

## ОПТИМИЗАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ МАКСИМИЗАЦИИ КОМПЕТЕНЦИЙ ВЫПУСКНИКА: СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Глухов В.В., Картавенко О.А.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Одной из целей деятельности университета является достижение максимальных значений компетенций выпускаемого специалиста, что обеспечивает его успех в трудовой деятельности, повышает конкурентоспособность университета, способствует притоку более подготовленных абитуриентов. В конечном счете, такой показатель характеризует максимум результативности вуза по воздействию на национальную экономику. Задача оптимального построения учебного процесса — это задача оптимального управления ресурсами вуза и учащегося (ресурсы вуза: трудовые, временные, финансовые, вычислительные, территориальные, информационными и др.; ресурсы учащегося: трудовые, финансовые, временные и др.) — поиск варианта, обеспечивающего максимум показателя, оценивающего результат. Авторы считают, что в качестве оценки результата обучения выпускника можно принять его компетенции. Тогда задача исследования формулируется как достижение максимума компетенций в условиях ограничения имеющихся ресурсов. Компетенции выпускника являются следствием уровня изучения учебных дисциплин, который, в свою очередь, зависит от вложенных ресурсов. В такой постановке задачи мы не затрагиваем вопрос индивидуальных способностей и ориентируемся на максимум результата для каждого обучаемого в рамках его способностей. Такой подход ориентирован не на конкретного обучаемого, а на создание предпочтительных условий учебного процесса, проходя через которые обучаемые будут достигать максимума овладения системой компетенций. Постановка задачи оптимального распределения ресурсов допускает несколько вариантов: статическая модель (один интервал времени); система иерархических моделей (рассмотрение компетенций по уровням детализации); учет продолжительности влияния ресурсов (разделение ресурсов на капитальные и единовременные); динамическая модель (охват всего периода обучения); оптимизация структуры учебного плана (оптимизация временного ресурса); взаимосвязь компетенций персонала и результативности предприятия. В статье представлена система математических моделей оптимизации распределения ресурсов вуза при организации образовательного процесса. Проанализирована взаимосвязь компетенций персонала и результативности предприятия. Рассмотрены вопросы взаимодействия университетов и реального сектора экономики через формирование компетенций выпускника вуза.

**Ключевые слова:** математические модели, ресурсы университета, компетенции, оптимизация распределения ресурсов, динамическая модель, статическая модель

**Ссылка при цитировании:** Глухов В.В., Картавенко О.А. Оптимизация использования ресурсов при максимизации компетенций выпускника: система математических моделей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 6. С. 41–54. DOI: 10.18721/JE.13604

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## OPTIMIZING RESOURCE USE WHILE MAXIMIZING GRADUATE COMPETENCIES: A SYSTEM OF MATHEMATICAL MODELS

V.V. Glukhov, O.A. Kartavenko

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
St. Petersburg, Russian Federation

One of the goals of the university is to achieve the maximum values of the competencies of the graduated specialists, which ensures their success in work, increases the competitiveness of the university, and contributes to the influx of more trained applicants. Ultimately, this indicator characterizes the maximum performance of the university in terms of impact on the national economy. The task of optimal construction of the educational process is the task of optimal management of the resources of the university and the student (university resources: labor, time, financial, computing, territorial, informational, etc.; student resources: labor, financial, time, etc.) – the search for an option that provides the maximum of the indicator that evaluates the result. As for the criteria of optimality, The authors believe that it is possible to accept the competencies of the graduates as a criterion to assess the outcome of their training. Then the research task is formulated as achieving the maximum of competencies in conditions of limited available resources. Graduate's competencies are a consequence of the level of study of academic disciplines, which, in turn, depends on the resources invested. In this formulation of the problem, we do not touch upon the issue of individual abilities and focus on the maximum result for each of the students within the framework of their abilities. This approach is focused not on a specific student, but on the creation of preferable conditions of the educational process, passing through which, the students achieve the maximum mastery of the system of competencies. The formulation of the problem of optimal resource allocation permits several options: a static model (one time interval); a system of hierarchical models (consideration of competencies by levels of detail); taking into account the duration of the impact of resources (dividing resources into capital and one-time); dynamic model (covering the entire training period); optimization of the structure of the curriculum (optimization of the time resource); the relationship between the competencies of the personnel and the performance of the enterprise. The article presents a system of mathematical models for optimizing the allocation of university resources when organizing the educational process. The relationship between the competencies of the personnel and the performance of the enterprise has been analyzed. The issues of interaction between universities and the real sector of the economy through the formation of the competencies of a university graduate are considered.

**Keywords:** mathematical models, university resources, competencies, resource allocation optimization, dynamic model, static model

**Citation:** V.V. Glukhov, O.A Kartavenko, Optimizing resource use while maximizing graduate competencies: a system of mathematical models, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 13 (6) (2020) 41–54. DOI: 10.18721/JE.13604

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## Введение

Взаимодействие университетов и реального сектора экономики реализуется через кадровое обеспечение. Работодатели вырабатывают стандарты профессиональной деятельности по должностям, формулируют необходимый состав компетенций для претендента на конкретную должность. Это оказывается заказом для университета на подготовку выпускника, построение учебного процесса по направлениям и специальностям. Система профессионального образования должна иметь четкие представления о том, для каких возможных видов профессиональной деятельности она осуществляет подготовку и какие предъявляются требования к знаниям и умениям выпускника, а не просто готовить унифицированных работников, обладающих компетенциями.

Одной из целей деятельности университета является достижение максимальных значений компетенций выпускаемого специалиста, что обеспечивает его успех в трудовой деятельности, повышает конкурентоспособность университета, способствует притоку более подготовленных абитуриентов. В конечном счете, такой показатель характеризует максимум результативности вуза по воздействию на национальную экономику.

Термин «компетенция» ввел в оборот американский ученый В. Макелвил в 1982 г. Французский социолог Г. Каннак доказал, что для успеха организации необходимо развивать компетенцию каждого работника. Раскрытию сущности понятия компетенции посвящены работы ряда авторов [1–5].

Компетенции – это знания, навыки и умения, необходимые для эффективного выполнения профессиональных функций. Совокупность необходимых компетенций определяется требованиями сферы трудовой деятельности: требованиями к работнику со стороны конкретного предприятия, конкретного рабочего места; требованиями общества; требованиями карьерного роста. В процессе научно-технического развития техники и технологий требования к компетенциям работающих меняются по составу и уровню владения.

Компетенции – способность эффективно выполнять определенные действия. В 1980-е гг. понятие компетенции стали увязывать с качеством успешных профессионалов. В глоссарии терминов Европейского фонда образования компетенция определяется как:

- способность делать что-либо хорошо или эффективно;
- соответствие требованиям, предъявляемым при устройстве на работу;
- способность выполнять особые трудовые функции.

А. Бэрон и М. Армстронг указывают: «организация все чаще обнаруживает, что успех зависит от наличия компетентных сотрудников. Оплата по уровню компетентности означает, что организация ориентируется на будущее, а не на прошлое» [11].

В методических рекомендациях «Проектирование основных образовательных программ, реализующих федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования» (2010) в структуру основных образовательных программ (ООП) введены экспериментальные программные документы:

- паспорта и программы формирования профессиональных компетенций;
- таблица содержательно-логических связей учебных курсов, предметов, дисциплин, модулей, практик;
- компетентностно-ориентированная часть учебного плана;
- сквозная программа комплексных испытаний на соответствие подготовки ожидаемым результатам образования;
- программы итоговых комплексных испытаний.

Компетенции обычно разделяют на три большие группы: общие, универсальные, профессиональные. Универсальные компетенции непосредственно связаны с умением применять знания в профессиональной деятельности. Профессиональные компетенции выражают готовность выпускника осуществлять предусмотренные виды профессиональной деятельности [6–10].

Задача системы образования – через знания, умения, навыки обеспечить определенные компетенции, которые требуются в профессиональной сфере, для которой готовится обучаемый.

В требованиях федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВПО) впервые были заданы требования не к обязательному минимуму содержания образования, а к результатам освоения основных образовательных программ, выраженных на языке компетенций.

Совокупность компетенций фактически является профессиональным потенциалом человека. Он формируется в процессе обучения, саморазвития, опыта работы. Для выпускника университета совокупность компетенций определяет его ценность для работодателя.

Чтобы сформировать совокупность необходимых компетенций, университет вовлекает обучаемого в систему мероприятий учебного процесса (лекции, практические занятия, лабораторные работы, самостоятельно выполняемые задания, учебные и профессиональные практики, промежуточные аттестации, выпускные работы и др.). Каждый из этих элементов ориентирован на

становление и развитие конкретных компетенций, необходимых будущей сфере трудовой деятельности.

Компетенции формируются в процессе обучения через формы занятий, активизацию познавательных действий, состав получаемого информационного материала, выполнение практических заданий по совокупности учебных дисциплин. Планирование учебного процесса – это создание условий для формирования необходимого набора и глубины владения конкретными компетенциями [6, 9, 10]. Конкретное учебное мероприятие, не воздействующее ни на одну из профессиональных компетенций, является не просто избыточным, оно наносит вред, так как отвлекает часть ресурсов и снижает ресурсную обеспеченность результативных мероприятий учебного процесса.

Задача оптимального построения учебного процесса – это задача оптимального управления ресурсами вуза и учащегося (ресурсы вуза: трудовые, временные, финансовые, вычислительные, территориальные, информационными и др.; ресурсы учащегося: трудовые, финансовые, временные и др.) – поиск варианта, обеспечивающего максимум показателя, оценивающего результат.

Если принять в качестве оценки результата обучения выпускника его компетенции, то задача формулируется как максимум компетенций в условиях ограничения имеющихся ресурсов [14, 16, 17]. Компетенции выпускника являются следствием уровня изучения учебных дисциплин, который, в свою очередь, зависит от вложенных ресурсов. В такой постановке задачи мы не затрагиваем вопрос индивидуальных способностей и ориентируемся на максимум результата для каждого обучаемого в рамках его способностей.

Компетенции формируются как следствие содержания, методов и условий образования. Понимание сущности и значимости компетенций позволяет рационально распределять ресурсы (временные, трудовые, материальные, финансовые) при проектировании и реализации образовательного процесса.

В качестве *объекта* исследования выступают компетенции выпускника университета, которые рассматриваются с точки зрения их максимизации при ограничении на ресурсы университета. *Цель* исследования заключается в разработке системы моделей для оптимизации использования ресурсов при максимизации компетенций выпускника.

В качестве *методов исследования* выступают методы исследования операций, методы математического программирования, в том числе линейного, нелинейного и динамического программирования [12, 13].

### Результаты и их обсуждение

Для количественного описания уровня владения компетенцией можно ввести экспертную шкалу [19, 20]. Например, в интервале 0 – 10. Значение 0 соответствует отсутствию компетенции, 10 – высший уровень (мастерство) владения компетенцией. Значения от 1 до 4 – компетенция проявляется частично. Значение 5 будет соответствовать владению компетенцией в стандартных ситуациях и т. д.

Компетентностная модель выпускника вуза – комплексный интегральный образ результата образования в вузе.

Обозначим уровень владения  $i$ -й компетенцией  $K_i$ , тогда оптимизационная оценка будет иметь вид

$$K = \sum_i a_i K_i,$$

где  $a_i$  – коэффициент значимости отдельных компетенций в интегральной оценке, ориентированной на конкретную профессиональную деятельность.

Трудность решения задачи проектирования образовательного процесса заключается в отсутствии прямой видимой связи от вкладываемых ресурсов к итоговой компетенции. Вуз, организуя деятельность, вкладывает ресурсы в учебный процесс: закупает вычислительную технику, лабораторное оборудование, выпускает учебные пособия и учебники, выделяет средства на оплату труда персонала. Управляя этими ресурсами, вуз усиливает обеспечение конкретной дисциплины, предполагая, что ее усиление проявится в соответствующих компетенциях учащегося. Таким образом, посредством вложения ресурсов в определенные учебные дисциплины или виды учебной работы можно управлять уровнем достигаемых компетенций у обучаемого.

Такой подход ориентирован не на конкретного обучаемого, а на создание предпочтительных условий учебного процесса, проходя через которые обучаемые будут достигать максимума овладения системой компетенций.

Постановка задачи оптимального распределения ресурсов допускает несколько вариантов [12, 16, 21, 22]:

- статическая модель (один интервал времени);
- система иерархических моделей (рассмотрение компетенций по уровням детализации);
- учет продолжительности влияния ресурсов (разделение ресурсов на капитальные и единовременные);
- динамическая модель (охват всего периода обучения);
- оптимизация структуры учебного плана (оптимизация временного ресурса);
- взаимосвязь компетенций персонала и результативности предприятия.

#### **Оптимальное распределение ресурсов: статическая модель**

Для постановки задачи необходимо построить функцию вычисления компетенций через выделенные ресурсы вуза на учебные дисциплины.

Введем перечень ресурсов –  $s$ , перечень учебных дисциплин –  $j$ , перечень компетенций –  $i$ .

Матрица связи компетенций и учебных дисциплин показывает степень влияния конкретной дисциплины на каждую из компетенций –  $r_{ij}$ . Повышение уровня освоения учебной дисциплины  $Y_j$  соответствующим образом проявляется в масштабе получения компетенций  $K_i$ :

$$K_i = \sum_j r_{ij} Y_j.$$

Коэффициенты степени влияния дисциплин на компетенции должны удовлетворять условию

$$\sum_j r_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots$$

Уровень освоения учебной дисциплины проявляется через вложение ресурсов в условия освоения дисциплины: материальную базу, выделенное на освоение время (личное время учащегося, время лекций, время практических занятий), методические обеспечивающие материалы. Чем выше качество условий и среды освоения учебной дисциплины, чем значительнее временные и трудовые затраты в освоение дисциплины, тем больше оснований считать, что уровень знаний обучающегося будет выше. Эта зависимость (нами предлагается в таком виде) является нелинейной и имеет характер

$$Y_j = \sum_s Y_{sj} = \sum_s A_{sj} \left( 1 - b_{sj} e^{-c_{sj} x(s, j)} \right),$$

где  $A_{sj}$  – уровень насыщения зависимости;  $x_{sj}$  – количество вложенных ресурсов  $s$ -го вида в  $j$ -ю учебную дисциплину,  $b_{sj}$  и  $c_{sj}$  – числовые параметры зависимости.

Имеющееся состояние характеризуется уровнем освоения дисциплин –  $A_{sj}^0$  при соответствующем  $x^0(s, j)$ .

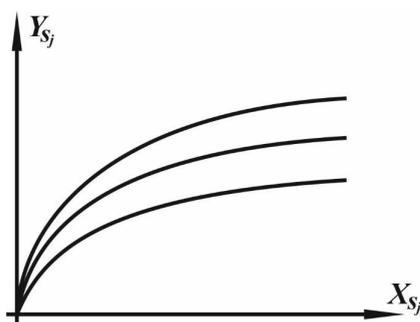


Рис. 1. Характер зависимости величин  $Y_{sj}$  от параметров  $X_{sj}$   
 Fig. 1. Dependence of  $Y_{sj}$  on the parameters  $X_{sj}$

Оптимизационная задача управления ресурсами заключается в определении  $\Delta x(s, j)$ , обеспечивающих:

$$\max K = \max \sum_i a_i \sum_j r_{ij} Y_j = \max \sum_i a_i \sum_j r_{ij} \sum_s A_{sj} (1 - b_{sj} e^{-c(s,j)\Delta x(s,j)}),$$

при условии  $\sum_j \Delta x(s, j) = x_s, s = 1, \dots, \Delta x(s, j) \geq 0, s = 1, \dots, j = 1, \dots$

Параметры модели, требующие статистического или экспертного определения, – это оценки относительной значимости  $r_{ij}$  и  $a_i$ , параметры модели  $A_{sj}, b_{sj}$  и  $c(s,j)$ .

Переходя к оптимизации через функцию Лагранжа, получим:

$$\begin{aligned} \max F &= \max \left( \sum_i a_i \sum_j r_{ij} Y_j + \sum_s \mu_s \left( X_s - \sum_j \Delta x(s, j) \right) \right) = \\ &= \max \left( \sum_i a_i \sum_j r_{ij} Y_j (\Delta x(s, j)) + \sum_s \mu_s \left( X_s - \sum_j \Delta x(s, j) \right) \right). \end{aligned}$$

Условие оптимизации – равенство нулю производной функции  $F$  –

$$dF/d(\Delta x_{sj}) = 0.$$

Из этого соотношения следует, что

$$d\left(\sum_i a_i \sum_j r_{ij} Y_j (\Delta x_{sj})\right) / d(\Delta x_{sj}) = \mu_s, j = 1, \dots$$

В оптимальном решении распределение ресурса по учебным дисциплинам характеризуется равной отдачей (равным значением производной).

Отсюда следует вывод: при вложении дополнительных ресурсов конкретным ресурсом нужно управлять так, чтобы отдача на единицу вложений сближалась.

При выделении ресурсов на развитие материального, методического и трудового обеспечения необходимо учитывать их соотношение. Эффективность не достигается при нерациональном «ресурсном профиле». Вложение средств в модернизацию технических средств, не поддержанное адекватным развитием программной среды, методического обеспечения и квалификации персонала, не приведет к желаемому росту компетенций обучающихся. Нарастивание компьютерной среды, не поддержанное развитием мощности энергетических ресурсов вуза, выделением средств

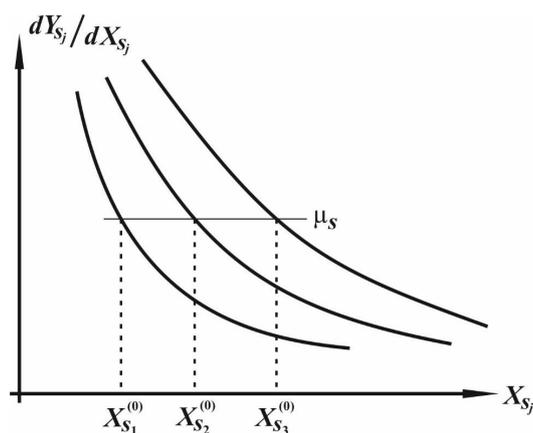


Рис. 2. Характер зависимости производных  $dY_s/dX_s_j$  от параметров  $X_s_j$   
 Fig. 2. Dependence of the derivatives  $dY_s/dX_s_j$  on the parameters  $X_s_j$

на текущую эксплуатацию, не позволит реально воздействовать на качество условий соответствующих учебных дисциплин. Если выделить  $j$ -ю учебную дисциплину, то структура ресурсов должна соответствовать матрице связей  $f_{sq}$ :

$$x_{qj} = f_{sq} x_{sj}, \quad q = 1, \dots, n.$$

Вложение  $x_{sj}$  ресурсов  $s$ -го вида в обеспечение  $j$ -й учебной дисциплины влечет соответствующий прирост ресурсов  $q$ -го вида.

Ограниченность ресурсов учитывается двумя видами условий:

$$\sum_j x_{sj} \leq X_s,$$

$$\sum_s \sum_j c_s x_{sj} \leq \Phi.$$

где  $X_s$  – лимит ресурсов  $s$ -го вида;  $c_s$  – цена ресурса  $s$ -го вида;  $\Phi$  – лимит финансов.

Развитие базовой оптимизационной модели допускает несколько вариантов.

### Оптимальное распределение ресурсов: Система иерархических моделей

Иерархическая детализация может выполняться по двум направлениям [6, 9]. Во-первых, детализируются компетенции от групп к подгруппам и к конкретным функциям. Во-вторых, детализируются учебные дисциплины от, собственного, дисциплины к формам учебных занятий и блоков занятий.

Компетенции специалиста можно классифицировать как иерархическую систему. В этом случае рассмотренная оптимизационная задача управления ресурсами вуза переходит в последовательность иерархических задач. Задача более высокого уровня определяет ресурсы для совокупности задач следующего уровня.

Компетенции разделяются на группы:

- общие;
- общеинженерные;
- управленческие;
- коммуникативные;
- профессиональные профильные (стандартные, уникальные);

- профессиональные смежные.

Каждая из групп детализируется по конкретным знаниям, умениям, функциям.

Учебная дисциплина разделяется на лекции, семинары, практические занятия, лабораторные работы и т.д. Далее можно выделить отдельные блоки, разделы, темы.

#### **Оптимальное распределение ресурсов: учет продолжительности влияния ресурсов**

Базовая модель ориентирована на обеспечение требуемой совокупности компетенций выпускника. Однако, характеризуя мероприятия учебного процесс через воздействие на компетенции, можно принять два фактора: степень воздействия на условия формирования компетенции и уровень владения компетенцией. В этом случае предоставление лекционного материала, учебников и учебных пособий формируют условия формирования компетенций, а практические занятия, работа на тренажерах, практики формируют уровень владения компетенциями.

В этом случае рассматриваемые ресурсы разделяются на капитальные и единовременные [21, 22]. Первые оказывают влияние на несколько выпусков, вторые – в пределах конкретного выпуска. Следовательно, интегральная оценка должна учитывать эффективность использования ресурсов с учетом долговременности результата от первой группы ресурсов.

#### **Оптимальное распределение ресурсов: динамическая модель**

Учебный план подготовки выпускника вуза реализуется в течение нескольких лет: четырех (бакалавр), пяти (специалист), двух (магистр). Ресурсные ограничения задаются по годам, поэтому их оптимальное использование требует решения задачи с учетом временного фактора.

Введение ресурсных ограничений позволяет перейти от статической задачи к динамической, когда использование ресурсов рассматривается по интервалам времени:

$$\begin{aligned} \sum_j x_{sj}(t) &\leq X_s(t), \quad t = 1, 2, 3, \dots, n, \\ x_{sj}(t) &\geq 0, \quad s = 1, \dots, \quad j = 1, \dots, \quad t = 1, 2, 3, \dots, n, \\ \sum_s \sum_j c_s x_{sj}(t) &\leq \Phi(t), \quad t = 1, 2, 3, \dots, n, \\ \max K &= \max \sum_t \sum_i a_i \sum_j r_{ij} Y_j(t) = \max \sum_t \sum_i a_i \sum_j r_{ij} \sum_s A_{sj} \left(1 - b_{sj} e^{-c(s,j)x(s,j,t)}\right), \end{aligned}$$

Рассматриваемый период  $n$  – это период обучения специалиста. Динамическая модель позволяет рассматривать управление ресурсами с учетом учебного плана специальности (направления) подготовки. Дополнительно можно ввести временной коэффициент значимости ресурсов текущего и будущих периодов  $\alpha(t)$ .

#### **Оптимальное распределение ресурсов: оптимизация структуры учебного плана**

Для иллюстрация разработанной модели воздействия ресурсов на максимизацию компетенций выпускника рассмотрим упрощенную задачу оптимизации учебного плана при распределении ресурсов учебного времени (не затрагивая содержательную часть дисциплин). Совокупность ресурсов сведем до одного – времени, а состав дисциплин учебного плана примем заданным и управлять будем только временем изучения отдельных дисциплин.

Обозначим неизвестную  $x_j$  – время изучения  $j$ -й дисциплина (часов в неделю), тогда математическая постановка задачи будет иметь вид:

$$\sum_j x_j = X,$$

$$x_j^1 \geq x_j \geq x_j^0,$$

$$\max K = \max \sum_j r_j Y_j = \max \sum_j r_j A_j \left(1 - b_j e^{-c(j)x(j)}\right),$$

Условие оптимизации:

$$d\left(r_j A_j \left(1 - b_j e^{-c(j)x(j)}\right)\right) / d(x_j) = \mu, j = 1, \dots$$

или

$$d\left(r_j A_j \left(1 - b_j e^{-c(j)x(j)}\right)\right) / d(x_j) = \text{const.}$$

Очевидные выводы:

- если характер зависимостей  $Y_j$  совпадает, то выделяемые ресурсы распределяются по поддерживающим учебным дисциплинам в равной величине;
- если совпадает характер зависимости  $Y_j$ , но отличается достигаемый уровень  $A_j$ , то распределение выделяемых ресурсов реализуется пропорционально максимально возможным значениям уровня компетенций;
- если отличаются характер зависимости и максимальные уровни  $Y_j$ , то распределение ресурсов необходимо реализовывать по итогам оптимизации.

Расширяя постановку задачи, введем три неизвестных  $x_j$ ,  $y_j$  и  $z_j$  – количество часов лекций, семинаров и самостоятельной работы:

$$\sum_j (x_j + y_j + z_j) = X;$$

$$x_j \geq 0, y_j \geq 0, z_j \geq 0;$$

$$\max K = \max \sum_j r_j Y_j = \max \sum_j r_j A_j \left(1 - b_j e^{-(c(j)x(j) + a(j)y(j) + f(j)z(j))}\right).$$

Система уравнений, определяющее оптимальное решение, имеет вид:

$$d\left(r_j A_j \left(1 - b_j e^{-(c(j)x(j) + a(j)y(j) + f(j)z(j))}\right)\right) / d(x_j) = \text{const} / c(j),$$

$$d\left(r_j A_j \left(1 - b_j e^{-(c(j)x(j) + a(j)y(j) + f(j)z(j))}\right)\right) / d(y_j) = \text{const} / a(j),$$

$$d\left(r_j A_j \left(1 - b_j e^{-(c(j)x(j) + a(j)y(j) + f(j)z(j))}\right)\right) / d(z_j) = \text{const} / f(j).$$

### Оптимизация учебного плана: индивидуальный выбор дисциплин

Расширение свободы выбора образовательного «маршрута» приводит к задаче: определить набор дисциплин с учетом имеющихся временных и трудовых ресурсов, максимизируя итоговую компетентностную оценку, при условии выполнения «кредитной оценки». Часто такой выбор делается чисто интуитивно, но особая значимость такой задачи для обучаемых, требует формализации ее постановки и формирования алгоритма ее решения.

Обозначим неизвестную  $x_j$  – признак выбора  $j$ -й дисциплины для изучения.  $x_j = 1$ , если дисциплина включается в программу обучения,  $x_j = 0$ , если  $j$ -я дисциплины не принимается для изучения.

Постановка задачи имеет следующий вид.  
Обеспечить максимум оценки

$$\max \sum_i a_i \sum_j r_{ji} x_j,$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} \sum_j x_j t_j &\leq T, \\ \sum_j x_j k_j &\geq K, \\ x_j &= 0, 1. \end{aligned}$$

где  $t_j$  – трудоемкость (индивидуальная собственная оценка) изучения  $j$ -й дисциплины;  $k_j$  – число кредитов, характеризующих  $j$ -й дисциплину;  $K$  – минимально необходимое число кредитов для полного обучения;  $r_{ji}$  – воздействие  $j$ -й дисциплины на  $i$ -ю компетенцию ( $0 \leq r_{ji} \leq 1$ );  $T$  – лимит трудоемкости;  $a_i$  – значимость  $i$ -й компетенции для интегральной оценки образования.

Эта постановка задачи дает представление о модели выбора при построении траектории обучения, но при реальном построении учебной программы следует учесть распределение дисциплин по семестрам обучения и ограничения в последовательности изучения некоторых дисциплин. Алгоритм действий может реализовываться через решение задачи по этапам, когда каждый семестр является независимой задачей, но каждая последующая задача (последующий семестр) ограничивается свободой выбора из-за отсутствия некоторых необходимых дисциплин в предшествующем периоде.

### **Взаимосвязь компетенций персонала и результативности предприятия**

Компетенции персонала являются определяющим ресурсом конкурентоспособности и эффективности деятельности предприятия:

$$R = f(K_i).$$

В качестве количественной оценки  $R$  можно принять прибыль предприятия. Для обоснованности управленческих решений по поддержке и развитию компетенций персонала необходимо иметь представление о характере зависимости  $f(K_i)$ . Она может формироваться на основе статистических или экспертных оценок.

Эта зависимость имеет вид

$$R = R_0 + \sum_i \sum_q b_{iq} K_{iq},$$

где  $R_0$  – базовый уровень результата;  $K_{iq}$  – оценка  $i$ -й компетенции  $q$ -й группы персонала;  $b_{iq}$  – статистический (экспертный) коэффициент влияния  $i$ -й компетенции  $q$ -й группы персонала на прирост результата.

Если предприятие вкладывает в повышение компетенций персонала затраты в размере  $З$  и получает прирост прибыли в размере  $\Delta R$ , то эффективность мероприятий будет составлять

$$\Theta = \Delta R / З.$$

Если учитывать фактор времени, то оценка будет иметь вид

$$\Theta = \sum_t \alpha(t) \Delta R(t) / 3.$$

где  $\Delta R(t)$  — прирост прибыли в год  $t$ ;  $\alpha(t)$  — значимость прибыли года  $t$  для интегральной оценки.

Компетентностный подход в управлении ресурсами предприятия определяет переход на соответствующую методику управления подбором и обучением персонала [18, 20, 21]. В этом случае ожидания предприятия от принимаемого специалиста и цели его обучения в вузе совпадают.

Вклад подразумевает все, что делает человек для организации, уровень его навыков, компетенции, которые он использует, результаты, которых он достигает — все это составляет вклад в процесс достижения организацией долгосрочных целей. Оплата в соответствии с вкладом работает при использовании смешанной модели управления результативностью: оценка данных «на входе» и «на выходе» и принятие решения по уровню выплат сотрудникам в соответствии с их ролью и их работой [7]; оценка ситуации в компании и на рынке в целом; рассмотрение как уже имеющихся данных результативности работника, так и потенциала будущих достижений [15].

### **Интегральная эффективность использования ресурсов при максимизации компетенций выпускника**

Оценка эффективности управления ресурсами при подготовке выпускника вуза должна сопоставить результат и произведенные затраты [13, 16, 17, 20].

Интегральная эффективность направлена на оценку качества подготовки выпускника вуза. Оплата подготовки может иметь три варианта: оплачивает сам обучаемый; оплачивает предприятие, заказавшее подготовку специалиста; оплачивает государство. Соответственно, и результат будет иметь разное представление. Для обучаемого это будет будущий доход в виде оплаты труда, для предприятия — доход или прибыль, для государства — налоговые отчисления в бюджет от результатов деятельности предприятия.

$$F_1 = \sum_t^N \alpha(t) z(t) / \sum_t^T \alpha(t) \Pi(t),$$

$$F_2 = \sum_t^N \alpha(t) \Delta r(t) / \sum_t^T \alpha(t) \Pi(t),$$

$$F_3 = \left( \sum_t^N \alpha(t) \Delta r(t) k_1(t) + \sum_t^N \alpha(t) z(t) k_2(t) \right) / \sum_t^T \sum_s \sum_j \alpha(t) \Pi_s x_{sj}(t),$$

где  $T$  — количество лет обучения в вузе;  $N$  — количество лет, принятых для учета результативности работы специалиста на предприятии;  $\Pi(t)$  — цена обучения в год  $t$ ;  $z(t)$  — заработная плата в год  $t$ ;  $\Delta r(t)$  — прибыль предприятия, отнесенная к результату работы специалиста;  $k_1(t)$  — налоговая ставка на прибыль предприятия;  $k_2(t)$  — налоговая ставка на заработную плату.

### **Заключение**

Представлена система математических моделей, поддерживающих оптимизацию распределения ресурсов вуза при организации образовательного процесса, ориентированного на максимизацию компетенции выпускников.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках выполнения исследований по проекту № 18-010-01119

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Харчина Н.Б.** Концепция создания на базе университета центра развития компетенций (на примере центра развития компетенций 1С) // Экономическая наука – хозяйственной практике. Материалы XVIII Международной научно-практической конференции. Кострома, 25–26 мая 2017. Кострома: Костромской государственный технологический университет, 2017. С. 219–223.
2. **Яковлев С.А., Прохорова Е.В.** Преемственность как условие формирования компетенций в образовательной системе «Школа-Колледж-Вуз» // Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, 14 дек. 2017. Ч. 2. Рязань: РГАТУ им. П.А. Костычева, 2017. С. 340–343.
3. **Стромов В.Ю., Сысоев П.В., Завьялов В.В.** «Школа компетенций» – технология формирования дополнительных компетенций у студентов классического вуза // Высшее образование в России. 2018. № 5. С. 20–29.
4. **Барабанова М.И.** Подходы к формированию компетенций цифровой экономики: базовая модель компетенций // Архитектура университетского образования: построение единого пространства знаний. Сборник трудов IV Национальной научно-методической конференции с международным участием. СПб., 30 янв. – 1 февр. 2020. Ч. 1. СПб.: СПбГЭУ, 2020. С. 18–24.
5. **Лопатин М.В., Потемкин В.К.** Профессиональные компетенции работников промышленных предприятий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2013. № 1 ч. 2. С. 65–71.
6. **Строганова А.Н.** Теоретические основы проектирования основной образовательной программы и учебного плана вуза в условиях реализации федеральных государственных образовательных стандартов // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 2. С. 128–133.
7. **Чупланова О.Л.** Применение компетентностного подхода при разработке системы оплаты труда. Науковедение. 2014. № 6.
8. **Соколова А.В.** Структура основных компетенций выпускника современного вуза. Анализ ГОС ВПО специальностей 230500 (СКСИТ) и 100200 «Туризм» // Молодой ученый, 2010. № 8. С. 180–184.
9. Непрерывное образование: новые реальности / Под ред. В.П. Галенко, Н.А. Лобанова. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2020.
10. **Вертакова Ю.В., Плотников В.А.** Традиционные технологии обучения и обеспечение качества экономического образования эпохи цифровой трансформации // Управленческое консультирование. 2020. № 3. С. 54–60. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-3-54-60
11. **Армстронг М., Бэрн А.** Управление результативностью. Система оценки результатов в действии. М.: Альпина Паблишер. 2014. 248 с.
12. **Васильев Ф.П.** Методы оптимизации. Кн. 2. М.: МЦНМО, 2011. 433 с.
13. **Пантелеев А.В.** Теория оптимизации для инженеров и экономистов. М.: Вузовская книга, 2016. 568 с.
14. **Середа С.Г., Фролов В.М.** Критерий оптимальности для набора целевых компетенций // Молодой ученый. 2016. № 9. С. 291–293.
15. **Бабкин А.В., Хватова Т.Ю.** Развитие научно-исследовательского сектора в национальной инновационной системе России // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. 2009. № 4. С. 41–49.
16. **Щербаков В.В., Силкина Г.Ю.** Моделирование профессиональной образовательной подготовки логиста цифровой экономики // Цифровые технологии в логистике и инфраструктуре. Материалы международной конференции. СПб., 10–11 окт. 2019. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. С. 56–64.
17. **Ильин И.В., Багаева И.В.** требования к компетентностной модели выпускника университета в условиях цифровой экономики // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 4. С. 71–75.
18. **Малюк В.И., Радаев А.Е., Силкина Г.Ю.** Методика обоснования характеристик процесса развития промышленных предприятий с использованием средств оптимизационного моделирования // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2018. № 6. С. 195–211. DOI: 10.18721/JE.11617

19. **Гульцева О.Б., Сулоева С.Б.** Применение метода экспертных оценок для планирования трудоемкости НИОКР // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. СПб., 13–19 нояб. 2017. СПб.: СПбПУ, 2017. С. 32–26.

20. **Крошили А.В., Бабкин А.В., Крошили С.В.** Особенности построения систем поддержки принятия решений на основе нечеткой логики // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2010. № 2. С. 58–63.

21. **Майданова С.А., Ильин И.В.** Сбалансированная система показателей как основа для моделирования ИТ-архитектуры глобальной компании // Kant. 2020. № 3. С. 66–72. DOI: 10.24-923/2222-243X.2020-36.12

22. **Пищалкина И.Ю., Пищалкин Д.Н.** Риск-контроллинг в системе принятия управленческих решений // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли. Сборник трудов научно-практической и учебной конференции. СПб, 4–6 июня 2019. Ч. 2. СПб.: СПбПУ, 2019. С. 258–263.

## REFERENCES

1. **N.B. Kharchina**, Concept of formation on Kostroma University basis a competences' development centre (in terms of competences' development centre of IC company). *Ekonomicheskaya nauka – khozyaystvennoy praktike* [Economic Science – Economic Practice]. Proceedings of the XVIII International scientific and practical conference, Kostroma, May 25–26, 2017. Kostroma, Kostromskoy gosudarstvennyy tekhnologicheskyy universitet, 2017, pp. 219–223. (rus)

2. **S.A. Yakovlev, Ye.V. Prokhorova**, Preyemstvennost kak usloviye formirovaniya kompetentsiy v obrazovatelnoy sisteme "Shkola-Kolledzh-Vuz" [Continuity as a condition for the formation of competencies in the educational system "School-College-University"]. *Sovershenstvovaniye sistemy podgotovki i dopolnitelnogo professionalnogo obrazovaniya kadrov dlya agropromyshlennogo kompleksa* [Improving the system of training and additional professional education of personnel for the agro-industrial complex]. Proceedings of the National scientific and practical conference, Ryazan, Dec. 14, 2017. Part 2. Ryazan, RGATU, 2017, pp. 340–343. (rus)

3. **V.Y. Stromov, P.V. Sysoyev, V.V. Zavyalov**, "School of competencies" as a technology for the development of students' additional competencies at classical university. *Higher Education in Russia*, 2018, no. 5, pp. 20–29. (rus)

4. **M.I. Barabanova**, Approaches to the formation of digital economy competencies: The basic model of the competencies. *Arkhitektura universitetskogo obrazovaniya: postroyeniye yedinogo prostranstva znaniy* [The architecture of university education: Building a common space of knowledge]. Proceedings of the IV National scientific and methodological conference with international participation, St. Petersburg, Jan. 30 – Feb. 1, 2020. Part 1. St. Petersburg, SPbGEU, 2020, pp. 18–24. (rus)

5. **M.V. Lopatin, V.K. Potyomkin**, Professional capacity of enterprise workers. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics*, 2013, no. 1 part 2, pp. 65–71. (rus)

6. **A.N. Stroganova**, Theoretical foundations of design basic educational program and curriculum university in the implementation of the federal government educational standards. *Mir nauki, kultury, obrazovaniya*, 2011, no. 2, pp. 128–133. (rus)

7. **O.L. Chuplanova**, Primeneniye kompetentnostnogo podkhoda pri razrabotke sistemy oplaty truda. *Internet-zhurnal* [Application of a competence-based approach in the development of a remuneration system]. *Naukovedenie*, 2014, no. 6. (rus)

8. **A.V. Sokolova**, Struktura osnovnykh kompetentsiy vypusknika sovremennogo vuza. *Analiz GOS VPO spetsialnostey 230500 (SKSIT) i 100200 "Turizm"* [The structure of the main competencies of a graduate of a modern university. Analysis of the State Educational Institution of Higher Professional Education of specialties 230500 (SKSIT) and 100200 "Tourism"]. *Molodoy uchenyy*, 2010, no. 8, pp. 180–184. (rus)

9. **V.P. Galenko, N.A. Lobanova**, (Eds.), *Nepreryvnoe obrazovanie: Novye realnosti*. St. Petersburg, UNECON, 2020. (rus)

10. **Yu.V. Vertakova, V.A. Plotnikov**, Traditional learning technologies and ensuring the quality of economic education in the era of digital transformation. *Administrative consulting*, 2020, no. 3, pp. 54–60. DOI: 10.22394/1726-1139-2020-3-54-60

11. **M. Armstrong, A. Beron**, Upravleniye rezultativnostyu. Sistema otsenki rezultatov v deystvii [Performance management. Performance scoring system in action]. Moscow, Alpina Publisher, 2014. 248 p. (rus)
12. **F.P. Vasilyev**, Metody optimizatsii [Optimization methods]. Vol. 2. Moscow, MTsNMO, 2011. 433 p. (rus)
13. **A.V. Panteleyev**, Teoriya optimizatsii dlya inzhenerov i ekonomistov [Optimization theory for engineers and economists]. Moscow, Vuzovskaya kniga. 2016. 568 p. (rus)
14. **S.G. Sereda, V.M. Frolov**, Kriteriy optimalnosti dlya nabora tselevykh kompetentsiy [Optimality criterion for a set of target competencies]. Molodoy uchenyy, 2016, no. 9, pp. 291–293. (rus)
15. **A.V. Babkin, T.Y. Khvatova**, Development of research and development sector in the national innovation system of Russia. Izvestia SPbGEU, 2009, no. 4, pp. 41–49. (rus)
16. **V.V. Shcherbakov, G.Yu. Silkina**, Modelirovaniye professionalnoy obrazovatelnoy podgotovki logista tsifrovoy ekonomiki [Modeling professional educational training of a logistician of the digital economy]. On digital technologies in logistics and infrastructure. Proceedings of the international conference, St. Petersburg, 10–11 Oct. 2019. St. Petersburg, POLITECH-PRESS, 2019, pp. 56–64. (rus)
17. **I.V. Ilyin, I.V. Bagaeva**, Requirements to the competency model for a university graduate in the digital economy. Science and Business: Ways of Development, 2020, no. 4, pp. 71–75. (rus)
18. **V.I. Malyuk, A.E. Radayev, G.Yu. Silkina**, Procedure for determining the characteristics for development of industrial enterprises using optimization modeling tools. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2018, no. 6, pp. 195–211. (rus). DOI: 10.18721/JE.11617
19. **O.B. Gultseva, S.B. Suloyeva**, Primeneniye metoda ekspertnykh otsenok dlya planirovaniya trudoemkosti NIOKR [Application of the method of expert assessments for planning the labor intensity of R&D]. Nedelya nauki SPbPU [SPbPU science week], St. Petersburg, Nov. 13–19, 2017. Proceedings of a scientific conference with international participation. St. Petersburg, SPbPU, 2017, pp. 32–26. (rus)
20. **A.V. Kroshilin, A.V. Babkin, S.V. Kroshilina**, The particularities of the building decision support system on base of the fuzzy logic // Computing, Telecommunications and Control, 2010, no. 2, pp. 58–63. (rus)
21. **S.A. Maidanova, I.V. Ilyin**, IT-projects investment evaluation method in an enterprise architecture context. Kant, 2020, no. 3, pp. 66–72. (rus)
22. **I.Yu. Pishchalkina, D.N. Pishchalkin**, Risk-kontrolling v sisteme prinyatiya upravlencheskikh resheniy [Risk controlling in the management decision making system]. Fundamentalnyye i prikladnyye issledovaniya v oblasti upravleniya, ekonomiki i torgovli [Fundamental and applied research in management, economics and trade]. Proceedings of scientific and practical and educational conference, St. Petersburg, June 4–6, 2019. Part 2. St. Petersburg, SPbPU, 258–263 pp. (rus)

*Статья поступила в редакцию 21.11.2020.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

**ГЛУХОВ Владимир Викторович**

E-mail: office.vicerektor.me@spbstu.ru

**GLUKHOV Vladimir V.**

E-mail: office.vicerektor.me@spbstu.ru

**КАРТАВЕНКО Ольга Андреевна**

E-mail: kartavenko@compmechlab.ru

**KARTAVENKO Olga A.**

E-mail: kartavenko@compmechlab.ru