

Переход от образовательной парадигмы индустриального общества к образовательной парадигме постиндустриального общества [1] приводит в частности к трансформации структур системы высшего образования: от иерархических (рис.1.а) к децентрализованным (рис.1.б). Децентрализованные структуры оказываются гораздо разнообразнее и приводят к возникновению неустойчивостей взаимодействия субъектов системы высшего технического образования (ВТО) [2]. Для анализа, прогнозирования и планирования состояний и динамики поведения сложной системы ВТО могут использоваться математические модели. Цель статьи – формализация обобщенной модели системы ВТО и определение подходов к стабилизации динамики ее поведения. Система ВТО (рис.1) представляет собой совокупность взаимодействующих субъектов [2], каждый из которых, в свою очередь, является сложной социальной системой. Государство является субъектом, определяющим общие условия организации взаимодействия представителей остальных субъектов: предприятий – работодателей, студентов и высших технических учебных заведений (ВТУЗов). Поэтому в модели системы ВТО можно выделить взаимодействие трех субъектов: ВТУЗов, студентов и работодателей, в условиях, определенных четвертым субъектом - государством. Принципиальной задачей взаимодействия является создание гибкой и динамичной модели специалиста и управление ею в условиях изменчивости окружающей среды [3-5]. Интересы и требования каждого из трех, выделенных субъектов можно представить макропеременными, оказывающими друг на друга кооперативное или антагонистическое влияние [6]. При этом в математических моделях системы ВТО удобно использовать нормированные значения макропеременных. Рис. 1 - Взаимодействие субъектов системы высшего технического образования

Математические модели, отражающие состояния и поведение трех субъектов системы ВТО могут быть формализованы логистическими уравнениями для трех переменных [6]:

$$\dot{x} = x(s_1(x) - a(y, z)), \quad \dot{y} = y(s_2(y) - b(x, z)), \quad \dot{z} = z(s_3(z) - c(x, y)) \quad (1)$$

где  $x, y, z$  – макропеременные, описывающие поведение каждого из трех взаимодействующих субъектов,  $t$  – безразмерное время,  $s_1(x), s_2(y), s_3(z)$  – регулирующие функции, предусматривающие свои механизмы регуляции для каждого субъекта системы ВТО, а  $a(y, z), b(x, z), c(x, y)$  – функции взаимного влияния, обуславливающие кооперативный или антагонистический характер взаимодействия макропеременных. Положительное значение функций взаимного влияния ( $a(y, z) > 0; b(x, z) > 0; c(x, y) > 0$ ) отражает в целом кооперативное воздействие на макропеременную ( $x, y$  или  $z$ , соответственно), а отрицательное значение – антагонистическое. Конкретное аналитическое представление функций взаимного влияния  $a(y, z), b(x, z), c(x, y)$  в (1) зависит от содержательной интерпретации элементов и параметров модели, и для каждого частного случая является самостоятельной задачей. Воспользуемся разложением функций влияния в степенной ряд:

$$a(y, z) = \sum_{i,j} x_{sy} x_{sz} y^i z^j, \quad b(x, z) = \sum_{i,j} y_{sx} y_{sz} x^i z^j, \quad c(x, y) = \sum_{i,j} z_{sx} z_{sy} x^i y^j \quad (2)$$

где  $x_{sy}, x_{sz}, y_{sx}, y_{sz}, z_{sx}, z_{sy}$  – точки, в которых происходит изменение характера взаимодействия

макропеременных (с подавление на усиление, или наоборот);  $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \beta_a, \beta_b, \beta_c, \gamma_a, \gamma_b, \gamma_c$  – константы, характеризующие интенсивность взаимодействия переменных. В наиболее простом случае можно полагать: , , [6]. В первом приближении, также достаточно ограничиться первыми тремя членами в разложении (2): . (3) При определенных значениях коэффициентов разложения (3) система логистических уравнений (1) сводится к частным случаям хорошо изученных моделей социальных систем, взаимодействующих в целях подготовки специалистов. Эти частные случаи можно сгруппировать по признаку числа макропеременных в модели. 1. Одномерные случаи, которые получаются из модели (1) при постоянных значениях двух макропеременных, например: и . В этом случае, функции влияния (3), как правило, сводятся к постоянным значениям, а окончательный вид частной модели зависит от вида функции управления  $s_1(x)$ . 1.1. При можно получить модели, рассматривающие изменение рассогласования системы во времени (например, зависимость вероятности правильной реакции от числа повторений) [7]: . (4) Распространенным развитием данного варианта является логистическая модель обучения [8]: , (5) (где  $t$  – время обучения,  $r(t)$  – оценка уровня подготовки в момент времени  $t$ , – начальная квалификация студента (уровень подготовки, на момент начала обучения), – оценка конечного уровня подготовки,  $\gamma$  – скорость обучения). Модель (4) может интерпретироваться, например, как модель вуза и учебной группы [9]: . (6) Здесь  $N(t)$  – величина, характеризующая деградацию качества обучения, , где  $N_1$  – численность студентов, приходящихся на одного преподавателя,  $N_2$  – конкурс, выраженный в количестве абитуриентов, приходящихся на одно место в конкретном вузе в определенном году;  $N_{пред}$  – предельное значение величины, характеризующей деградация качества образования, определенное экспертным путем;  $k$  – коэффициент репродукции деградации. 1.2. Некоторые значения функции управления  $s_1(x)$  позволяют упростить описательные модели. Если учесть, что , и полагать (7) получаем математическую модель процесса обучения [9]: . (8) Здесь  $x(t)$  – разность между количеством информации, переданной преподавателем, и информацией, усвоенной обучающимся;  $b(t)$  – количественная мера потока входной информации, получаемой обучающимся от преподавателя;  $K(t)$  – коэффициент восприятия учебной информации обучающимся;  $\tau(t)$  – время запаздывания в восприятии входной обучающей информации. Условие , в данном случае, отражает наиболее вероятный случай существования разницы в представленной и усвоенной информации. Функция  $s_1(x)$  в этом случае может интерпретироваться как управление объемом информации, получаемой обучающимся с учетом его способностей и результатов восприятия. 2. Двухмерные случаи, которые получаются из модели (1) при постоянном значении одной из макропеременных, например, . При этом конкретный вид частных моделей в первую очередь определяется функциями управления  $s_1(x), s_2(y)$ .

Например, при (9) приходим к математической модели фундаментального вуза [9]: . (10) Здесь  $g(t)$  – запрос рынка труда;  $x(t)$  – результат подготовки специалистов в вузе;  $K$  – размеры капиталовложений в его развитие;  $y(t)$  – количественная мера нового знания, полученного в вузе;  $F(x,y)$  – функция совместного влияния. Функция  $s_1(x)$  формализует управление на рынке труда (в частности, количеством определенных специалистов), а функция  $s_2(x)$  – управление информационными (знаниевыми) потоками (в том числе, управление образовательными программами). При этом должны выполняться требования , , при , , которые отражают допущение взаимного влияния макропеременных. Иначе, модели теряют свое содержательное значение.

3. Трехмерные случаи, примером которых может служить модель динамики численных значений [10], в частности характеризующих поведение модели системы ВТО (рис. 1. б): . (11) На основании вышеизложенного, систему логистических уравнений (1) с учетом (3), можно рассматривать как обобщенную модель системы ВТО, решаемую методом задачи Коши. Начальные условия для обобщенной модели определяются общими условиями организации взаимодействия субъектов системы ВТО, заданными государством (рис. 1. б). В этом случае, особенностью системы ВТО является наличие ограниченных периодов времени взаимодействия сторон. Обобщенную модель системы ВТО, формализованную системой трех нелинейных, дифференциальных уравнений первого порядка, можно отнести к известным и хорошо изученным моделям открытых динамических систем [11]. Для открытых динамических систем выделяют характерные виды динамики поведения: регулярные (стационарные либо периодические) и хаотические. Обеспечение требуемой динамики поведения в таких системах осуществляется посредством применения известных методов управления и стабилизации [11]. Обеспечение устойчивых состояний системы ВТО, при которых возможно обеспечить согласование интересов, относится к задачам стабилизации динамических систем. Методы стабилизации в системе ВТО можно реализовать посредством подбора функций управления  $s_1(x)$ ,  $s_2(y)$ ,  $s_3(z)$ , механизмы реализации которых представлены в таблице. Обобщенная модель позволяет, в частности, рассмотреть пути приведения системы ВТО к взаимному удовлетворению интересов субъектов, т.е. к состоянию близкому к . Подбор коэффициентов функций влияния (3) и функций управления  $s_1(x)$ ,  $s_2(y)$ ,  $s_3(z)$  в математической модели (1) позволяет рассмотреть механизмы, обеспечивающие востребованную динамику развития системы ВТО. Формализованные функции управления  $s_1(x)$ ,  $s_2(y)$ ,  $s_3(z)$  можно разложить на слагаемые, выражающие комплекс используемых, различных видов стабилизирующих воздействий, каждому из которых можно поставить в соответствие характерное аналитическое выражение регулирующей функции (табл. 1). Таким образом, подобранные аналитические выражения функций управления, позволяют проектировать механизмы стабилизации поведе

Таблица 1 – Методы стабилизации в системе

ВТО и их аналитическое представление Вид взаимных воздействий Реализация воздействий Вид аналитического представления «Грубая сила» Жесткое регламентирование взаимодействия сторон Полиномы макро-переменных Следящая обратная связь Метод стабилизации по промежуточным и конечным результатам деятельности Функции вида Инерциальные воздействия Последовательность непродолжительных по длительности воздействий, с накоплением эффекта от каждого влияния за счет нелинейных свойств исследуемой системы Периодические функции и / или функции вида ния системы ВТО, с учетом ограниченных периодов времени взаимодействия субъектов и различных внешних условий. Рассмотрим пример содержательной интерпретации макропеременных. Пусть  $x$  – приведенная численность вакансий работодателей по выделенной профессии с заданными качественными требованиями к соискателям;  $y$  – приведенная численность возможных мест обучаемых по образовательным программам с соответствующим профилем подготовки во ВТУЗах;  $z$  – приведенная численность соискателей, готовых после необходимой подготовки занять вакансии на предложенных им условиях. Значения макропеременных отражают реальные численности показателей в конкретный момент времени, приведенные к их максимально возможному значению. Длительность исследуемых процессов ограничена нормативными сроками подготовки по образовательной программе, установленными государственными образовательными стандартами и законами РФ. Применительно к процессу подготовки высококвалифицированных специалистов, метод «грубой силы», регламентирующий взаимодействие субъектов сводом нормативных правил, позволяет дополнить и формализовать ограничения системы ВТО. Инерционные воздействия в данном случае возможно реализовать посредством конкурсного перераспределения обучающихся по профилям подготовки с применением балльно-рейтинговой системы оценки качества подготовки [12, 13], а следящую обратную связь – посредством блочно-модульной системы организации учебного процесса [2, 14-15]. Проведенные исследования позволяют прийти к следующим выводам: 1. Получена обобщенная модель системы ВТО, формализованная тремя нелинейными, дифференциальными уравнениями первого порядка. Показано, что ВТО относится к открытым динамическим системам. 2. Для обеспечения требуемой динамики поведения в системе ВТО могут применяться известные методы стабилизации и управления открытых динамических систем (табл.1). 3. Современная концепция высшего технического образования предполагает определение целей подготовки как проекции профессиональных требований, предъявляемых рынком труда к каждому студенту, и соответствующего индивидуально-ориентированного обучения [13]. Индивидуальные вектора профессиональной подготовки уточняются на всем протяжении процесса обучения студента, и на первом этапе образовательные программы объединяют

большое число профилей. При большом числе вложенных индивидуальных траекторий на начальном этапе обучения (например, естественнонаучной подготовки) наиболее эффективным методом стабилизации и управления в системе ВТО являются инерционные воздействия, реализуемые посредством балльно-рейтинговой системы оценки качества подготовки. При этом на первом курсе подготовки высококвалифицированных специалистов целесообразно сокращение периодов воздействий, т.е. увеличение числа аттестаций балльно-рейтинговой системы. На наш взгляд рациональным является переход от 4 – 5 аттестаций в семестр на первом курсе к 2-м – на старшем курсе (с дифференцированным учетом форм, методов обучения и объема учебного материала).

4. При переходе к общепрофессиональной подготовке на 2-3 курсах число возможных вложенных траекторий сокращается. При этом эффективным оказывается метод следящей обратной связи, реализуемый посредством блочно-модульной системы организации учебного процесса [2, 14-15].

5. На завершающем этапе подготовки эффективным является метод «грубой силы», реализуемый в форме договоров между студентом и работодателем о целевой профессиональной подготовке и трудоустройстве. При этом для организации индивидуальной профессиональной подготовки специалистов целесообразно применение форм целевого обучения магистров и бакалавров именно на старших курсах.

6. Учитывая периоды развития субъектов системы ВТО и рациональные сроки планирования и прогнозирования в различных социальных системах, для двухуровневой подготовки бакалавр – магистр целесообразно выделить четыре этапа обучения (рис.2) [15]: I этап – общенаучной подготовки; II этап – общепрофессиональной подготовки; III этап – профессиональной подготовки бакалавров; IV этап – профессиональной подготовки магистров.

Рис. 2 - Разделение процесса подготовки высококвалифицированных технических специалистов на этапы

При этом целесообразно соответствующее структурирование образовательных программ бакалавриата и магистратуры для подготовки высококвалифицированных технических специалистов.

7. Структурирование процесса подготовки высококвалифицированных технических специалистов позволяет выделить контрольные точки А, В, С, D (рис. 2) принятия субъектами системы ВТО совместных управляющих и стабилизирующих решений.