Курушина С.Е., Максимов В.В.
Самарский государственный аэрокосмический университет им. С.П. Королева

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Предложена математическая модель финансирования высшей школы, в которой система высшего образования условно разделена на две подсистемы: подсистему, включающую подготовку специалистов по инженерно-техническим и естественнонаучным специальностям, и подсистему, включающую подготовку специалистов по экономическим и гуманитарным специальностям. Обе подсистемы имеют единый финансовый ресурс. Функционирование подсистем подготовки при заданном финансовом ресурсе описывается в рамках модели конкуренции с учетом профессиональной мобильности специалистов первой подсистемы и случайного характера дополнительного финансирования. В результате численного анализа модели выявлены условия, при которых инженерно-техническая и естественнонаучная подсистема высшего образования может успешно конкурировать с гуманитарной подсистемой. Приведены оценки, которые позволяют оптимизировать стратегию финансирования высшей школы так, чтобы при ограниченном финансовом ресурсе сохранить и развить ведущие инженерно-технические и естественнонаучные вузы России.

Современная система государственных вузов России ориентирована в большей мере на подготовку студентов по специальностям, связанным с экономикой, правом, психологией, иностранными языками, менеджментом и другими гуманитарными дисциплинами. Кроме того, почти все негосударственные вузы ведут подготовку специалистов гуманитарных профессий. Однако такой приоритет в структуре подготовки профессиональных кадров не соответствует экономической ситуации, складывающейся в России в последнее десятилетие. Опыт быстроразвивающихся стран, таких, как Китай, Южная Корея, Индия, в которых за последние двадцать лет увеличилось количество студентов и выпускников технических вузов более чем в десять раз, показывает, что для освоения высоких технологий, на которые опирается экономика высокоразвитых стран, необходима мобильная конкурентоспособность научной и технической элиты государства. Естественно предположить, что будущее российской экономики непосредственно связано с необходимостью в настоящее время сохранить и развить инженерно-технические и естественнонаучные вузы России.

Однако современное государственное финансирование высшей школы, в особенности инженерно-технических специальностей, находится на уровне, при котором эффективность подготовки специалистов падает. Такое падение эффективности подготовки, как показано в работе [1], связано с двумя основными факторами: время, которое реально затрачивается студентом на учебу, существенно меньше необходимого, для того чтобы стать полноценным специалистом; преподавательский состав затрачивает на обучение студентов усилий меньше необходимого уровня. Все перечисленное выше, в свою очередь, приводит к выбыванию специалистов из своей профессиональной группы, дисквалификации выпускников, резкому старению преподавательских кадров и уменьшению притока кадров в эту область. Подобная ситуация сложилась не только из-за перехода экономики к рыночной форме, но и, как было отмечено выше, из-за значительных диспропорций в структуре подготовки. Последний фактор обостряет кризис, приводя к глубоко подкритическому финансированию инженерно-технической подсистемы высшей школы. Тем не менее очевидно, что восстановление нормального финансирования всей этой подсистемы в ближайшее время невозможно, и возникает вопрос о стратегии ее финансирования, которая позволит сохранить основные ее компоненты (ключевые вузы) и их кадровый состав.

При формулировке математической модели, описывающей данную ситуацию, условно разделим систему высшего образования на две подсистемы: подсистему, включающую подготовку специалистов по инженерно-техническим и естественнонаучным специальностям (подсистема 1), и подсистему, включающую подготовку специалистов по экономическим и гуманитарным специальностям (подсистема 2). Эти подсистемы имеют два совместных компонента ресурса – финансовый и человеческий. Взаимодействие системы высшего образования с человеческим компонентом ресурса здесь рассматриваться не будет.

Функционирование подсистем подготовки при заданном финансовом ресурсе можно описать в рамках модели конкуренции системой дифференциальных уравнений типа Лотки – Вольтерры. Дополним ее диффузионным членом $D\dfrac{\partial^2 n_1}{\partial s^2}$, учитывающим профессиональную мобильность специалистов первой подсистемы, и флуктуирующим членом $\varphi(s,t)$, описывающим случайный характер дополнительного финансирования в единицу времени, зависящего от многих факторов, из которых выделим специальность s и стратегию вложения данных средств t. То есть дополнительное финансирование в единицу времени флуктуирует по специальностям и во времени:

$$\frac{\partial A}{\partial t} = \Phi - k_1 n_1 - k_2 n_2 - \gamma A + \varphi(s,t)\,, \qquad (1)$$

$$\frac{\partial n_1}{\partial t} = (I_1 A - k_1')n_1 + D\frac{\partial^2 n_1}{\partial s^2}\,, \qquad (2)$$

$$\frac{\partial n_2}{\partial t} = (I_2 A - k_2')n_2\,, \qquad (3)$$

где A – финансовый ресурс, Φ – постоянное финансирование в единицу времени, k_i – эффективность усвоения средств в единицу времени на одного студента в i-й подсистеме, γ – коэффициент диссипации средств. $I_i A \sim \dfrac{\tau_r}{\tau_0}\dfrac{T_r}{T_0}$ – эффективность подготовки [1-3], $\tau_{r;0}$ – время, реально затрачиваемое студентом на обучение и время, необходимое для эффективного обучения соответственно, $T_{r;0}$ – время, реально затрачиваемое преподавателем на обучение студента, и время, необходимое для эффективного обучения соответственно. $n_i = \sum_{j=1}^{M} n_{ij} - n_{i0}$ – количество квалифицированных специалистов, выпускаемых i-й подсистемой вузов, n_{i0} – минимально возможный уровень выпуска;

$k_i' \approx \begin{cases} 1 - \dfrac{w_i}{w_{10}} & w_i < w_{i0} \\ 0 & w_i > w_{i0} \end{cases}$ – коэффициент ухода из i-й подсистемы, w_i – средний доход в i-й подсистеме, w_{i0} – минимально привлекательный доход. D – параметр, характеризующий мобильность в пространстве специальностей (профессиональную мобильность) специалистов первой подсистемы, с целью увеличения уровня своего дохода. Пространство специальностей считается непрерывным, а не дискретным. Такой предельный переход от дискретного пространства к непрерывному возможен, если радиус индивидуальной активности субъектов первой подсистемы (некоторая небольшая область специальностей, близких к базовой для данного человека) много меньше характерного масштаба пространства специальностей.

Будем описывать дополнительное финансирование в единицу времени как гауссово случайное поле с функцией корреляции:

$$\langle \varphi(s,t)\varphi(s',t') \rangle = 2\gamma\theta \exp\left(-\chi|s-s'|\right)\delta(t-t')\,,$$

где величина θ характеризует интенсивность флуктуаций. Параметр $r_\varphi = 1/\chi$ определяет типичный размер отдельной флуктуации. Исходя из уравнений (1) – (3), можно показать [4], что при минимально возможном уровне выпуска квалифицированных специалистов обеих подсистем (т. е, когда $n_1 = n_2 = 0$) среднеквадратичная флуктуация финансового ресурса имеет вид: $\langle \delta A^2 \rangle_0 = \theta$.

Пусть $k_2'/I_2 < k_1'/I_1$ – гуманитарная подсистема более привлекательна, чем техническая. Набор преференций во второй подсистеме считается постоянным на промежутках времени, сравнимых со временем учебы.

Похожая модель возникает в экологии при рассмотрении взаимодействия двух биологических видов, соревнующихся за один пищевой ресурс, в ней учитываются подвижность особей слабого вида и флуктуации плотности пищи на ареале совместного проживания [4].

В отсутствие случайной составляющей финансирования ($\theta = 0$) единственным устойчивым стационарным решением системы (1)-(3) является:

$$n_{10} = 0, \qquad n_{20} = \frac{\Phi - \gamma\dfrac{k_2'}{I_2}}{k_2}, \qquad A_0 = \frac{k_2'}{I_2}\,. \qquad (4)$$

Считается, что $\Phi > \gamma\dfrac{k_2'}{I_2}$. Это классический результат [5] (теорема Гаузе): конкуренция ведет к гибели более слабого вида (здесь: к уменьшению выпуска в первой подсистеме до минимально возможного уровня). Последнее утверждение, вообще говоря, не является точным, так как не учитывались характерные времена запаздывания, свойственные данным процессам, например, расчеты показывают, что восстановление кадрового состава высшей школы происходит не ранее, чем через 7-12 лет даже после восстановления финансирования до любого уровня. За это время возможно падение выпуска специалистов инженерно-технического и естественнонаучного профиля ниже критического уровня.

Математические оценки [6] показывают, что в отсутствие диффузии (при $D = 0$) флуктуации дополнительного финансирования в единицу времени не предотвращают асимптотического уменьшения выпуска специалистов первой подсистемы до минимально возможного уровня.

В работе [4] показано, что ситуация оказывается существенно отличной от рассмотренных выше, если $\theta \neq 0, D \neq 0$. Начиная с некоторой критической интенсивности шума θ_C становится возможным стационарное статистическое сосуществование двух конкурирующих подсистем, т.е. устанавливается состояние, в котором $\langle n_2 \rangle \neq 0$ и $\langle n_1 \rangle \neq 0$. Такой индуцированный шумом фазовый переход системы служит примером кинетического перехода типа «заселения среды». В частности, для случая трехмерной среды и при условии малости отклонений концентраций $n_{1;2}$ и A от стационарных значений, а также ограничении, наложенном на среднеквадратичное отклонение для n_1: $\sqrt{\langle \delta n_1^2 \rangle} << \langle n_1 \rangle_T$, показано, что при интенсивности шума $\theta > \theta_C$, где

$$\theta_C = \frac{p_1}{I_1} D\chi^2 \qquad (5)$$

среднее количество выпуска специалистов первой подсистемы отлично от нуля:

$$\langle n_1 \rangle = \begin{cases} 0, & \theta < \theta_C \\ \dfrac{I_1 p_1}{R}\left(\dfrac{1}{\theta_C} - \dfrac{1}{\theta}\right), & \theta \geq \theta_C \end{cases} . \qquad (6)$$

Таким образом, более мобильная подсистема успевает «выедать» флуктуации. Здесь $R = \frac{3\sqrt{2}}{4} \frac{I_1^3 k_1}{\gamma \omega_0^{1/2} (D\chi^2)^{3/2}}$, $\omega_0^2 = \nu I_2$, $\nu = \Phi - \gamma \frac{k_2'}{I_2}$, $p_1 = \frac{k_1'}{I_1} - \frac{k_2'}{I_2}$ – нехватка финансирования в стационарном состоянии для выпуска квалифицированных специалистов первой подсистемы.

В работе представлен численный анализ системы (1) - (3) для одномерного пространства без вышеперечисленных ограничений, результаты которого показаны на рис. 1, 2.

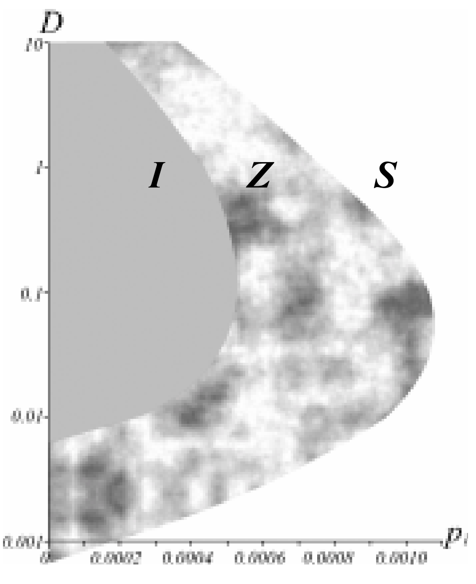

Рисунок 1. Параметрическая диаграмма для системы (1)-(3) на плоскости *(D, p_1)*.

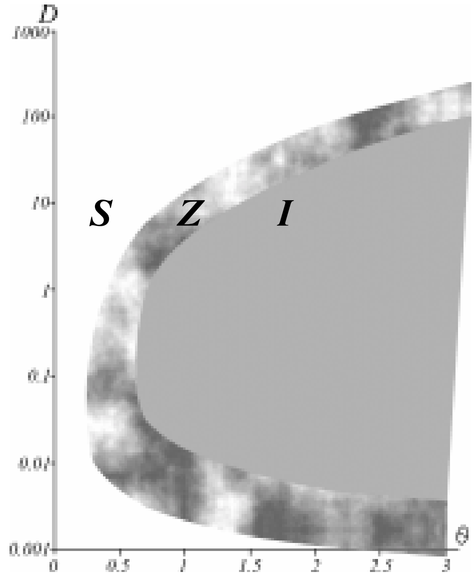

Рисунок 2. Параметрическая диаграмма для системы (1)-(3) на плоскости *(D,u)*.

В областях S на параметрических диаграммах (D, p_1) и (D, θ) (рис. 1, 2) выполняется теорема Гаузе.

В процессе сканирования срезов параметрического пространства модели были найдены области, соответствующие явлению кинетического перехода типа «заселения среды». Это области Z на рисунках 1 и 2.

Из приведенных выше параметрических диаграмм следует, что существует еще один возможный режим, реализующийся в весьма широкой области параметров, область I на рис. 1, 2. Он соответствует установлению стационарного состояния, при котором $\langle n_2 \rangle$ асимптотически по времени стремится к нулю, а $\langle n_1 \rangle$, нормированное на n_{20}, становится порядка единицы. В этой области параметров происходит инверсия утверждения теоремы Гаузе: конкуренция ведет к гибели более *сильного* вида. Слабый потребитель становится сильным. Такое инверсное поведение системы можно интерпретировать как еще один новый индуцированный шумом фазовый переход.

Полученный вывод имеет большое значение с точки зрения математического моделирования системы образования.

В условиях существования случайного дополнительного финансирования (например, набора грантов различного типа, платных образовательных услуг и т. д.) важнейшим фактором, делающим возможным сосуществование инженерно-технической и естественнонаучной подсистемы с более сильной гуманитарной подсистемой, является именно мобильность первой подсистемы. В экологии это пространственная мобильность, а в системе образования – это мобильность в фазовом пространстве – пространстве специальностей. Следует отметить также, что размер дополнительного финансирования не может быть меньше определенной величины θ_C, иначе стагнация неизбежна при всех вышеперечисленных условиях.

Поведение системы в зависимости от параметров D, p_1 объясняется следующим образом. Как показано в [4], явление заселения среды слабой подсистемой происходит жестко по отношению к параметру p_1, поэтому при увеличении дефицита ресурса, доступного слабому потребителю, выполняется теорема Гаузе, причем при $D \to 0$ и $p_{1C} \to 0$ слабый неподвижный потребитель исчезает при сколь угодно малом дефиците ресурса. Уменьшение дефицита ресурса, доступного слабой подсистеме, приводит к сглаживанию отличий между ними, а подвижность дает слабому потребителю дополнительные конкурентные преимущества. В результате вначале появляется возможность сосуществования потребителей, а затем, по мере уменьшения p_1, и режим инверсии, когда слабый потребитель становится сильным. Отметим здесь, что режим инверсии является пороговым по параметру D: при $D \to D_C(p_1)$ дополнительные конкурентные преимущества исчезают. Рост подвижности в пределе больших D приводит к тому, что последнее слагаемое во втором уравнении системы (1) - (3) становится превалирующим. При большой подвижности слабый потребитель слишком быстро проходит через области с профицитом ресурса, где $(A-A_0) > p_1$ и не могут эффективно использовать последний. В асимптотике $D \to \infty$ это уравнение допускает только затухающие решения диффузионного типа вне зависимости от величины дефицита ресурса. Этим, в частности, объясняется подковообразный вид области Z.

Разделение режимов на плоскости (D, θ) также легко объяснимо. Чем меньше интенсивность флуктуаций, тем меньше доступный исключительно слабому потребителю случайно возникающий в случайным образом распределенных областях пространства дополнительный ресурс. При превышении интенсивностью флуктуаций θ первого критического значения θ_{C1} появляется возможность сосуществования потребителей, при котором, нормированные на n_{20}, $\langle n_2 \rangle > 0$ и $\langle n_1 \rangle > 0$. При превышении интенсивностью флуктуаций θ второго критического значения θ_{C2} слабый потребитель получает преимущество, поскольку этот тип ресурса непосредственно доступен только ему и появляется возможность вытеснения сильного потребителя: нормированные на n_{20}, $\langle n_2 \rangle \to 0$ и $\langle n_1 \rangle \sim 1$.

Приведенные оценки позволяют оптимизировать стратегию финансирования высшей школы так, чтобы при ограниченном финансовом ресурсе сохранить и развить ведущие инженерно-технические и естественнонаучные вузы России.

Список использованной литературы:

1. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 288 с.
2. Малинецкий Г.Г., Шакаева М.С. Модель иерархической организации / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. №39. 1995.
3. Малинецкий Г.Г., Кащенко С.А., Потапов А.Б., Ахромеева Т.С., Митин Н.А., Шакаева М.С. Математическое моделирование системы образования / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. №100. 1995.
4. Михайлов А.С., Упоров И.В. Критические явления в средах с размножением, распадом и диффузией // УФН. 1984. Т. 144. В. 1. С. 79-112.
5. Вольтера В. Математическая теория борьбы за существование. М.: Наука, 1976. 328 с.
6. Mikhailov A.S. - Zs. Phys. Ser. B. 1981. V. 41, p. 277.