

## ПРОТОТИП АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

**М. Е. Литовченко, В. А. Демьянчук,**  
студенты факультета международных экономических отношений и менеджмента  
*Учреждение образования Федерации профсоюзов Беларуси*  
*«Международный университет «МИТСО»», г. Минск*  
Научный руководитель:  
**С. Я. Жукович,**  
исполняющий обязанности заведующего кафедрой информационных технологий  
*Учреждение образования Федерации профсоюзов Беларуси*  
*«Международный университет «МИТСО»», г. Минск*

В настоящее время на первый план постепенно выходит сфера дистанционного образования, которая является видом заочной формы получения образования, когда получение образования осуществляется преимущественно с использованием современных коммуникационных и информационных технологий, и имеет сильное влияние на получение государством дополнительного дохода за счет расширения рынка.

Дистанционная форма получения образования – обучение и воспитание, предусматривающее преимущественно самостоятельное освоение обучающимся содержания образовательной программы на основе использования компьютерных и коммуникационных технологий, обеспечивающих опосредованное регулярное взаимодействие обучающегося и преподавателя при проведении учебных занятий и аттестации в университете [1].

Однако на практике оказалось, что при дистанционном обучении может ухудшаться качество образовательной услуги по сравнению с традиционным обучением. Возникает вопрос, каким образом можно повысить качество дистанционной образовательной услуги?

Ответ на этот вопрос лежит в разработке автоматизированной системы дистанционного обучения (АСДО). В такой системе дистанционный процесс обучения должен быть управляем в том смысле, как это принято при управлении процессами в технических системах. При такой постановке задачи необходимы следующие этапы:

1. Разработка математической модели обучения в виде дифференциального уравнения, в котором управление присутствует в явном виде.
2. Разработка математического и инструментального метода оптимального управления с обратной связью процессом дистанционного обучения.
3. Разработка прототипа автоматизированной системы дистанционного обучения.

**1. Математическая модель процесса дистанционного обучения на основе теории управления.** В [2] предложена следующая математическая модель процесса дистанционного обучения на основе теории управления

$$\frac{dZ}{dt} = -kZ + k_0 u_0(t) + k_1 u_1(t), \quad (1)$$
$$Z(t_0) = Z_0,$$

где  $Z = Z(t)$  – текущий уровень (объем) усвоенного учебного материала (в академических часах);

$k(n)$  – коэффициент забывания учебного материала, который является функцией от числа повторений данного учебного материала  $n$ ;

$u_0$  – программное управление, задаваемое в виде заранее запланированной нагрузки, осуществляемой АСДО (в академических часах);

$k_0(n)$  – коэффициент усвоения учебного материала при обучении с помощью АСДО, который является функцией от числа повторений данного учебного материала  $n$ ;

$u_1$  – управление процессом повторения посредством контрольных и самостоятельных работ после обучения АСДО ( $u_1$  является управлением с обратной связью);

$k_1(n)$  – коэффициент усвоения для управления  $u_1$ , который является функцией от числа повторений данного учебного материала  $n$ ;

В первом приближении можно считать справедливой зависимость [2]:

$$k(n) = ke^{-n} \quad (2)$$

## 2. Математический и инструментальный методы управления с обратной связью процессом дистанционного обучения

В [3] решена задача оптимального управления с обратной связью процессом дистанционного обучения.

Рассмотрим функционал качества управления обучением:

$$J(u_1, Z, t) = \int_0^T (u_1(t) - Z(t)) dt \quad (3)$$

Для оптимального управления процессом обучения функционал (3.20) должен принимать минимальное значение на интервале  $[0, T]$ . Функционал (3) можно разбить на два слагаемых:

$$J(u_1, Z, t) = J_1(u_1, t) - J_2(Z, t), \quad (4)$$

где  $J_1$  – функционал потерь, который должен принимать минимальное значение, обеспечивая минимальную учебную нагрузку при повторении учебного материала после обучения преподавателем онлайн:

$$J_1(u_1, t) = \int_0^T u_1(t) dt$$

$J_2$  – функционал качества обучения, характеризующий сохранение накопленных знаний после сдачи экзамена (зачета) за счет уменьшения коэффициента забывания, и наилучшее повторение учебного материала за счет увеличения коэффициента усвоения  $k_0$ ; должен принимать максимальное значение. Данный функционал представляет подынтегральную площадь, образованную траекторией обучения  $Z = Z(t)$  на временном интервале  $[0, T]$ :

$$J_2(Z, t) = \int_0^T Z(t) dt$$

Достаточным условием минимума функционала (3) является уравнение Беллмана для непрерывных детерминированных систем [4]. Если существует функция  $\varphi(t, Z)$ , удовлетворяющая уравнению Беллмана:

$$\max_{u_1 \leq u_{1\max}} \left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial Z} (-kZ + u_0 + u_1) - u_1 + Z \right\} = 0 \quad (4)$$

с граничным условием

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

(5)

и управление  $u_1$ , удовлетворяющее условию

$$u_1^* = \arg \max_{u_1 \leq u_{1\max}} \left\{ \frac{\partial \varphi}{\partial Z} (-kZ + u_0 + u_1) - u_1 + Z \right\}, \quad (6)$$

с ограничением

$$0 \leq u_1 \leq u_{1\max}, \quad (7)$$

то  $u_1^*(t, Z)$  является оптимальным управлением с полной обратной связью, где  $u_{1\max}$  – максимально допустимая нагрузка для повторения.

Уравнение Беллмана (4) и уравнение (1) линейны по  $u_1$ , поэтому оптимальное управление  $u_1^*$  с ограничением (7) будет релейным [4] и описывается уравнением:

$$\left( \frac{\partial \varphi}{\partial Z} - 1 \right) u_1^* = 0,$$

которое удовлетворяет условию (5).

Тогда оптимальное управление с обратной связью [4]:

$$u_1^* = \begin{cases} 0 & , \frac{\partial \varphi}{\partial Z} \neq 1 \\ u_{1\max} & , \frac{\partial \varphi}{\partial Z} = 1 \end{cases} \quad (8)$$

Из системы (8) при граничном условии (5) определяется условие включения управления с обратной связью:

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

Пусть нужно наиболее эффективным образом попасть из точки  $(Z_0, 0)$  в точку  $(Z_1, T)$ , где  $Z_1 \in [Z_{\min}, Z_{\max}]$ . В качестве функции  $\varphi$  удобно взять опорную траекторию в виде прямой, соединяющую начальную и конечную точки.

$$Z^0(t) = Z_{\text{по}} + \frac{Z(T) - Z_0}{T} t, \quad t \in [0, T]$$

Тогда математическая модель управления с обратной связью будет

$$u_1(t_j) = \begin{cases} 0 & , Z(t_j) > Z^0(t_j) \\ Y_j(t_j) & , Z(t_j) \leq Z^0(t_j) \end{cases}, \quad j = 1, 2 \dots T \quad (9)$$

где  $u_1(t_j)$  – управление с обратной связью, построенное на основе теории оптимального управления;

$Y_j(t)$  – объем учебного материала, повторяемый в момент времени  $t_j$ , из материала, данного с помощью АСДО.

Общий объем повторенного материала, данного с помощью АСДО

$$Y = \sum_{j=1}^M Y_j, \quad Y_{II} \in X,$$

где  $M$  – число контрольных и самостоятельных работ на повторение пройденного материала;

$X$  – полный объем дистанционного курса.

Траектория обучения рассчитывается по формуле;

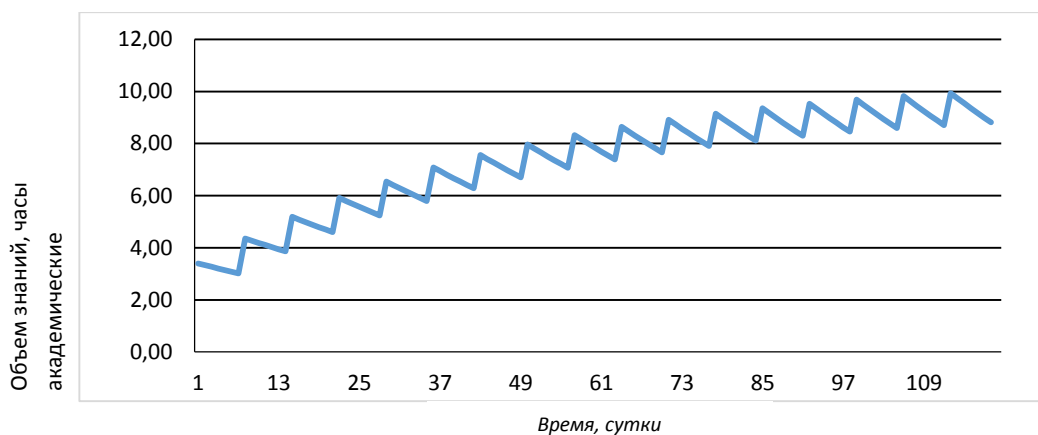
$$Z(u_0, u_1, t) = Z_0 e^{-\int_0^t k(v)dv} + e^{-\int_0^t k(v)dv} \int_0^t (k_0 u_0(t) + k_1 u_1(t)) e^{\int_0^v k(v)dv} dt \quad (10)$$

### 3. Прототип автоматизированной системы дистанционного обучения

Прототип автоматизированной системы дистанционного обучения разработан на языке программирования С# в среде разработки Visual Studio.

Рассмотрим теперь, какими будут программное управление, управление с обратной связью и траектория обучения на дистанционном курсе для студента с разными коэффициентами усвоения и забывания (начальный объем знаний примем равным 2 часам).

Пусть программное управление задано равномерно и студент изучает один раз в неделю 2 часа по заданному предмету в течение 17 недель (общий объем изучаемого материала – 34 часа). На рис. 1 изображена траектория обучения для равномерного программного управления при коэффициенте усвоения  $k_2 = 0,80$  и коэффициенте забывания  $k = 0,04$ , построенная по формуле (10).



**Рисунок 1 – Траектория обучения для равномерного программного управления при коэффициенте усвоения  $k_2 = 0,80$  и коэффициенте забывания  $k = 0,04$**

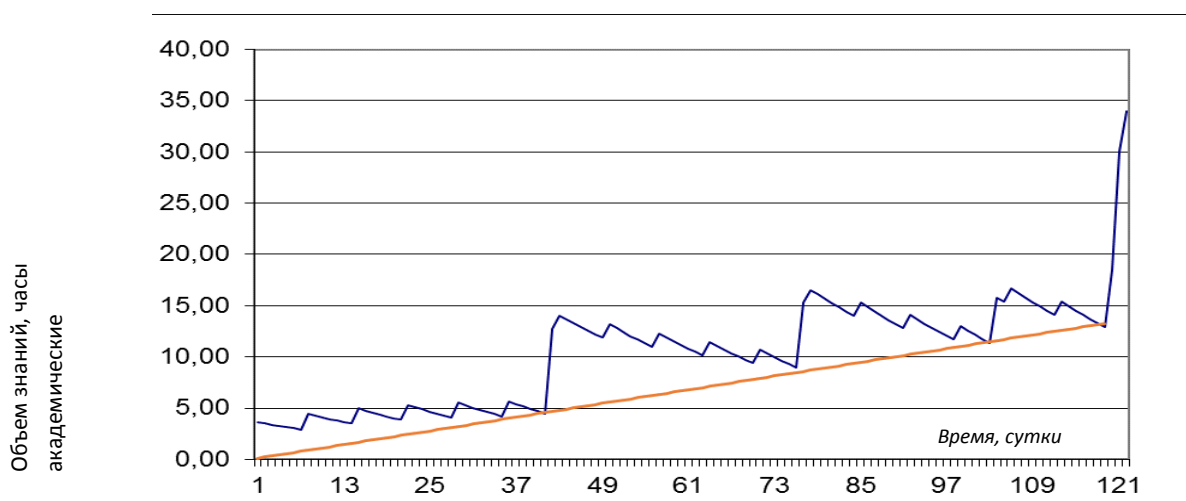
Пусть программное управление задано равномерно и студент изучает программу один раз в неделю 2 часа по заданному предмету в течение 17 недель (общий объем изучаемого материала – 34 часа). Построим траекторию обучения при управлении с обратной связью, рассчитанную по формулам (9), (10). В качестве опорной траектории возьмем прямую, проведенную от начала координат до точки  $(Z(T), T)$ , где  $T = 119$  – и день на 17-й неделе обучения,  $Z(T)$  составляет 40 % от общей нагрузки по предмету при программном управлении (рис. 2). В данном случае программное управление строится аналогично рис. 1, а управление с обратной связью строится по следующему алгоритму:

1. Траектория обучения, которая получается только при программном управлении один раз в сутки (шаг цикла программы) сравнивается с опорной траекторией в виде прямой в соответствии с формулой (9). Если траектория обучения лежит выше опорной траектории, то управление с обратной связью в виде повторения учебного материала не требуется. Как только траектория обучения пересечет опорную траекторию, то включается управление с обратной связью в виде повторения учебного материала, данного ранее при программном управлении.

2. Далее траектория обучения строится по формуле (10) вплоть до момента времени, когда снова будет выполнено условие пересечения опорной траектории шага 1).

3. Выход из цикла осуществляется после завершения программного управления непосредственно перед экзаменом (зачетом).

4. Перед экзаменом (зачетом) несколько дней уделяется повторению всего учебного материала по предмету за семестр.

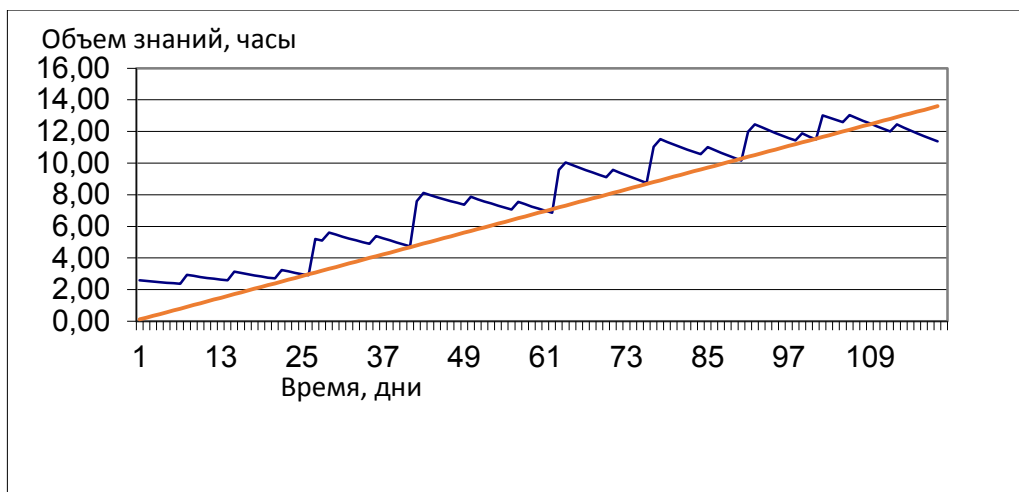


**Рисунок 2 – Траектория обучения для управления с обратной связью при коэффициенте усвоения  $k_2 = 0,80$  и коэффициенте забывания  $k = 0,04$  (внизу расположена опорная траектория)**

Как видно из графика на рис. 2, 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). Таким образом, студент, обучающийся на дистанционном курсе, приходит на экзамен (зачет) полностью подготовленным. Метод обучения в данной группе соответствует традиционной форме обучения.

1. Рассмотрим теперь, какова будет траектория обучения студентов с низким коэффициентом усвоения при самообучении  $k_2 = 0,30$  и высоким коэффициентом забывания  $k = 0,08$ . В этом случае при равномерном программном управлении в 2 часа один раз в неделю к концу обучаемый ничему не научится, так как при таких коэффициентах средняя скорость усвоения за семестр равна средней скорости забывания.

При таких коэффициентах управление с обратной связью будет более сложным. Построим траекторию обучения при управлении с обратной связью, рассчитанную по формулам (9), (10). В качестве опорной траектории возьмем прямую, проведенную от начала координат до точки  $(Z(T), T)$ , где  $T = 119$  –й день на 17-й неделе обучения,  $Z(T)$  составляет 40 % от общей нагрузки по предмету при программном управлении (рис. 3).



**Рисунок 3 – Траектория обучения для управления с обратной связью при коэффициенте усвоения  $k_2 = 0,30$  и коэффициенте забывания  $k = 0,08$  (внизу расположена опорная траектория)**

В данном случае обучаемый должен повторить весь материал дважды, чтобы к концу семестра иметь знания, достаточные для успешной сдачи экзамена (зачета).

### **Заключение**

В данной работе описана математическая модель обучения в виде линейного дифференциального уравнения (1). Для решения задачи оптимального управления с обратной связью выписано уравнение Беллмана в частных производных и найдено соответствующее оптимальное управление с обратной связью (9), дающее минимум функционала качества (3). Разработаны математический и инструментальный методы управления с обратной связью процессом дистанционного обучения

На основе математического и инструментального методов управления с обратной связью процессом дистанционного обучения разработан прототип автоматизированной системы дистанционного обучения на языке программирования C# в среде разработки Visual Studio, в котором будут строиться кривые обучения для программного управления и управления с обратной связью для различных коэффициентов усвоения и забывания.

На основе прототипа автоматизированной системы дистанционного обучения со временем может быть создана полноценная автоматизированная система дистанционного обучения.

### **Список использованных источников**

1. Положение о дистанционной форме получения образования в учреждении образования «Белорусский государственный экономический университет» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i.bseu.by/pluginfile.php>. – Дата доступа: 13.02.2019.
2. Жукович, С. Я. Математическое моделирование процесса обучения на дистанционном курсе / С. Я. Жукович // Труд. Профсоюзы. Общество. – 2018. – № 4. – С. 77–81.
3. Жукович, С. Я. Влияние параметра эффективности обучения на экономический рост государства / С. Я. Жукович // Экономика. Управление. Инновации. – 2017. – № 1/2. – С. 117–122.
4. Пантелеев, А. В. Теория управления в примерах и задачах / А. В. Пантелеев. – М. : Высшая школа, 2003. – 382 с.