

УДК 519.87

**Ромашкова О.Н., Пономарева Л.А.**

Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

**МОДЕЛЬ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ****Аннотация**

*Проведен анализ бизнес процессов освоения профессиональных компетенций студентов по определенной дисциплине. Сделано сравнение существующих информационных систем управления учебным процессом вуза. Представлен обзор математических моделей процесса обучения. Сформулировано определение учебного процесса как информационного объекта. Проанализированы бизнес процессы кафедры при реализации образовательной программы. Обоснован выбор математической модели учебного процесса. Построена вложенная раскрашенная сеть Петри, которая отражает логику и особенности протекания учебного процесса в вузе.*

**Ключевые слова**

*Учебный процесс вуза; бизнес процессы; моделирование; раскрашенная сеть Петри.*

**Romashkova O.N., Ponomareva L.A.**

Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

**MODEL OF EDUCATIONAL PROCESS AT UNIVERSITY WITH THE USE OF PETRI NETS****Abstract**

*The analysis of business processes of mastering the professional competencies in a particular discipline by students is carried out. A comparison was made of the existing information systems of managing the University educational process. The review of mathematical models of the learning process is presented. The notion of the educational process as an information object is defined. The department business processes of the educational program implementation are analyzed. The selection of the mathematical model of the educational process is justified. The embedded colored Petri net reflecting the logic and peculiarities of the University educational process is constructed.*

**Keywords**

*The University educational process; the business processes; modeling; colored Petri net.*

**Введение**

В 2012 г. Президент России поручил Правительству РФ разработать и утвердить план мероприятий по развитию ведущих российских университетов. План предусматривает «вхождение к 2020 году не менее пяти российских университетов в первую сотню ведущих мировых университетов согласно мировому рейтингу университетов». В настоящее время одной из ключевых целей развития вуза является достижение глобальной конкурентоспособности. Важнейший показатель конкурентоспособности – компетенции будущих специалистов, выпускников вуза.

Исследование процесса образования – очень важная задача, которую необходимо решить для наилучшего управления образовательными организациями и, следовательно, - для улучшения качества подготовки будущих специалистов.

Построение математических моделей позволяет создать аппарат для анализа закономерностей протекания учебного процесса, который является частью образовательного процесса вуза.

Актуальность исследования: учитывая требования современного общества к будущим специалистам, вузы делают процесс обучения с каждым годом все более сложным и многогранным. При этом образовательные стандарты не позволяют увеличивать временные рамки обучения. В таких противоречивых условиях большое значение имеет повышение эффективности управления учебным процессом на основе развития и использования методов теории управления и принятия решений. На помощь приходят электронные образовательные технологии и средства поддержки процесса обучения.

Объектом исследования являются

информационные процессы обучения студентов высшего учебного заведения.

Предметом исследования является процесс разработки модели учебного процесса для его анализа, перспективной оценки и корректировки.

Целью исследования является повышение эффективности управления объектом путем оптимизации информационных потоков для улучшения качества обучения.

Научная новизна исследования – построение математической модели учебного процесса для анализа его качества.

Работа представляет практическую значимость, поскольку математическая модель может быть реализована и интегрирована в любой

информационной системе поддержки, контроля, оценки, корректировки процесса обучения по любой дисциплине. С помощью предложенной модели можно оценивать степень освоения компетенций студентами.

### **Существующие системы управления учебным процессом вуза**

Развитие интернет - технологий привело к автоматизации информационных процессов поддержки учебного процесса в вузах. Для того, чтобы составить общую картину процесса автоматизации, были проанализированы десять информационных систем различных наугад выбранных вузов из разных регионов нашей страны (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение существующих информационных систем управления учебным процессом вуза

	Название ИС	Структура ИС	Интеллектуальная обработка данных	Общие замечания
1.	МГИМО Система управления учебным процессом (СУУП)	Отдельные модули	нет	Нет единой управляющей оболочки
2.	ПГУ г. Челябинск «Митерра»	Модуль ИС	нет	
3.	СибГУТИ	Модуль АСУ ВУЗ	Есть интеллект блок	Требует больших материальных затрат
4.	Карагандинский гос. Технический университет	Учебно-воспитательный процесс	нет	Автоматизирована работа учебной части
5.	ГОУВПО НИ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»	Отдельный модуль	нет	Автоматизация кафедры
6.	Харьковского национального экономического университет	Часть корпоративной системы вуза	нет	Автоматизирована работа учебной части
7.	ИС «Магеллан» Удмуртия	Корпоративная система	нет	Коммерческий продукт
8.	Бит.ВУЗ	Отдельный модуль	нет	Коммерческий продукт. Автоматизирована работа учебной части
9.	РосБизнесСофт CRM для Учебных центров	Корпоративная система	нет	Коммерческий продукт
10.	Пед. Вуз. Г. Екатеринбург	Отдельный модуль	нет	Документооборот кафедры
11.	ИС Академии управления при Президенте Республики Беларусь	Модуль АСУ академии	есть	Управление содержанием учебных дисциплин

Все представленные информационные системы имеют модульную структуру, отражающую организационную структуру вуза или его отдельного структурного подразделения, для которого строилась автоматизированная система. Фактически все информационные системы являются по-разному реализованными системами документооборота для учебной части или кафедры. Несомненно, такие системы позволяют более эффективно управлять процессами. Но нами была поставлена задача управления и динамического изменения непосредственно самого учебного процесса для повышения качества преподавания и качества обучения. Поэтому в корпоративную систему вуза необходимо добавить модуль, который мог бы в ходе учебного процесса

анализировать его и предлагать решения по его корректировке. Такой блок существует, например, в ИС СибГУТИ. Но он охватывает глобальные процессы всего вуза и требует дополнительных материальных и трудовых затрат - персонала по обслуживанию, дополнительного оборудования и др.

Для того чтобы разработать блок принятия решений, была построена математическая модель учебного процесса вуза. К такому подходу прибегают многие авторы, например, обзор моделей приведен в [4].

В таблице 2 представлены математические модели, применяемые для управления процессом обучения.

Таблица 2. Обзор математических моделей учебного процесса вуза

№	Что моделируется	Математический метод	Вид функции
1.	Финансовые показатели, инвестируемые в обучение	Нахождение максимума целевой функции на множестве	$\max_{x_i} f_i(x_i) = f(x_j), x \in \dot{D}_i, \dot{D}_i = D_i \cap U_j$
2.	Учебный материал – матрица дидактических единиц	Минимизация целевой функции	$nput \rightarrow t_{\text{дон}}, \Delta M(t) \rightarrow \min,$ где $t_{\text{дон}}$ – допустимое время обучения
3.	Все ресурсы представлены в виде функции	Целевая функция должна стремиться к максимуму	$R = f(G, S, E, D)$ , стремится к максимуму.
4.	С помощью дифференциальных уравнений моделируется количество освоенных дидактических элементов	Решение дифференциального уравнения	$\frac{dn(t)}{dt} = kn(t) \left(1 - \frac{n(t)}{N}\right)$
5.	Учебный процесс с точки зрения студента	Имитационная модель	Диаграмма IDEF3
6.	Дисциплина представляется множеством элементов.	Операции над множествами	$Q = \{Q^r, Q^p, Q^t, Q^v\}$
7.	Пять объектов из БД «Расписание»: время, аудитория, студент, преподаватель, дисциплина	Предложена линейная нотация кодирования строки учебного плана	Создана матрица, элементов учебного процесса. Операции над строками и столбцами – инструмент управления учебным процессом
8.	Основа модели – формула Хартли	Арифметическое нахождение слагаемых	$V_j = \sum_{i=1}^n T_j, (j=1,2,\dots,k)$
9.	Знания представлены в виде набора компонент. Построен вектор	Комбинируя компоненты, можно получить оптимальную стратегию обучения.	$\dot{V} = [v_1 v_2 v_3 v_4 v_5]^t$
10.	Составляющим уч. процесса присваивается рейтинг	Факторный анализ	Отбор значимых параметров.

### Определение учебного процесса

Понятие процесса подразумевает смену состояния какого-либо объекта во времени. Если объектом является студент вуза, то можно ввести понятие образовательного процесса. Образовательный процесс состоит из учебного и воспитательного процессов и процесса развития личности [1]. В рамках поставленной задачи для построения математической модели авторами

было предложено определение информационного объекта – учебного процесса, отражающее его формализованную структуру.

*Учебный процесс (УП)* – это непрерывный, динамический, детерминированный процесс с жестко определенными ограниченными ресурсами, состоящий из элементов, представленных на рисунке 1.

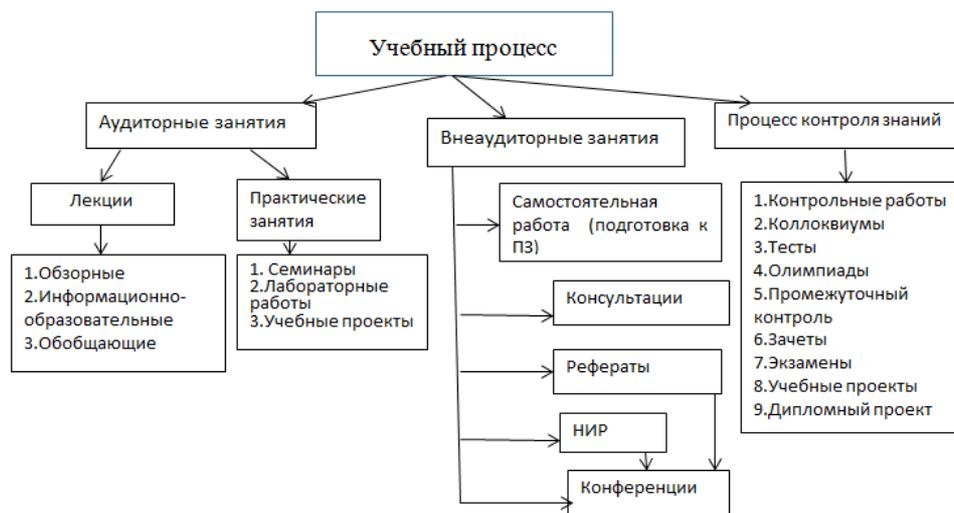


Рис. 1. Элементы учебного процесса

Основным подразделением университета, осуществляющим учебный процесс, является кафедра университета.

**Организационная структура кафедры университета**

Кафедра осуществляет подготовку бакалавров, магистров и аспирантов. Организационная структура кафедры университета представлена на рисунке 2.

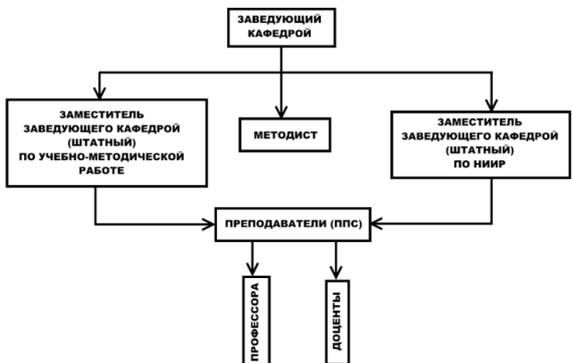


Рис. 2. Организационная структура кафедры университета

**Анализ бизнес процессов кафедры при реализации образовательной программы**

Контекстная диаграмма деятельности кафедры по реализации процесса обучения представлена на рисунке 3.

Более подробно декомпозиция функционального блока «Организация учебного процесса на кафедре» представлена на рисунке 4.

**Анализ бизнес-процессов освоения профессиональных компетенций студентов по определенной дисциплине [2, 3]**

Организационные формы обучения:

- лекции,
- просеминары,
- семинары,
- спецсеминары,
- коллоквиумы,
- лабораторные работы,
- практикумы,
- спецпрактикумы,
- самостоятельная работа студентов,
- научно-исследовательская работа студентов,
- производственная практика,
- педагогическая практика,
- преддипломная практика и др.

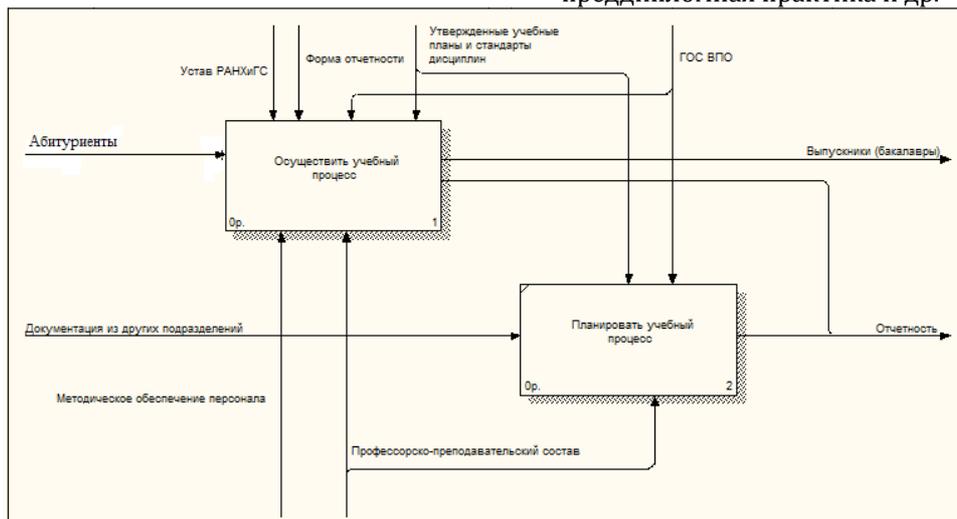


Рис. 3. Модель деятельности кафедры университета

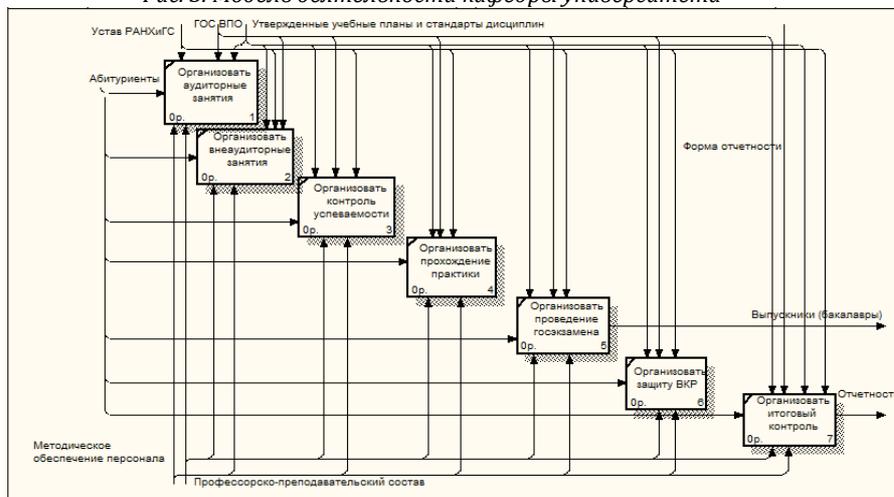


Рис. 4. Организация учебного процесса на кафедре

На рисунке 5 представлена примерная структура учебного процесса по освоению компетенций.

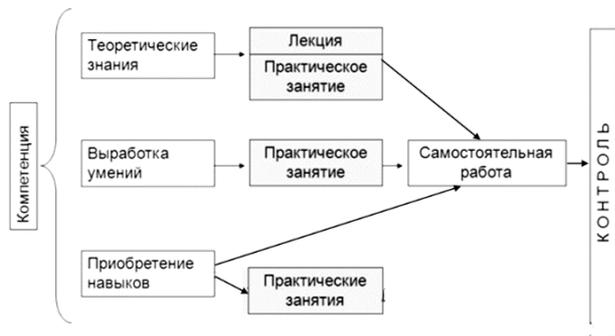


Рис. 5. Организация учебного процесса по освоению компетенций

Выделены следующие сущности процесса: преподаватель, студент.

Выделены следующие бизнес процессы:

проведение лекций, формирование и передача студентам теоретического материала, проведение практических занятий, проведение тестирования, проверка и оценка знаний.

Функции преподавателя регулируются учебным планом и программой курса:

- читает лекции;
- ведет практические (лабораторные) занятия;
- принимает экзамены и зачеты, проводит тестирование;
- оценивает степень освоения материала;
- выставляет итоговую оценку.

Студент

- проходит обучение;
- ликвидирует задолженности;
- следит за своей успеваемостью.

Для анализа бизнес процессов произведена декомпозиция блока «Организация учебного процесса» (рис. 7).

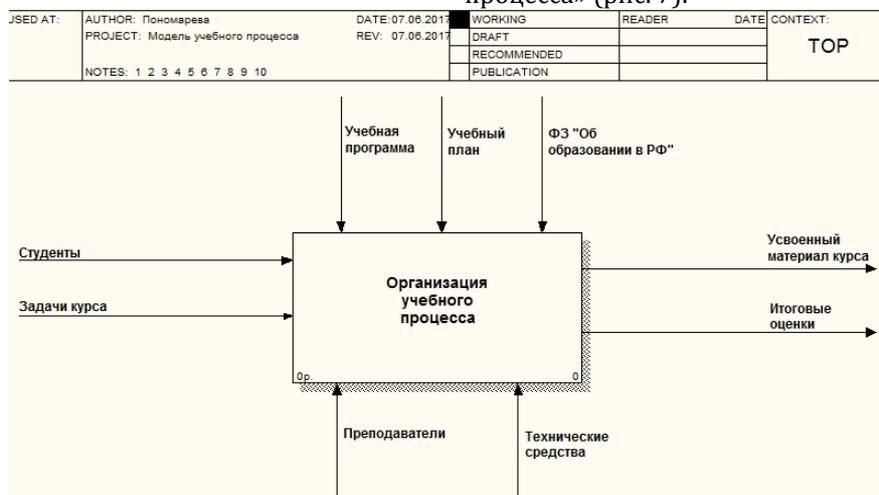


Рис. 6. Диаграмма бизнес-процессов освоения компетенций по дисциплине

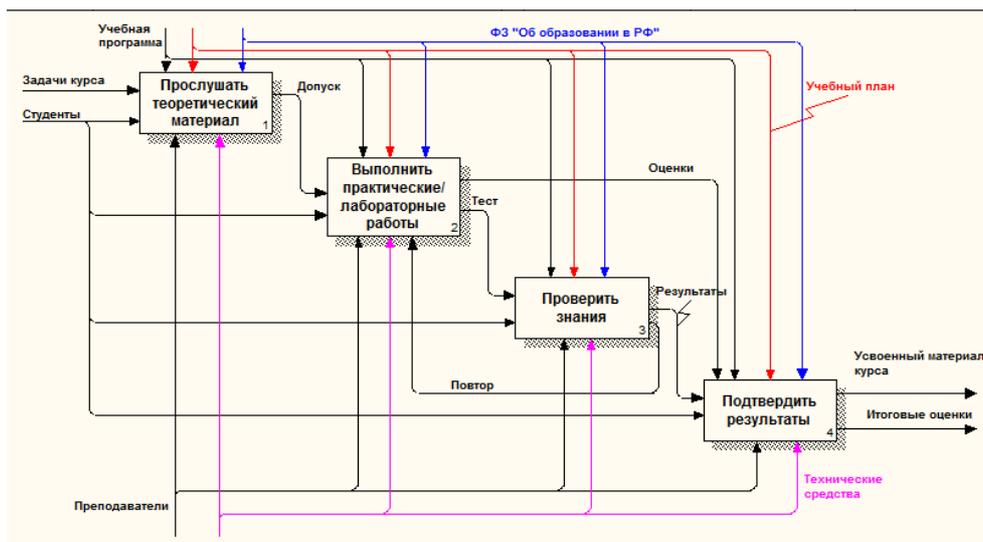


Рис. 7. Диаграмма декомпозиции блока «Организация учебного процесса»

Анализ бизнес процессов:

- статистический материал собирается после прохождения контрольных точек по

дисциплине (тесты, контрольные, зачеты, экзамены);

- составляются списки успевающих и

- неуспевающих студентов;
- назначается дополнительная передача неудовлетворительных оценок;
- учитывается интервал между сдачей экзаменов, зачетов, тестов;
- формируются списки об отчислении;
- студенты, прошедшие контрольные точки, имеют право продолжить обучение;
- контрольные точки определяются кафедрой;
- информация о пройденных дисциплинах

хранится для каждого студента;

- формируются различные отчеты о прохождении обучения студента.

В процессе обучения происходит повторение одних и тех же воздействий на студента, пока не будет выработан определенный навык и умение. Последовательность таких воздействий: объяснение, выполнение различных видов работ, проверка усвоенного материала, поощрение - можно представить в виде блок-схемы (рис. 8).



Рис. 8. Блок-схема процесса освоения дисциплины всей группы студентов

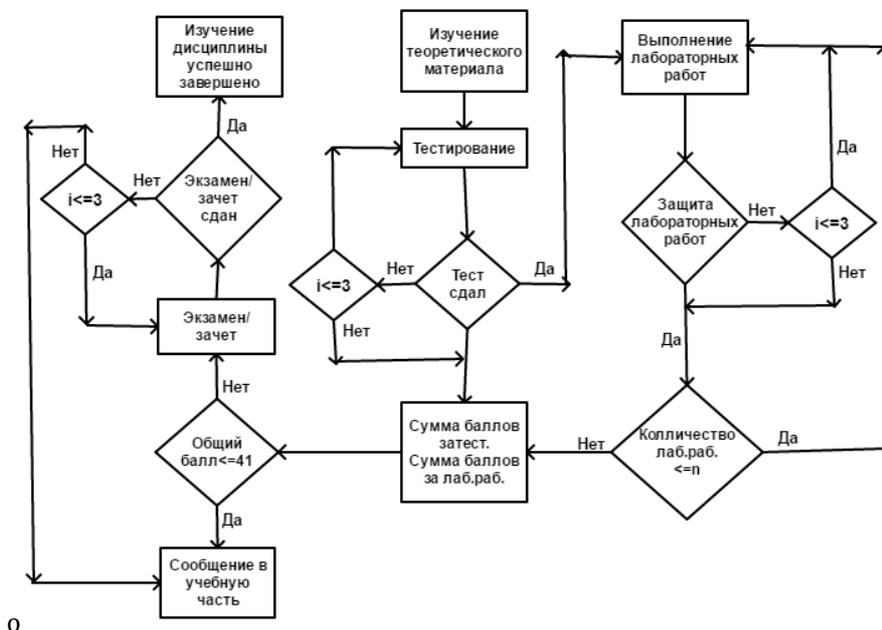


Рис. 9. Блок-схема процесса освоения дисциплины одного студента

Самого обучаемого абстрактно можно представить как автомат с определенным конечным набором состояний, зависящих от внешних воздействий. Но в абстрактном автомате можно рассматривать только последовательные переходы от состояния к состоянию. Для описания

процесса обучения студента такая модель не вполне подходит, поскольку одновременно могут изучаться несколько дисциплин. По одной дисциплине студент успевает, а по другой - имеет задолженности. Сами переходы из состояния в состояние имеют временную протяженность.

Поэтому для моделирования процесса обучения было решено использовать сеть Петри. Каждая позиция сети будет соответствовать некоторому состоянию процесса обучения, фишка – это студент, переход – изучение какой-либо темы: контрольные тесты, защита лабораторных работ, экзамены, курсовые проекты. Срабатывание перехода – это успешное завершение изучения темы. Каждой фишке добавим цвет – этот атрибут будет хранить информацию о том, есть ли задолженности и в каком количестве.

При достижении заданной величины долгов, студент отчисляется. Переход будет считаться разрешенным, только если число фишек в его входной позиции совпадет с числом входных дуг, а цвета фишек будут соответствовать цветам дуг. При срабатывании перехода фишка с состоянием «изучается» (состояние «изучается» - пока не сданы все контрольные позиции по теме или дисциплине) извлекается из позиции, одновременно в позицию помещается фишка с состоянием «изучено» (состояние «изучено» хранит баллы или оценки). Фишка с состоянием «изучается» помещается в позицию, соответствующую следующему изучаемому разделу темы или дисциплины.

Сеть Петри, как и представленная выше блок-схема, имеет два типа узлов. Наши фишки будут выполнять инструкции и передвигаться по сети. Ромбы и прямоугольники блок-схемы – это переходы сети, а дуги блок-схемы – это позиции фишек (одна дуга – одна позиция). Таким образом будет отражена логическая последовательность событий, что позволит проследить потоки информации.

Формально модель процесса обучения описывается кортежем вида:

$$C = \langle P, T, F, N, m_0, cf \rangle,$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – множество позиций  $P_i$ , каждая из позиций соответствует этапу процесса обучения;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$  – множество переходов  $t_i$ , переход соответствует определенному контрольному заданию, срабатывание перехода интерпретируется как выполнение задания,  $k$  – количество переходов;

$F = P \times T \cup T \times P$  – отношение инцидентности, определяющее множества дуг, направленные от позиций к переходам и от переходов к позициям;

$N = \{n_1, n_2, \dots, n_v\}$  – множество цветов  $n_i$  сети Петри,  $v$  – количество цветов;

$m_0: P \rightarrow N^{(1)}$  – функция, задающая начальную разметку сети Петри;

$cf: F \rightarrow N$  – функция, задающая раскраску дуг сети Петри;

$M = P \times N^{(1)}$  – множество всех возможных разметок сети Петри.

$$n_i = (Sost_{Stud}, Ball, Num_{group}, Cod_{Discipl})$$

где  $Sost_{Stud} = \{ \text{ital Изучается}, \text{ital Изучен} \}$  – состояние изученности;

$Ball = \{1, \dots, 100\}$  – компонента цвета, идентифицирующая полученный балл при изучении раздела темы или предмета. Модель на рисунке 10 описывает поведение одного студента при изучении учебного курса дисциплины.

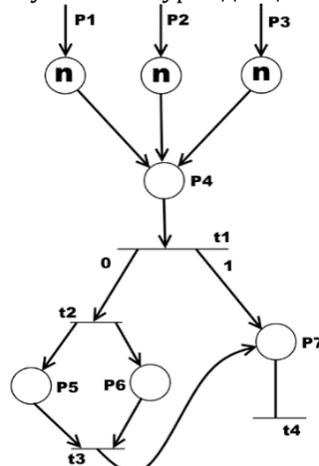


Рис. 10. Раскрашенная сеть Петри (сеть C), моделирующая прохождение учебного курса каждым студентом

Для повышения функциональности сети авторы предлагают использовать вложенную сеть Петри (Nested Petri Nets - NPN). Структурно такая сеть состоит из основной сети ЕС и набора сетей-фишек (подсетей)  $C_i$ , где  $i = 1, \dots, en$  (рисунок подсети – рис. 10). При этом между некоторыми переходами основной сети и переходами сетей-фишек должна быть установлена связь, разрешающая только их совместное срабатывание. Такие переходы будем называть помеченными. Вложенная сеть ЕС представлена на рисунке 11. Каждая фишка сети ЕС содержит  $n$  раскрашенных подсетей, моделирующих поведение каждого студента во время обучения.

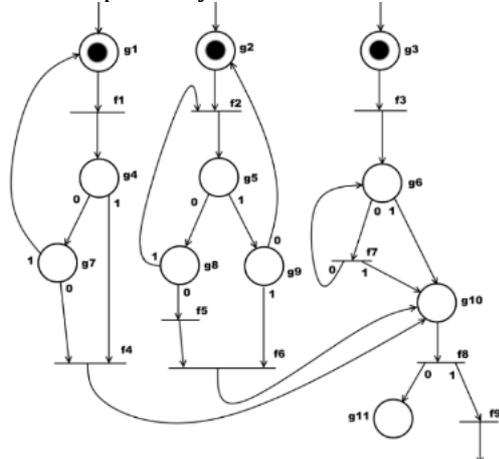


Рис. 11. Вложенная сеть ЕС

При наличии всех необходимых ресурсов в NPN различают следующие четыре вида шагов срабатывания:

- автономный шаг, который соответствует срабатыванию непомеченного перехода в основной сети;
- подсистемный автономный шаг, который соответствует срабатыванию непомеченного перехода в сети - фишке  $C_i$ ;
- горизонтальная синхронизация, при которой одновременно срабатывают переходы в сетях - фишках  $C_i$ , помеченные одинаковыми метками;
- вертикальная синхронизация, при которой одновременно срабатывают переходы в основной сети ЕС и сетях - фишках  $C_i$ , имеющие одинаковые метки.

Рассмотрим только вертикальную синхронизацию.

Позиции  $p_1, p_2, p_3, p_7$  на рисунке 11 совпадают по смыслу с позициями  $g_1, g_2, g_3, g_{10}$  на рисунке 10.

Срабатывание переходов  $f_4, f_6, f_7$  и  $t_1$  должно быть одновременным. Это означает синхронизацию следующих действий:

приход обучаемого в систему порождает в сети ЕС подсеть С в виде фишки  $s$ , которая относится к цветовому множеству STUDENT;

завершение процесса изучения теоретического материала и прохождение теста - срабатывание переходов  $f_1$ ;

- завершение процесса тестирования и переход к оцениванию - срабатывание перехода  $f_4$ ;
- завершение выполнения лабораторных работ - срабатывание переходов  $f_2$ ;
- завершение процесса защиты лабораторных работ и переход к оцениванию -  $f_6$ ;
- выполнение курсовой работа и переход к оцениванию -  $f_7$ .

Сеть ЕС позволяет оценить количество набранных баллов в процессе изучения определенной дисциплины. Для этого введены дополнительные переменные, задаваемые цветовыми множествами:

Color BALL = integer;

Color Failure = Boolean;

и соответствующие переменные:

var  $\beta$ : BALL, var  $\gamma$ : Failure.

Переменная  $\beta$  означает количество баллов,

набранных студентом при изучении дисциплины. Первоначально в позиции  $g_{10}$  находится 100 баллов, а затем при каждой неудаче маркировка этой позиции уменьшается. При завершении обучения срабатывает переход  $f_8$ . Переходы  $f_8$  и  $t_4$  являются помеченными переходами.

Минимальное число баллов, при котором возможна положительная оценка, составляет  $b_0$  баллов. Если текущее значение величины  $\beta$  окажется меньше  $b_0$ , то процесс обучения признается неудачным, и переменная  $\gamma$  принимает значение true, которое передается в позицию  $g_{11}$  при срабатывании перехода  $t_8$ . Все остальные переходы при этом оказываются заблокированными.

Поскольку описанная модель будет основой интеллектуального модуля информационной системы поддержки учебного процесса, при написании программного кода каждый переход сети будет описан процедурой, входные дуги перехода будут соответствовать аргументам, выходные – возвращаемым значениям процедуры.

### Полученные результаты

Сделан обзор существующих информационных систем поддержки учебного процесса в вузах, которые имеют интеллектуальный модуль управления процессом.

Выполнен обзор математических моделей, которые чаще всего применяются для реализации интеллектуального модуля информационных систем.

Проанализированы информационные потоки и бизнес процессы, которые обеспечивают процесс обучения студентов вуза.

Обоснован выбор математической модели учебного процесса.

Построена вложенная раскрашенная сеть Петри, которая отражает логику и особенности протекания учебного процесса в вузе.

### Заключение

Предложенная математическая модель учебного процесса в виде вложенной раскрашенной сети Петри учитывает человеческий фактор, что помогает эффективно планировать и осуществлять процесс обучения студентов.

Предложен алгоритм построения математической модели.

## Литература

1. Пономарева Л.А., Голосов П.Е. Разработка математической модели учебного процесса в вузе для повышения качества образования // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 2. С. 77-81.
2. Пономарева Л.А. Информатизация процесса преподавания высшей математики для гуманитарных специальностей в Московском городском педагогическом университете // *Информатизация образования и науки*. 2014. № 4 (24). С. 32-42.
3. Пономарева Л.А., Коданев В.Л. Разработка модуля корпоративной информационной системы «Образовательная среда вуза» на базе облачных технологий // В сборнике: *Информатика: проблемы, методология, технологии* сборник материалов XVII международной научно-методической конференции: в 5 т. 2017. С. 393-398.
4. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Методика выбора информационной модели для оценки показателей качества обучения // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Информатизация образования. 2015. № 2. С. 14-20.

5. Ермакова Т. Н., Ромашкова О. Н. Повышение эффективности управления информационными потоками в образовательном комплексе // Вестник РГРТУ. 2016. № 57. С. 82-87.
6. Ромашкова О.Н., Ермакова Т.Н. Алгоритм работы с модулем «Учебная деятельность» управленческой информационной системы для образовательного комплекса // В сборнике: Исследование различных направлений современной науки VIII Международная научно-практическая конференция. 2016. С. 917-924.

### References

1. Ponomareva L. A., P. E. development of a mathematical model of the educational process at the University to improve the quality of education // Fundamental research. 2017. No. 2. S. 77-81.
2. Ponomareva L. A. Informatization of the teaching process of higher mathematics for the Humanities in Moscow city pedagogical University // Informatization of educational and science. 2014. No. 4 (24). P. 32-42.
3. Ponomareva L. A., V. L. Kodanov Development module of the corporate information system "Educational environment of the University" based on cloud technologies // In the book: computer science: problems, methodology, technology the collection of materials of XVII international scientific conference: in 5 t. 2017. P. 393-398.
4. Romashkova O. N., Ermakova, T. N. The method of selection of the information model for evaluation of the quality of education // Vestnik of the Russian University of friendship of peoples. Series: Informatization of education. 2015. No. 2. S. 14-20.
5. Ermakova, T. N., Romashkova O. N. Improving the efficiency of information management in the educational complex // Vestnik of RSREU. 2016. No. 57. P. 82-87.
6. Romashkova O. N., Ermakova, T. N. The algorithm works with the module "Educational activity" management information system for the educational complex // the collection: a Study of the various branches of modern science the VIII international scientific-practical conference. 2016. P. 917-924.

Поступила: 15.07.2017

#### Об авторах:

**Ромашкова Оксана Николаевна**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики, Московский городской педагогический университет, [ox-rom@yandex.ru](mailto:ox-rom@yandex.ru);

**Пономарева Людмила Алексеевна**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики, Московский городской педагогический университет, [ponomarevala@bk.ru](mailto:ponomarevala@bk.ru).

#### Note on the authors:

**Romashkova Oksana N.**, doctor of technical Sciences, Professor, head of Department of applied Informatics, Moscow City Pedagogical University, [ox-rom@yandex.ru](mailto:ox-rom@yandex.ru);

**Ponomareva Lyudmila A.**, candidate of physico-mathematical Sciences, associate Professor, Department of applied Informatics, Moscow City Pedagogical University, [ponomarevala@bk.ru](mailto:ponomarevala@bk.ru).