УДК 006.034 004.413 004.414
DOI: http://dx.doi.org/10.21686/1818-4243-2018-2-37-44

Г.А. Доррер[1,2], А.Г. Доррер[1], Г.М. Рудакова[1]

[1] Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

[2] Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Оптимальное управление процессом приобретения и оценивания компетенций студентов вуза

Цель исследования. *В федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования (ФГОС ВО РФ) основополагающая роль отводится необходимости приобретения студентами в процессе обучения указанной совокупности компетенций. В то же время вузы в соответствии с законом «Об образовании в Российской Федерации» должны учитывать также требования профессиональных стандартов, по освоению учащимися трудовых функций, требуемых при работе по выбранной профессии. Задача вуза при планировании учебного процесса состоит в формировании необходимого набора учебных дисциплин и практик, рациональном распределении между ними количества зачетных единиц (ЗЕ) и установлении порядка изучения этих дисциплин по времени (по семестрам). Эта задача традиционно решается вузами экспертным путем на основе нормативных документов и имеющегося опыта разработки учебных планов. При этом, как правило, количественно не оценивается ни эффективность составленных рабочих учебных планов в целом, ни влияние отдельных решений и помех на эту эффективность. Следующей задачей является оценка эффективности реализации рабочего учебного плана, т.е. управление ходом образовательного процесса с учетом непредвиденных и случайных факторов. Эта задача решается путем осуществления контроля текущей успеваемости студентов, однако степень достижения требуемого уровня компетенций и трудовых функций при этом обычно не оценивается. Поэтому задача оперативной оценки фактического уровня требуемых компетенций и проведения необходимых корректирующих воздействий также является актуальной.*

Материалы и методы. *В работе предпринята попытка формализовать указанные выше задачи и описать процесс приобретения компетенций в виде динамической системы, подверженной помехам. Управление процессом обучения формулируется как задача аналитического конструировании оптимального регулятора (АКОР) А.М. Летова [1], а оценка состояния в условиях помех осуществляется с помощью фильтра Р. Калмана [2].*

Результаты. *Предложена методика расчета оптимальных траекторий нарастания компетенций в процессе обучения и управляющих воздействий по реализации этих траекторий. Методика позволяет на основе когнитивной модели учебного процесса и при задании приоритетов рассчитать оптимальный план нарастания уровня компетенций и владения трудовыми функциями, а также распределения для этой цели зачетных единиц. При реализации учебного плана рассчитывается корректировка управляющих воздействий в зависимости от фактического состояния учебного процесса. Приводится пример синтеза оптимальной динамики нарастания по семестрам трех групп компетенций (общекультурных – ОК, общепрофессиональных-ОПК и профессиональных – ПК) и необходимых для этого ресурсов в виде количества зачетных единиц при планировании учебного плана подготовки бакалавров. Показано качественное совпадение результатов расчетов с традиционным планированием, а также устойчивость процесса управления компетенциями к возникающим помехам.*

Заключение. *Понятно, что окончательное принятие решений при проектировании учебного процесса осуществляется работниками вуза, экспертами в данной области знаний и педагогической деятельности. Однако предлагаемая теория позволяет быстро определить структуру решений, оценить приоритеты и влияние различных параметров процесса на качество принимаемых решений, что особенно важно при частом изменении учебных планов. Достоинством методики, на взгляд авторов, является также то, что можно легко варьировать степень подробности учета компетенций и трудовых функций – от суммарного учета всех компетенций, учета по их видам – ОК, ОПК и ПК, до произвольной их группировки, вплоть до выделения отдельных или даже всех компетенций. Методика основана на матричной математике, поэтому увеличение размерности задачи не вызывает изменения алгоритмов расчета.*

Ключевые слова: *образовательные стандарты, компетенции, математическое моделирование, оптимальное управление учебным процессом*

Georgiy A. Dorrer[1,2], Aleksandra G. Dorrer[1], Galina M. Rudakova[1]

[1] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia

[2] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Optimal management of the acquiring and evaluating the competencies process of university students

Purpose of study. *In the Russian Federal State Educational Standards of higher education, the fundamental role is assigned to the need for students to acquire a set of competences in the process of training. The list of competences is given in the standards. At the same time, universities in accordance with the law "On Education in the Russian Federation" must also take into account the requirements of professional standards for the development of the students' labor functions, required for work in the chosen profession. The task of the university in planning of the educational process is to form the necessary set of educational disciplines and practices, rational distribution among them the number of credit units (CU) and specifying the order to study these disciplines in time (by semester). This task is traditionally solved by universities expertly on basis of normative documents and the available experience of developing curricula in the university. At the same time, neither the effectiveness of the draft curriculum as a whole nor the impact of individual decisions and interference on this*

effectiveness are quantitatively evaluated. The next task is to evaluate the effectiveness of the implementation of the working curriculum, i.e. management of the educational process, taking into account unforeseen and accidental factors. This task is being solved by monitoring the current progress of students, but the degree of achievement of the required level of competences is not usually evaluated. Therefore, the task of assessment of the actual level of required competencies and the necessary corrective actions is also relevant.

Materials and methods. *In the paper, an attempt is made to formalize the above tasks and describe the process of acquiring competences in the form of a dynamic system, subject to interference. The management of this process is formulated as the problem of analytical design of the optimal controller A.Letov [1], and the state estimation is in the form of a R. Kalman's filter [2].*

Results. *A method is proposed for calculating the optimal trajectories of the growth of competencies in the learning process and the control actions for the implementation of these trajectories. The methodology makes it possible, based on the cognitive model of the educational process and in setting priorities, to calculate the optimal plan for increasing competencies and allocating credit units for this purpose. When implementing the curriculum, the correction of control actions is calculated, depending on the actual state of the educational process. An example is given of the synthesis of the optimal dynamics of growth over the terms of three groups of competences (general cultural, general professional and professional) and the resources necessary for this in the form of the number of credit units in the planning of the curriculum for training of bachelors. The qualitative coincidence of calculation results with traditional planning is shown, as well as the stability of the competence management process to the resulting interference.*

Conclusion. *It is clear that the university staff, experts in this field of knowledge and pedagogical activity, carry out the final decision-making in the design of the educational process. However, the proposed theory makes it possible to determine the structure of solutions, to assess priorities and the impact of various process parameters on the quality of the decisions. The advantage of the methodology, in the opinion of the authors, is that it is possible to easily vary the degree of detail of the accounting of competences – from the total accounting of all competencies, accounting by their types – GC, GP and P, to arbitrary grouping them, up to the allocation of individual or even all competencies. The methodology is based on matrix mathematics, so increasing the dimension of the problem does not cause a change of the calculation algorithms.*

Keywords: *educational standards, competences, mathematical modeling, optimal management of the learning process*

1. Введение

В федеральных образовательных стандартах, разработанных Министерством науки и образования РФ и получивших шифр ФГОС3+ ключевым требованием является необходимость приобретения обучающимися комплекса компетенций, перечень которых приводится в стандарте.

В то же время, в ряде федеральных законов (ФЗ № 273 «Об образовании в Российской Федерации», ФЗ № 122 «О внесении изменений в Трудовой кодекс РФ и статьи 11 и 73 Федерального закона “Об образовании в РФ “»), указана необходимость учета требований профессиональных стандартов при разработке образовательных систем.

В ФЗ № 122 это сформулировано следующим образом: «Формирование требований федеральных государственных образовательных стандартов профессионального образования к результатам освоения основных образовательных программ профессионального образования в части профессиональной компетенции осуществляется на основе соответствующих профессиональных стандартов (при наличии).» Профессиональные стандарты для соответствующих областей деятельности разрабатываются представителями промышленности и бизнеса. Они ориентированы на установление требований к специалистам, работающим на определенных должностях, и основной описываемой единицей является обобщенная трудовая функция (ОТФ), которая дробится на более мелкие трудовые функции (ТФ) [3, 4].

В силу сказанного, вуз при проектировании образовательной программы должен назначать учебные мероприятия (учебные дисциплины, практики, контрольные мероприятия, самостоятельная работа и др.) так, чтобы было обеспечено приобретение необходимых компетенций и в то же время реализовались знания и умения по выполнению трудовых функций, предусмотренных профессиональными стандартами.

Проблема заключается в разном идеологическом и методическом подходе к описанию требований к специалистам в указанных выше документах, которые никак между собой не согласованы, хоть имеют близкие цели – повышение компетентности специалистов. Для проектирования образовательных программ в создавшихся условиях противоречивых требований представляется целесообразным использования математических методов для формирования альтернатив решений.

Попытки создания математических моделей процесса обучения в вузе и основанных на них систем управления учебным процессом насчитывают уже несколько десятилетий, начиная, по-видимому, с монографии Л.А. Растригина [5]. В настоящее время в связи с принятием новых стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВО РФ), появились работы, посвященные описанию процессов приобретения и оценки компетенций обучаемых [6–15]. Сложность задачи состоит в характере учебного процесса как объекта управления, представляющего собой социальную систему, описание которой требует использования методов «мягкого» моделирования [16,17], в частности, когнитивных моделей. От адекватности математической модели учебного процесса за-

висит в конечном итоге успех всей работы.

В то же время наличие математических моделей учебного процесса открывает перед разработчиком и исследователем новые возможности для совершенствования процесса обучения. Одно из направлений работы связано с математической постановкой и решением задач оптимизации учебного процесса. Как уже отмечалось, в федеральных государственных образовательных стандартах высшего образования последних поколений основополагающая роль отводится необходимости приобретения студентами в процессе обучения совокупности компетенций, список которых приводится в стандарте, а также владения трудовыми функциями. Задача вуза при планировании учебного процесса состоит в формировании необходимого набора учебных дисциплин и практик, рациональном распределении между ними количества зачетных единиц (ЗЕ) и установлении порядка изучения этих дисциплин по времени (по семестрам). Эта задача традиционно решается вузами экспертным путем на основе нормативных документов и имеющегося опыта разработки учебных планов. При этом, как правило, количественно не оценивается ни эффективность составленных рабочих учебных планов в целом, ни влияние отдельных решений и помех на эту эффективность. Следующей задачей является оценка эффективности реализации рабочего учебного плана, т.е. управление ходом образовательного процесса с учетом непредвиденных и случайных факторов. Эта задача решается путем осуществления контроля текущей успеваемости студентов, однако степень достижения требуемого уровня компетенций при этом обычно не оценивается. Поэтому задача оперативной оценки фактического уровня требуемых компетенций и проведения необходимых корректирующих воздействий также является актуальной.

В настоящей работе предпринята попытка формализовать указанные выше задачи и описать процесс приобретения компетенций в виде динамической системы, подверженной помехам. Управление процессом обучения формулируется как задача аналитического конструировании оптимального регулятора (АКОР) А.М. Летова [1, 18–20], а оценка состояния в условиях помех осуществляется с помощью фильтра Р. Калмана [2, 21–25].

2. Принятые гипотезы

- Качество подготовки обучаемых оценивается уровнем приобретенных ими компетенций и владения трудовыми функциями, которые выражаются безразмерными величинами, принимающимиё, например, значения от 0 до 100.
- Связь между показателями оценивается на основе имеющейся статистики и экспертным путем на основе методов когнитивного моделирования. Вопросы когнитивного моделирования учебного процесса в данной работе не рассматриваются.
- Процесс приобретения компетенций и трудовых функций может быть описан как линейная динамическая система в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка.
- В процессе обучения уровень конкретной компетенции повышается пропорционально количеству зачетных единиц дисциплин и практик, запланированных для приобретения студентами данной компетенции. Эти показатели могут рассматриваться как управляющие воздействия.
- Фактический уровень приобретенных обучаемым компетенций и трудовых функций определяется оценочными средствами при прохождении дисциплин и практик, нацеленных на данную компетенцию, например, средними баллами, полученными студентами при изучении соответствующих дисциплин.
- Образовательный процесс подвержен неконтролируемым случайным воздействиям как при приобретении компетенций, так и при их оценке.
- При планировании и реализации процесса обучения учитываются следующие показатели: относительная важность отдельных компетенций и трудовых функций или их групп, график возрастания уровня этих показателей во времени; затраты обучаемого в процессе освоения компетенций; затраты учебного заведения на реализацию учебного процесса.

3. Модель управления процессом приобретения компетенций и трудовых функций

Ниже кратко приведена суть предлагаемой методики. Более подробное изложение используемого математического аппарата содержится в работах [18–20].

Процесс приобретения компетенций и трудовых функций может быть представлен в виде линейной динамической системы

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + v(t), \quad (1)$$

$$y(t) = Hx(t) + w(t). \quad (2)$$

Здесь:

$x(t) = [x_1(t), \ldots, x_N(t)]^T$ – N-вектор уровней компетенций, $x_i(t)$ – уровень i-й компетенции в момент t;

t – время обучения $t \in [0, T]$, T – продолжительность обучения; $x(0) = x_0$ – начальный уровень компетенций;

$u(t) = [u_1(t), \ldots, u_M(t)]^T$ – M-вектор управления, где $u_j(t)$ – управляющее воздействие со стороны вуза в виде количества зачетных единиц, направленное на формирование компетенций в момент t;

$y(t) = [y_1(t), ..., y_K(t)]^T$ – K-вектор наблюдений, где $y_1(t)$ – наблюдаемые показатели уровня компетенций в момент t;

$A = [a_{ij}]$ – $N \times N$ – матрица, определяющая скорость изменения уровня компетенций; a_{ij} – степень влияния i-й компетенции на j-ю;

$B = [b_{ij}]$ – $N \times M$ – матрица, определяющая изменение уровня компетенции при управлении учебным процессом; b_{ij} – степень влияния управляющего воздействия $u_i(t)$ на уровень j-й компетенции $x_j(t)$;

$H = [h_{ij}]$ – $K \times N$ – матрица наблюдений, позволяющая получить оценку уровня компетенций $x(t)$ по наблюдаемому показателю $y(t)$;

$v(t) = [v_1(t), ..., v_N(t)]^T$ $w(t) = [w_1(t), ..., w_K(t)]^T$– векторы помех, действующих соответственно на $x(t)$ и $y(t)$. Это статистически не связанные случайные процессы типа белого шума с нулевыми средними значением и матрицами дисперсий соответственно V и W.

Рассмотрим задачу оптимального управления системой (1), (2) как задачу минимизации критерия качества

$$J = x(T)^T \cdot \psi \cdot x(T) + \int_0^T \left[x(t)^T \cdot Q \cdot x(t) + u(t)^T \cdot R \cdot u(t) \right] dt \to \min. \quad (3)$$

Поясним смысл матриц в формуле (3).

Матрица ψ определяет значимость конечного результата обучения – вектора компетенций $x(T)$.

Матрица Q определяет «цену» затрат обучаемого на приобретение компетенций. Матрица R определяет «цену» затрат вуза на управление процессом обучения.

Возможны два варианта постановки и решения данной задач.

В первом случае не учитываются помехи (полагают $V = W = 0$) и система предполагается полностью наблюдаемой $y(t) = x(t)$. Тогда оптимальное управление $\overline{u}(t)$ системой (1) определяется выражением

$$\overline{u}(t) = K(t)x(t), \quad (4)$$

где $K(t)$ – матрица размерностью $N \times M$, вычисляемая по формуле

$$K(t) = -R^{-1}B^T P(t), \quad (5)$$

$P(t)$ – решение уравнения Риккати:

$$\dot{P}(t) = -A^T P(t) - P(t)A + P(t)BR^{-1}B^T P(t) - Q \quad (6)$$

при условии $P(T) = \psi$.

Задача (1) – (6) называется задачей аналитического конструирования регулятора (АКОР) А.М. Летова [1]. Решение данной задачи позволяет получить оптимальный закон управления приобретением компетенций и оптимальную траекторию их возрастания по времени. Эта информация может быть использована при планировании учебного процесса для выбора нужных учебных дисциплин, обеспечивающих приобретение требуемых компетенций, и назначения их трудоемкости в часах или зачетных единицах.

Во втором случае при более общей постановке задачи управления и оценивания компетенций учитываются помехи и возможное несовпадение фактического значения параметров с расчетными. Полагается, что начальное состояние системы – случайный вектор $x(t_0)$ с матожиданием $M[x(t_0)] = x_0$ и дисперсией S_0 некоррелированный с $w(t)$. Для оценки состояния системы используется «наблюдатель»

$$\dot{\overline{x}}(t) = A\overline{x}(t) + Bu(t) - L(t)(y(t) - H\overline{x}(t)), \quad (7)$$

где $\overline{x}(t)$ – вектор оценки состояния, $\overline{x}(0) = x_0$, $y(t)$ – вектор наблюдений, $L(t)$ – матрица, определяющая параметры наблюдателя. Оптимальное значение этой матрицы, обеспечивающее минимум математического ожидания ошибки $\varepsilon(t) = x(t) - \overline{x}(t)$ определяется выражением

$$L(t) = -S(t)H^T W^{-1}(t), \quad (8)$$

где $S(t)$ – решение уравнения Риккати:

$$\dot{S}(t) = A\ S(t) + S(t)A^T - S(t)H^T W^{-1} H\ S(t) + V(t), \quad S(0) = S_0. \quad (9)$$

«Наблюдатель» (7) – (9) называется фильтром Калмана [2, 21–25]. Задача управления в рассматриваемой постановке заключается в минимизации математического ожидания критерия (3). При этом оптимальное управление равно

$$\overline{u}(t) = -R^{-1}B^T P(t)\overline{x}(t), \quad (10)$$

где $\overline{x}(t)$ – оптимальная оценка (7), полученная с помощью фильтра Калмана, а $P(t)$ – решение уравнения Риккати (6). С учетом (7) – (10) оценка состояния определится формулой

$$\dot{\overline{x}}(t) = [A - BR^{-1}B^T P(t)]\overline{x}(t) - L(t)(y(t) - H\overline{x}(t)), \quad \overline{x}(0) = x_0. \quad (11)$$

Одновременно с решением задачи (6), (7) рассчитывается значение критерия оптимальности (3). На практике эта задача решается численно в дискретном времени, в частности, может быть использован пакет MATLAB [22]. Порядок вычислений при решении задачи (4) – (7) следующий.

Решается уравнение Риккати (6) в обратном времени $t \in [T, 0]$; решается уравнения Риккати (9) в прямом времени, $t \in [T, 0]$. Результаты запоминаются.

По мере получения значений наблюдения $y(t)$ решается уравнение (7), рассчитываются управляющее воздействие (10), и оптимальная траектория процесса (11) на интервале $t \in [T, 0]$.

Одновременно вычисляется значение критерия качества (3).

Пример. На основе ГОС ВПО 3-го поколения и рабоче-

го учебного плана по направлению подготовки бакалавров 09.03.02 «Информационные системы и технологии» по описанной выше методике был рассчитан оптимальный процесс планирования и управления приобретением трех групп компетенций: общекультурных (ОК), общепрофессиональных (ОПК) и профессиональных (ПК). Задача решалась в дискретном времени, за единицу времени был выбран весь период обучения. Семестры обозначаются номерами $k = 1, ..., 8$, их длительность равна $1/8 = 0{,}125$. Уровень компетенций для данных групп обозначался, соответственно, $x_1(k)$, $x_2(k)$, $x_3(k)$, а управляющие воздействия $u_1(k)$, $u_2(k)$, $u_3(k)$. Экспертным способом и на основе когнитивной модели процесса обучения были выбраны следующие параметры системы.

$$x(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \end{bmatrix}, \; x(1) = \begin{bmatrix} 0.05 \\ 0.05 \\ 0.05 \end{bmatrix},$$

$$u(k) = \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \\ u_3(k) \end{bmatrix}, \; y(k) = \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \\ y_3(k) \end{bmatrix},$$

$$k = 1, ..., 8,$$

$$A = \begin{bmatrix} 1.1 & 0.1 & 0.05 \\ 0.05 & 1.2 & 0.05 \\ 0.01 & 0.05 & 2 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.12 & 0.05 & 0 \\ 0.05 & 0.1 & 0.05 \\ 0 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix},$$

$$H = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.05 & 0.01 \\ 0.02 & 0.8 & 0.01 \\ 0.01 & 0.01 & 0.7 \end{bmatrix},$$

$$\psi = \begin{bmatrix} -0.5 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & -1 & 0.1 \\ 0 & 0.1 & -3 \end{bmatrix},$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix},$$

Таблица

Оптимальный процесс возрастания уровня компетенций по семестрам

Семестр k	Общекультурные			Общепрофессиональные			Профессиональные		
	$x_1(k)$	$u_1(k)$	$z_1(k)$ ЗЕ$_1$	$x_2(k)$	$u_2(k)$	$z_2(k)$ ЗЕ$_2$	$x_3(k)$	$u_3(k)$	$z_3(k)$ ЗЕ$_3$
1	0,05	4,72	35,53	0,05	1,63	12,27	0,05	1,62	12,19
2	0,06	5,6	34,28	0,06	2,03	12,44	0,063	2,17	13,28
3	0,067	6,76	32,8	0,068	2,633	12,78	0,079	2,973	14,42
4	0,078	8,24	30,14	0,079	3,65	13,35	0,099	4,51	16,51
5	0,09	10	25,71	0,092	5,6	14,39	0,125	7,74	19,9
6	0,105	15	21,42	0,107	11	15,71	0,157	16	22,87
7	0,122	21	16,8	0,125	21	16,8	0,198	33	26,4
8	0,142	32	12,0	0,147	46	17,25	0,249	82	30,75

$$R = \begin{bmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$V = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \; W = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 4 \end{bmatrix},$$

$$S_0 = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

Результаты расчета оптимального процесса роста уровня компетенций без учета случайных помех и данных о фактическом состоянии процесса $y(t)$ приведены в таблице.

Для каждого вида компетенций указано: нарастание уровня компетенций по семестрам $x_i(k)$; управляющие воздействия в условных единицах $u_i(k)$ количество зачетных единиц, выделяемых для каждой группы компетенций $z_i(k)$ (ЗЕ$_i$) – исходя из норматива, что сумма зачетных единиц в каждом семестре должна быть равна 60 ($i = 1,2.3$). Мы видим, что согласно расчету, в первых семестрах большая роль отводится общекультурным компетенциям, а к концу обучения преимущество отдается приобретению общепрофессиональных и профессиональных компетенций. Этот результат вполне согласуется с практикой планирования реального учебного процесса.

На рис. 1 приведен график количества упоминаний всех компетенций в изучаемых дисциплин в каждом семестре в

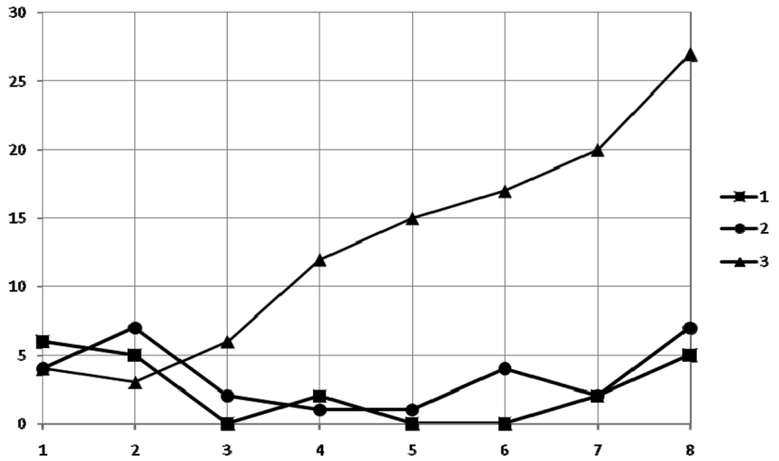
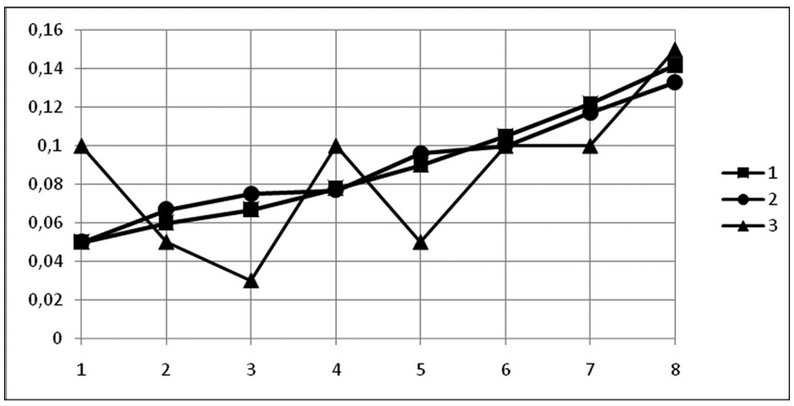
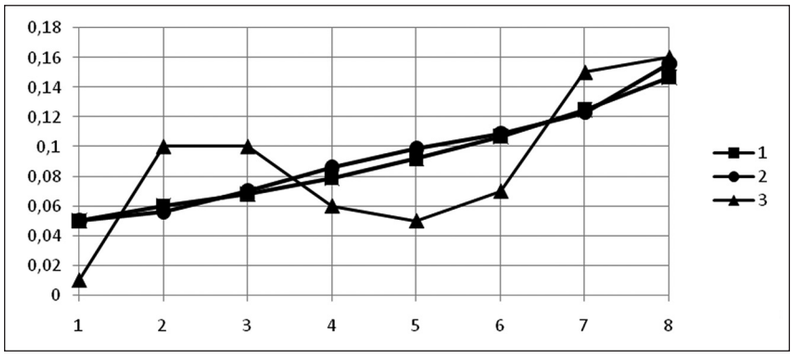


Рис. 1. Количество упоминаний различных компетенций в рабочем учебном плане направления 09.03.02 «Информационные системы и технологии» по семестрам: 1 – общекультурные компетенции, 2 – общепрофессиональные компетенции, 3 – профессиональные компетенции

А



Б



В

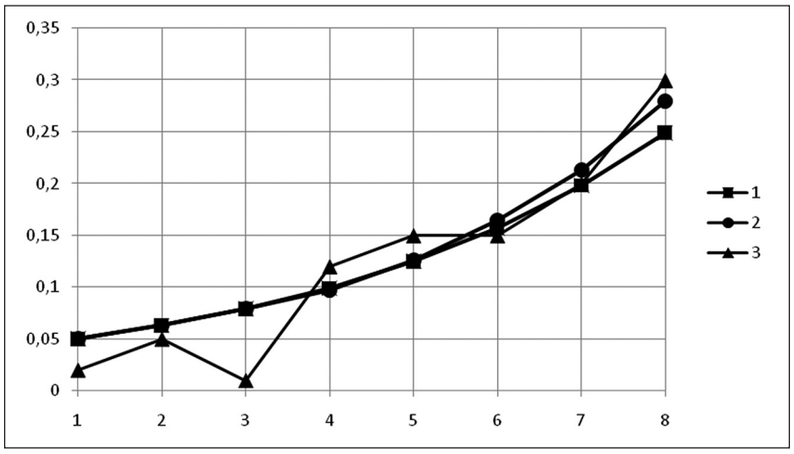


Рис. 2. Динамика нарастания различных групп компетенций по семестрам в условиях неполной информации и помех, действующих на систему: А – общекультурные компетенции, Б – общепрофессиональные компетенции, В – профессиональные компетенции.

Обозначения на рисунках: 1 – оптимальные плановые значения компетенций $x_i(k)$, 2 – скорректированные значения $\overline{x}_i(k)$, 3 – наблюдаемые значения $y_i(k)$.

действующем рабочем учебном плане подготовки бакалавров по направлению 09.03.02 «Информационные системы и технологии», составленном в СибГУ (г. Красноярск), который демонстрирует качественное совпадение с результатами расчетов.

Вторая группа расчетов касается поведения системы при учете вектора наблюдений $y(t)$. В силу того, что фактическое состояние процесса отличается от планируемого, корректируется вектор управляющих воздействий с тем, чтобы достичь поставленной цели управления. На рис. 2 (А, Б, В) показана динамика нарастания компетенций ОК, ОПК и ПК в условиях больших колебаний величины $y(t)$. Из графиков видно, что система оценки состояния и управления достаточно успешно справляется с возникающими отклонениями.

4. Заключение

1. Предложенная в работе методика оптимального планирования и оценки образовательного процесса на основе компетентностного подхода позволяет при наличии модели процесса обучения получить результаты, качественно совпадающие с результатами традиционного экспертного подхода, но в то же время упрощает процесс разработки учебных планов, поскольку, варьируя параметры задачи, можно легко получать их различные варианты в зависимости от целевой установки при подготовке специалистов.

2. Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что предложенная теория может использоваться как для планирования учебного процесса, так и для оперативной оценки и управления процессом приобретения компетенций и трудовых функций с учетом данных промежуточного контроля.

3. Достоинством методики, на наш взгляд, является также то, что можно легко варьировать степень подробности учета компетенций – от суммарного учета всех компетенций, учета по их видам – ОК, ОПК и ПК (как сделано в приведенном примере), до произвольной их группировки, вплоть до выделения отдельных или даже всех компетенций и трудовых функций. Поскольку методика основана на матричной математике, то увеличение размерности задачи не вызывает изменения расчетных алгоритмов.

Литература

1. Летов А. М. Аналитическое конструирование регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1960. Т. 21. № 4. С. 436–441.
2. Kalman R. New Approach to Linear Filtering and Prediction // Transaction ASME Journal of Basic Engineering. 1960. № 86. P. 35–45.
3. Петухова Т.П. Современная парадигма проектирования образовательных программ высшего образования // IT&SE-15. Гурзуф, 2015
4. Профессиональные стандарты. URL: http://www.apkit.ru/default.asp?artID=5573
5. Растригин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. Рига: Зинатне, 1988. 160 с.
6. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Кочерга Н.С. Математические модели подготовки и проверки качества освоения компетенций в образовательном процессе // Открытое образование. 2014. № 2 (103). С. 9–16.
7. Солодов А.А., Солодова Е.А. Анализ динамических характеристик случайных воздействий в когнитивных системах // Открытое образование. 2017. № 1. С. 4–13.
8. Доррер Г.А., Рудакова Г.М. Технология моделирования и разработки учебных электронных изданий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 272 с.
9. Фрейман В.И., Кон Е.Л., Южаков А.А. Разработка подходов к управлению качеством реализации компетентностно-ориентированных образовательных программ // Информационные технологии в науке, образовании и управлении: труды конференции IT + S&E`15. Гурзуф, 2015. С. 324–329.
10. Тельнов Ю.Ф. Казаков В.А., Козлова О.А. Динамическая интеллектуальная система управления процессами в информационно-образовательном пространстве высших учебных заведений // Открытое образование. 2013. № 1 (96). С. 40–49.
11. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Кочерга Н.С. Математические модели подготовки и проверки качества освоения компетенций в образовательном процессе // Открытое образование. 2014. № 2(103). С. 9–16.
12. Шамсутдинова Т.М., Прокофьева С.В. Оценка профессиональных компетенций студентов: междисциплинарный аспект (на примере направления подготовки бакалавров «бизнес-информатика») // Открытое образование. 2014. № 2(103). С. 39–45.
13. Dorrer G.A., Moscalyova S.S., Rudakova G.M., Cognitive model of the educational processes // Innovative Technologies and Didactics in Teaching: Materials of conference ITDT 7–13 May 2013. Calp, Spain. P. 30–36.
14. Moshkin V., Zarubin A., Koval A., Filippov A. Fuzzy Ontology-Based Approach to Analyzing the Free-form Answers // 2nd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications RPC 2017, Vladivostok.
15. Доррер Г.А., Москалева, С.С. Модель управления образовательным процессом на основе

References

1. Letov A. M. Analiticheskoe konstruirovanie regulyatorov. Avtomatika i telemekhanika. 1960. Vol. 21. No. 4. P. 436–441. (In Russ.)
2. Kalman R. New Approach to Linear Filtering and Prediction. Transaction ASME Journal of Basic Engineering. 1960. No. 86. P. 35–45.
3. Petukhova T.P. Sovremennaya paradigma proektirovaniya obrazovatel'nykh programm vysshego obrazovaniya. IT&SE-15. Gurzuf, 2015 (In Russ.)
4. Professional'nye standarty. URL: http://www.apkit.ru/default.asp?artID=5573 (In Russ.)
5. Rastrigin L.A., Erenshteyn M.Kh. Adaptivnoe obuchenie s model'yu obuchaemogo. Riga: Zinatne, 1988. 160 P. (In Russ.)
6. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Kocherga N.S. Matematicheskie modeli podgotovki i proverki kachestva osvoeniya kompetentsiy v obrazovatel'nom protsesse. Otkrytoe obrazovanie. 2014. No. 2 (103). P. 9–16. (In Russ.)
7. Solodov A.A., Solodova E.A. Analiz dinamicheskikh kharakteristik sluchaynykh vozdeystviy v kognitivnykh sistemakh. Otkrytoe obrazovanie. 2017. No. 1. P. 4–13. (In Russ.)
8. Dorrer G.A., Rudakova G.M. Tekhnologiya modelirovaniya i razrabotki uchebnykh elektronnykh izdaniy. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2006. 272 p. (In Russ.)
9. Freyman V.I., Kon E.L., Yuzhakov A.A. Razrabotka podkhodov k upravleniyu kachestvom realizatsii kompetentnostno-orientirovannykh obrazovatel'nykh programm. Informatsionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii: trudy konferentsii IT + S&E`15. Gurzuf, 2015. P. 324–329. (In Russ.)
10. Tel'nov Yu.F. Kazakov V.A., Kozlova O.A. Dinamicheskaya intellektual'naya sistema upravleniya protsessami v informatsionno-obrazovatel'nom prostranstve vysshikh uchebnykh zavedeniy. Otkrytoe obrazovanie. 2013. No. 1 (96). P. 40–49. (In Russ.)
11. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Kocherga N.S. Matematicheskie modeli podgotovki i proverki kachestva osvoeniya kompetentsiy v obrazovatel'nom protsesse. Otkrytoe obrazovanie. 2014. No. 2(103). P. 9–16. (In Russ.)
12. Shamsutdinova T.M., Prokof'eva S.V. Otsenka professional'nykh kompetentsiy studentov: mezhdistsiplinarnyy aspekt (na primere napravleniya podgotovki bakalavrov «biznes-informatika»). Otkrytoe obrazovanie. 2014. No. 2(103). P. 39–45. (In Russ.)
13. Dorrer G.A., Moscalyova S.S., Rudakova G.M., Cognitive model of the educational processes. Innovative Technologies and Didactics in Teaching: Materials of conference ITDT 7–13 May 2013. Calp, Spain. P. 30–36.
14. Moshkin V., Zarubin A., Koval A., Filippov A. Fuzzy Ontology-Based Approach to Analyzing the Free-form Answers. 2nd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications RPC 2017, Vladivostok.
15. Dorrer G.A., Moskaleva, S.S. Model' upravleniya obrazovatel'nym protsessom na osnove

компетентностного подхода // Инновационная деятельность в системе образования. Монография. Часть VII. М.: Издательство «Перрон», 2013. 203 с.

16. Плотинский Ю.М. Теоретические и эмпирические модели социальных процессов. М.: Логос, 1998. 280 с.

17. Checland P. Models Validation in Soft Systems Practice // System Research. 1995. V. 12. № 1. P. 47–51.

18. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. Шк., 1998. 574 с.

19. Перепелкин Е.А. Основы теории управления: Учебное пособие. / Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. – 115 с.

20. Доррер Г.А. Модель управления процессом приобретения и оценивания компетенций студентов вуза // Проблемы информатизации региона. ПИР-2015. Красноярск. ИВМ СО РАН. 2015. С. 57–64.

21. Stratonovich R.L. Conditional Markov Processes // Theory of Probability and its Applications. 1960. № 5. P. 156–178.

22. Grewal M., Andrews A. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. M. Grewal York. 2001.

23. Sorenson H. W. Least–squares Estimation: From Gauss to Kalman // IEEE Spectrum. 1970. № 7. P. 63–68.

24. Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. Department of Computer Science. UNC-Chapel Hill. TR 95-041. 2006. 16 p.

25. Namvaran M., Negarestani A. Noise Reduction in Radon Monitoring Data Using Kalman Filter and Application of Results in Earthquake Precursory Process Research // Act. Geophys. Vol. 63. Iss. 2, 2015. P. 329–351.

kompetentnostnogo podkhoda. Innovatsionnaya deyatel'nost' v sisteme obrazovaniya. Monografiya. Part VII. Moscow: Izdatel'stvo «Perron», 2013. 203 P. (In Russ.)

16. Plotinskiy Yu.M. Teoreticheskie i empiricheskie modeli sotsial'nykh protsessov. Moscow: Logos, 1998. 280 P. (In Russ.)

17. Checland P. Models Validation in Soft Systems Practice. System Research. 1995. V.12. No. 1. P. 47–51.

18. Afanas'ev V.N., Kolmanovskiy V.B., Nosov V.R. Matematicheskaya teoriya konstruirovaniya sistem upravleniya: Ucheb. posobie dlya vuzov. Moscow: Vyssh. Shk., 1998. 574 p. (In Russ.)

19. Perepelkin, E.A. Osnovy teorii upravleniya: Uchebnoe posobie. / Barnaul: Izd-vo AltGTU, 2001. 115 p. (In Russ.)

20. Dorrer G.A. Model' upravleniya protsessom priobreteniya i otsenivaniya kompetentsiy studentov vuza. Problemy informatizatsii regiona. PIR-2015. Krasnoyarsk. IVM SO RAN. 2015. P. 57–64. (In Russ.)

21. Stratonovich R.L. Conditional Markov Processes. Theory of Probability and its Applications. 1960. No. 5. P. 156–178.

22. Grewal M., Andrews A. Kalman Filtering: Theory and Practice Using MATLAB. M. Grewal York. 2001.

23. Sorenson H. W. Least–squares Estimation: From Gauss to Kalman. IEEE Spectrum. 1970. No. 7. P. 63–68.

24. Welch G., Bishop G. An Introduction to the Kalman Filter. Department of Computer Science. UNC-Chapel Hill. TR 95-041. 2006. 16 p.

25. Namvaran M., Negarestani A. Noise Reduction in Radon Monitoring Data Using Kalman Filter and Application of Results in Earthquake Precursory Process Research. Act. Geophys. Vol. 63. Iss. 2, 2015. P. 329–351.

Сведения об авторах

Георгий Алексеевич Доррер
Д.т.н., профессор
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
Эл. почта: g_a_dorrer@mail.ru

Александра Георгиевна Доррер
К.т.н.
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
Эл. почта: a_dorrer@mail.ru

Галина Михайловна Рудакова
К.ф.-м.н., профессор, кафедра информационный технологий, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
Эл. почта: gmrfait@gmail.com

Information about the authors

Georgiy A. Dorrer
Dr. Sci. (Engineering)
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia
E-mail: g_a_dorrer@mail.ru

Aleksandra G. Dorrer
Cand. Sci. (Engineering)
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia
E-mail: a_dorrer@mail.ru

Galina M. Rudakova
Cand. Sci. (Phys.-Math.)
Reshetnev Siberian State University of Science and Technology,
Krasnoyarsk, Russia
E-mail: gmrfait@gmail.com