коэффициент усвоения новых знаний при обучении с помощью преподавателя; u_1 — управление процессом повторения посредством контрольных и самостоятельных работ после обучения преподавателем (u_1 является управлением с обратной связью); k_1 — коэффициент усвоения для управления u_1 ; k_2 — коэффициент усвоения для управления u_2 ; u_3 — управление с обратной связью при повторении материала, изученного обучаемым самостоятельно; k_3 — коэффициент усвоения для управления u_3 ; u_5 — управление с обратной связью при повторении материала, изученного обучаемым в виде видеолекций; k_5 — коэффициент усвоения для управления u_5 ;

$$a = \frac{\pi}{2Z_{\max}},$$

где Z_{\max} — максимальный объем материала по данному предмету (объем курса в академических часах);

$$Z_{\max} = \sum_{i=1}^N X_i,$$

где N — число запланированных занятий; X_i — объем материала, который дает преподаватель на i -м занятии (или при самостоятельном обучении, или в виде видеолекций). Все коэффициенты изменяются в пределах от нуля до единицы

$$(0 \leq k, k_i \leq 1, i = 0, 1, 2, 3, 4, 5).$$

Функция $\cos(au_i(t))$ в формуле (1.5) выполняет роль фильтра, учитывающего ограниченность однократного объема материала ($0 \leq \cos(au_i(t)) \leq 1$).

Таким образом, процесс обучения можно описать с помощью неоднородного линейного дифференциального уравнения

$$\frac{dZ}{dt} = -kZ + \sum_{i=0}^5 k_i u_i(t) \cos(au_i(t)). \quad (1.6)$$

Решение уравнения (1.6) представляется в виде

$$Z = Z_0 e^{-\int_0^T k dt} + e^{-\int_0^T k dt} \int_0^T \sum_{i=0}^5 k_i u_i(t) \cos(au_i(t)) e^{\int_0^t k dt} dt. \quad (1.7)$$

Для устойчивого обучения необходимо обеспечить переход знаний у обучаемых из кратковременной памяти в долговременную. Это обеспечивается путем применения управления с обратной связью с постепенным уменьшением коэффициента забывания k по некоторому закону: $k_{(n)} = \frac{k}{f(n)}$, где $k_{(n)}$ — коэффициент забывания для определенного объема материала, повторенного n раз. В

первом приближении будем считать справедливой зависимость [6; 7]: $k_{(n)} = \frac{k}{2^n}$

2. Оптимальное управление с обратной связью обучением на экспортном сетевом курсе. При реальном учебном процессе программное управление обычно задано заранее и является дискретным. Поэтому задача оптимального управления сводится к нахождению оптимального управления с обратной связью $u_3^* = u_3^*(t, Z(t))$ (синтез оптимального регулятора).

Имеем исходное дифференциальное уравнение изучаемого процесса (для управляемой самостоятельной работы иностранного студента)

$$\frac{dZ}{dt} = -kZ + k_2 u_2(t) + k_3 u_3(t). \quad (2.1)$$

В (2.1) косинус, в сравнении с (1.6), убран, так как при оптимальном управлении учебный материал дается небольшими порциями. Требуется минимизировать функционал качества управления обучением

$$J = \int_0^T (u_3(t) - Z(t)) dt - Z(T). \quad (2.2)$$

Достаточным условием минимума функционала (2.2) является уравнение Беллмана для непрерывных детерминированных систем [8; 9]. Если существует функция $\varphi(t, Z)$, удовлетворяющая уравнению Беллмана

$$\max_{u_3 \leq u_{3\max}} \left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial Z} (-kZ + u_2 + u_3) - u_3 + Z \right\} = 0 \quad (2.3)$$

с граничным условием

$$\varphi(T, Z) = Z(T), \quad (2.4)$$

и управление u_3 , удовлетворяющее условию

$$u_3^* = \arg \max_{u_3 \leq u_{3\max}} \left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial Z} (-kZ + u_2 + u_3) - u_3 + Z \right\}, \quad (2.5)$$

с ограничением

$$0 \leq u_3 \leq u_{3\max}, \quad (2.6)$$

то $u_3^*(t, Z)$ является оптимальным управлением с полной обратной связью, где $u_{3\max}$ — максимально допустимая нагрузка для повторения.

Уравнение Беллмана (2.3) линейно по u_3 , поэтому оптимальное управление u_3^* с ограничением (2.6) будет релейным [9] и описывается уравнением

$$\left(\frac{\partial \Phi}{\partial Z} - 1 \right) u_3^* = 0,$$

которое удовлетворяет условию (2.5).

Тогда оптимальное управление с обратной связью

$$u_3^* = \begin{cases} 0 & , \frac{\partial \Phi}{\partial Z} \neq 1 \\ u_{3\max}^* & , \frac{\partial \Phi}{\partial Z} = 1 \end{cases}. \quad (2.7)$$

Из системы (2.7) при граничном условии (2.4) определяется условие включения управления с обратной связью

$$Z(t) = \varphi(t, Z).$$

Пусть нужно оптимальным образом попасть из точки $(Z_0, 0)$ в точку $(Z(T), T)$, где $Z(T) \in [Z_{\min}, Z_{\max}]$. В качестве функции Φ удобно взять опорную траекторию

$$Z^0(t) = \frac{Z(T)}{T} t, \quad t \in [0, T], \quad (2.8)$$

соединяющую начало координат и конечную точку. Тогда оптимальное управление с обратной связью будет

$$u_3^*(t_j) = \begin{cases} 0 & , Z(t_{j-1}) > Z^0(t_{j-1}) \\ Y_i(t_i) & , Z(t_{j-1}) \leq Z^0(t_{j-1}) \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, T, \quad (2.9)$$

где Y_i — объем знаний, повторяемый в момент времени t_j . Общий объем повторенного материала

$$Y = \sum_{i=1}^M Y_i, \quad Y \in X,$$

где M — число контрольных и самостоятельных работ на повторение пройденного материала.

3. Математический метод оптимального управления бизнес-процессом обучения на экспортном сетевом курсе. Под сетевым курсом будем понимать комплекс информационного, технического, программного и учебно-методического обеспечения в рамках одной дисциплины, доступный при определенных условиях потребителю образовательных услуг и обеспечивающий обучение с различной степенью погружения в сеть [10].

Под экспортным сетевым курсом будем понимать сетевой курс, для которого используются математическая модель (1.6) и оптимальное управление и траектория, рассчитанные по формулам (2.9), (1.7).

Математический метод оптимального управления бизнес-процессом обучения на экспортном сетевом курсе включает следующие этапы:

- 1) обучаемые проходят специальное тестирование;
- 2) по результатам тестирования определяется объем начальных (текущих) знаний для каждого обучаемого по данному предмету;
- 3) вычисляются индивидуальные параметры каждого студента: коэффициенты усвоения (k_2, k_3) и коэффициент забывания (k);

4) рассчитывается оптимальное управление с обратной связью по формуле (2.9);

5) строится оптимальная траектория для обучаемого на сетевом курсе по формуле (1.7).

В качестве примера приведем данные педагогического эксперимента, реализованного в Белорусском государственном экономическом университете. В эксперименте участвовали 26 студентов третьего курса, изучающих предмет «Эконометрика и экономико-математические методы и модели». С помощью специальных тестов были измерены коэффициенты усвоения при самостоятельном обучении (k_2) и коэффициенты забывания (k) для каждого обучаемого. Усредненный коэффициент усвоения при самостоятельном обучении получился равным $k_2 = 0,81$, а коэффициент забывания — $k = 0,05$.

Рассмотрим теперь, какими будут программное управление, оптимальное управление с обратной связью и оптимальная траектория обучения на экспортном сетевом курсе для иностранного студента с такими коэффициентами усвоения и забывания (начальный объем знаний примем равным двум часам).

Пусть программное управление задано равномерно и студент изучает 1 раз в неделю 2 часа по заданному предмету в течение 17-ти недель (общий объем изучаемого материала — 34 часа). Данный процесс можно представить в виде графика (рис. 1).

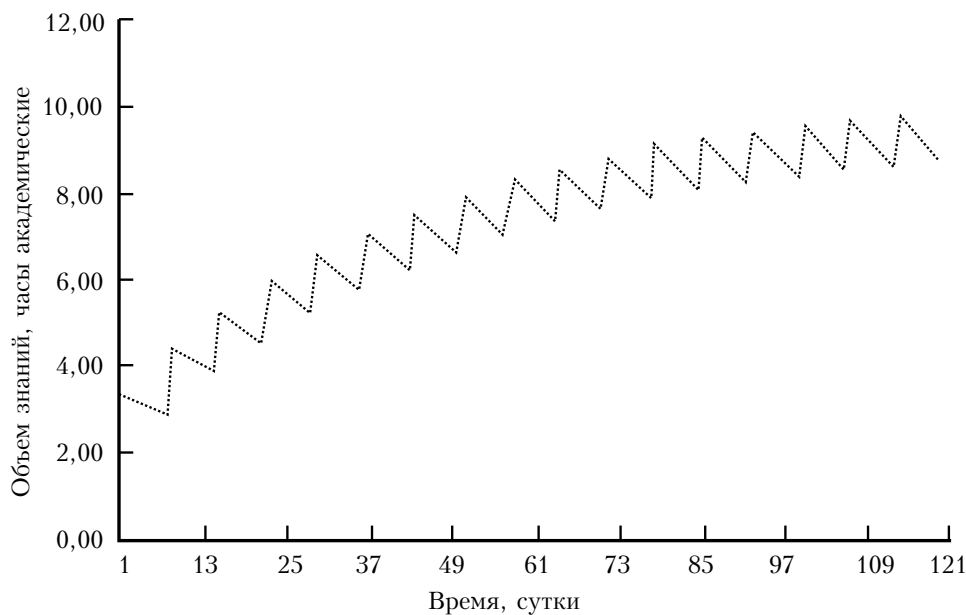


Рис. 1. Траектория обучения для равномерного программного управления при коэффициенте усвоения $k_2 = 0,81$ и коэффициенте забывания $k = 0,05$.

Теперь построим траекторию обучения при оптимальном управлении с обратной связью, рассчитанную по формулам (2.9), (1.7). В качестве опорной траектории возьмем прямую (2.8), проведенную от начала координат до точки $(Z(T), T)$, где $T = 119$ -й день на 17-й неделе обучения, $Z(T)$ составляет 40 % общей нагрузки по предмету при программном управлении (рис. 2).

Как видно из графика на рис. 1, оптимальное управление с обратной связью включает в себя три коллоквиума (контрольные работы) на повторение пройденного материала: на 7-й неделе — 12 часов, на 12-й неделе — 10 часов, на 15-й неделе — 8 часов. Весь учебный материал повторяется за 3–4 дня перед экзаменом (зачетом). Данную методику можно применять и для обучения иностранных студентов. Тогда иностранные студенты, обучающиеся на

экспортном сетевом курсе, будут приходить на экзамен (зачет) полностью подготовленными.

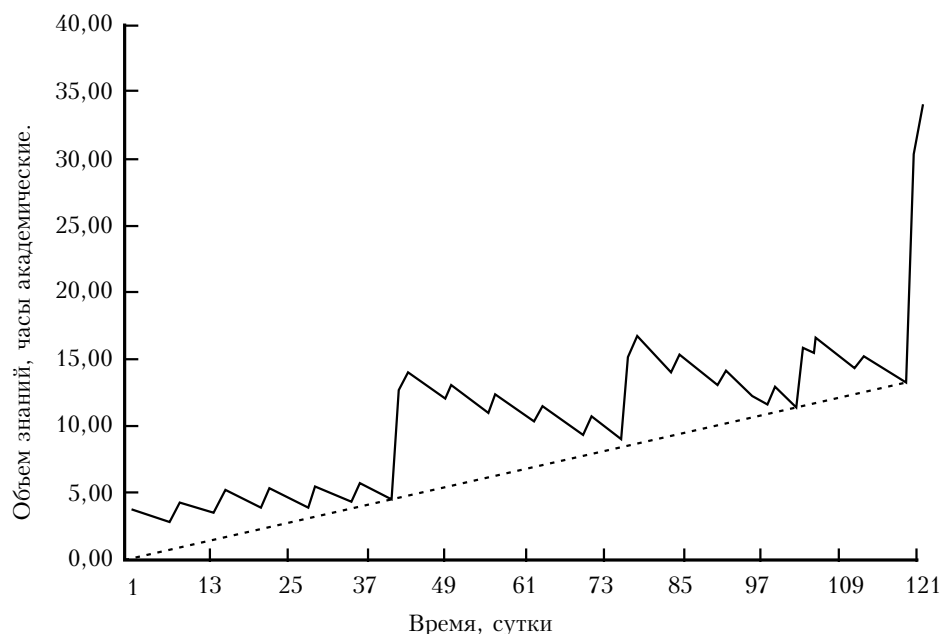


Рис. 2. Траектория обучения для оптимального управления с обратной связью при коэффициенте усвоения $k_2 = 0,81$ и коэффициенте забывания $k = 0,05$ (внизу расположена опорная траектория)

Пусть n иностранных студентов изучают дистанционно оффлайн m предметов. Экономический эффект от внедрения экспортного сетевого курса определяется как прибыль (Q) (в белорусских рублях) по формуле:

$$Q = qt - \sum_{j=1}^m \text{Затр}_j,$$

где q — оплата, вносимая одним студентом за период обучения (в белорусских рублях); Затр_j — затраты на экспортный сетевой курс по предмету j , метод расчета которых приведен в работе [7].

Обратим внимание на очень важный момент. Описанный метод может обеспечить приток валюты в страну, так как иностранные студенты оплачивают обучение, обменивая валюту на белорусские рубли, а затраты на разработку экспортного сетевого курса исчисляются в белорусских рублях.

Таким образом, математическая модель обучения на основе теории управления может быть полезна, прежде всего, педагогам. На основе коэффициентов усвоения и забывания, определенных с помощью специальных тестов, можно прогнозировать в некотором приближении уровень текущих знаний как отдельного обучаемого, так и группы или потока студентов, т. е. процесс обучения может контролироваться более точно по сравнению с традиционным подходом.

На основе предложенного математического метода оптимального управления может быть создана автоматизированная система управления, которая позволит оптимально планировать педагогический процесс.

Внедрение экспортного сетевого курса может обеспечить уменьшение нагрузки на профессорско-преподавательский состав, ослабление загруженности библиотечных фондов, уменьшение издержек на дополнительные принадлежности, что позволит уменьшить затраты на экспортный сетевой курс по предмету, а, значит, увеличит рентабельность вуза.

Литература и электронные публикации в Интернете

1. Прогнозные показатели экспорта образовательных услуг учреждений высшего образования 2011 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/file96ad8f26c520bf40.PDF>. — Дата доступа: 23.05. 2014.
2. Хортон, У. Электронное обучение: инструменты и технологии / У. Хортон, К. Хортон. — М.: Кудиц-образ, 2005.
3. Мещеряков, Б.Г. Закон забывания Г. Эббингауза. Большой психологический словарь / Б.Г. Мещеряков, В.П. Зинченко. — 3-е изд. — СПб.: Прайм-Еврознак, 2003.
4. Майер, Р.В. Кибернетическая педагогика: Имитационное моделирование процесса обучения / Р.В. Маейр. — Глазов: ГГПИ, 2013.
5. Сенигов, П.Н. Теория автоматического управления: Конспект лекций / П.Н. Сенигов. — Челябинск: ЮУрГУ, 2000.
6. Жукович, С.Я. Математический метод повышения качества обучения в вузе / С.Я. Жукович // Весн. Беларус. дзярж. экан. ун-та. — 2012. — № 5. — С. 36–42.
7. Асанович, В.Я. Математический метод оптимального управления экспортом образовательных услуг / В.Я. Асанович, С.Я. Жукович // Инновац. образоват. технологии. — 2014. — № 2. — С. 45–51.
8. Куцый, Н.Н. Теория оптимального управления / Н.Н. Куцый. — Иркутск: Издательство Иркут. гос. техн. ун-та, 2006.
9. Пантелеев, А.В. Теория управления в примерах и задачах / А.В. Пантелеев. — М.: Высш. шк., 2003.
10. Вариативное решение сетевого курса / А.Н. Морозевич [и др.] // Информатизация образования. — 2003. — № 4. — С. 75–81.

*Статья поступила
в редакцию 04.12. 2014 г.*

А.О. БРИЛЕВСКИЙ

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЛИНГА НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Проблемы повышения качества планирования, эффективности функционирования и, как следствие, оптимизации затрат в транспортной логистике весьма актуальны [1]. Сложность заключается в том, что зачастую фактический результат работы транспорта отличается от планового. Очевидна необходимость поиска способов и средств обеспечения гарантированного выполнения плана в транспортной системе — сложной экономической системе с многокомпонентной внутренней и изменчивой внешней средой.

Одним из наиболее перспективных направлений (методик/подходов) решения данной задачи является контроллинг. Существует достаточно много определений контроллинга и взглядов на него: это и новая философия ведения учета/контроля, и стратегическое планирование, изучение «узких» мест и «люков» при план-факт анализе, и выработка управленческих решений [2, 109–112; 3, 48–54; 4, 1–11; 5]. На наш взгляд, контроллинг в транспортной логистике это прежде всего оперативный мониторинг (непрерывный контроль) текущего фактического состояния системы и ее элементов, сопоставление с планом, в случае выявления отклонений поддержка в обеспечении оперативного

Алексей Олегович БРИЛЕВСКИЙ, аспирант кафедры прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета.