

**РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПРОМИСС ЦЕЛЕЙ
СУБЪЕКТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Н. Д. ПАНКРАТОВА, В. Ю. ХОХЛОВ

На базе системной методологии исследованы механизмы согласования деятельности субъектов в дистанционном образовании для нахождения рационального компромисса целей субъектов обучения, учебных заведений и агентов рынка труда. На схемах взаимосвязей компонентов системы образования в процессе обучения и на схеме взаимодействия учебных заведений проиллюстрированы преимущества такого подхода. Предложена математическая постановка задачи обеспечения рационального компромисса целей. Разработан алгоритм ее решения.

Информационная революция и мировая глобализация создали информационное общество и предпосылки для перехода к обществу знаний, существенно изменили образ жизни большинства людей. Система образования должна адаптироваться к этим изменениям, и потому одна из важных задач — согласование образования с потребностями людей и особенностями информационного общества. В настоящее время в области дистанционного образования проводится много исследований, в которых большое внимание уделяется непрерывному активному обучению, внедрению новых технологий и новому пониманию роли субъекта обучения, преподавателя и образовательного учреждения [1–4].

Новые дидактические концепции и модели, системы дистанционного обучения, автоматизация отдельных механизмов управления процессом обучения будут более эффективны, если их рассматривать как составные части единой системы. Это позволит организовать обмен данными между подсистемами и наладить взаимодействие при решении задач. Отсюда следует необходимость построения модели системы, что представляет сложную междисциплинарную проблему.

Актуальность создания динамической, итерационной модели объясняется тем, что эффективное существование любой системы имеет циклический характер и возможно лишь при наличии обратной связи [5]. Разработка математической модели принятия решений важна потому, что современные информационные компьютерные технологии (ИКТ) исключительно формализованы и их эффективное использование в дистанционном обучении возможно лишь при одновременной формализации предметной области.

В этой статье развиваются и реализуются идеи системной методологии дистанционного обучения, предложенной в работе [6]. В дальнейшем она

может использоваться для решения отдельных задач в области образования и интеграции существующих наработок в единую систему. В частности, используя эту методологию, можно исследовать динамические процессы в системах обучения и проблемы формирования и реализации стратегии обучения.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПРОМИСС ЦЕЛЕЙ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Системы дистанционного обучения (СДО) — это сложные открытые системы, в состав которых входят разнородные подсистемы, активно обменивающиеся информацией с внешней средой. Анализ взаимосвязей, структуры и поведения этих систем представляет собой системную задачу междисциплинарного исследования. Сложность его обусловлена рядом факторов. Один из них — наличие множества противоречивых целей обучения при ограничениях на информационные и технические ресурсы.

Наличие обратной связи в модели информационных взаимосвязей [6] (рис. 1) дает основание говорить о динамическом характере поведения системы, благодаря чему она приобретает важные свойства (например, возможность адаптации к изменению внешней по отношению к самой системе среды, в частности, нормативно-правовой базы, динамики спроса и предложения на рынке образовательных услуг и рынке труда, внедрению новых технологических решений). Предложенная модель позволяет также более четко разделить задачи, решаемые системой образования в целом, и собственно задачи обучения, являющиеся лишь подмножеством первых. Обратная связь служит для придания процессу получения образования циклического, итерационного характера, отражающего концепцию непрерывного обучения. В то же время обратная связь в процессе обучения может использоваться для корректирования учебного процесса в рамках одного курса или его отдельных элементов. Необходимо учитывать, что проблемы развития системы образования находятся на качественно более высоком уровне, чем задачи обучения, и поэтому, следуя общей идее взаимосвязей и взаимодействия в системе «образование — наука — производство» [7], их целесообразно рассматривать в едином контексте отношений «общество — система образования», «рынок труда — рынок образовательных услуг».

Контур обратной связи показан на структурной модели (рис. 1) двойными стрелками. Опыт обучения, который сохраняется в Едином каталоге, используется для принятия решений о дальнейшем обучении с учетом текущих потребностей субъекта и спросом на рынке труда. Прошлый опыт, представленный в профайле студента, становится доступен и СДО.

В рамках предложенной модели можно выделить три различные категории субъектов информационного взаимодействия с системой.

1. Субъекты обучения — лица, которые обучаются, обучались или планируют обучаться в будущем (студенты, выпускники, абитуриенты).
2. Учебные заведения — организации, предоставляющие услуги в обучении.
3. Агенты рынка труда — работодатели, кадровые агентства.

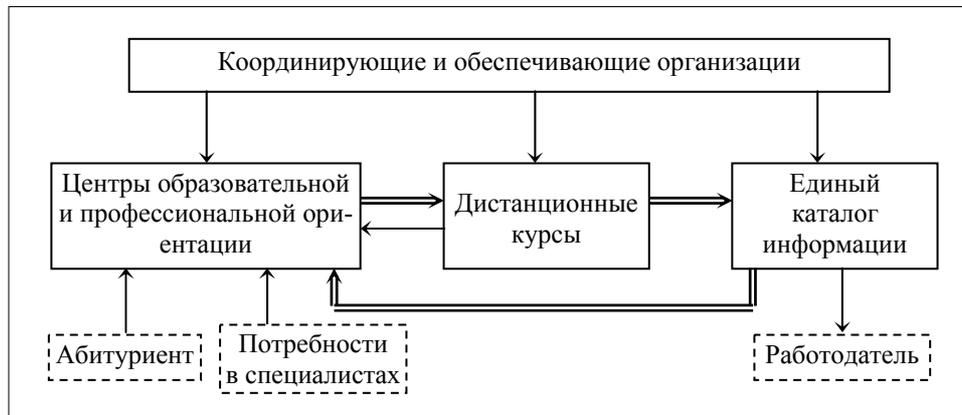


Рис. 1. Структурная модель взаимосвязей в системе дистанционного образования

Для обозначения представителя какой-либо категории субъектов используется термин *агент*. Каждый агент владеет своей специфической информацией и стремится к достижению собственных целей, сталкиваясь при этом с дефицитом и неопределенностью информации (см. таблицу).

Агенты образовательной системы и их информационные характеристики

Агент	Владеет информацией	Заинтересован в информации
Субъект обучения	О личных интересах и склонностях, желаемом трудоустройстве, прошлом учебном и профессиональном опыте	О стратегии дальнейшего обучения
Учебное заведение	О программах обучения, возможностях персонала и ресурсах, будущем предложении на рынке труда (нынешнее распределение студентов по специальностям)	О стратегии дальнейшего предложения образовательных услуг, разработке новых курсов, индивидуальных особенностях обучения субъекта
Рынок труда	О текущем спросе, тенденциях и прогнозах рынка труда	О будущих предложениях рабочей силы, сведениях для подбора специалистов на планируемые вакансии

Каждый агент ставит свои цели в образовательном процессе:

Субъект обучения — реализовать свои личные интересы и склонности, занять достойную позицию в обществе и на рынке рабочей силы.

Учебное заведение — успешно действовать на рынке образовательных услуг (в частности, быть конкурентоспособным на рынке услуг и рынке труда).

Рынок труда (в целом) — достичь рационального компромисса между спросом и предложением рабочей силы.

В более общей постановке задачи рационального использования возможностей образовательного процесса важная роль отводится государству. Государство можно рассматривать в качестве своеобразного агента. В числе его главных целей — выбор и реализация рациональных решений социальных проблем. Практическая необходимость их реализации определяется

многими факторами, из которых следует выделить существенное возрастание требований ко многим сторонам практической деятельности различных слоев населения, что обусловлено современными условиями широкого развития туризма, международных научных форумов, выставок, разных форм и видов миграции населения. Среди этих требований особое значение имеют требования к профессионализму, культурному уровню, поведению и другим качествам специалистов различных профессий, которые в полной мере определяются понятием «активная гражданская позиция». Реализация этих требований возможна только на основе системной согласованности целей агентов.

Несогласованность и противоречивость целей агентов, недостаток информации для принятия решений субъектами обучения приводят к тому, что их интересы часто остаются нереализованными. Не исключены случаи, когда учебные заведения предлагают неактуальные и невостребованные курсы, а предложения по трудоустройству имеют мало общего с полученным образованием. Все это ведет к значительным потерям трудовых и материальных ресурсов на макроуровне. Если вместо интуитивного решения принять рациональное, представляющее собой компромисс интересов всех агентов [8], то такие потери будут уменьшены. В данной работе под *компромиссом* понимается решение, которое принимается при взаимном согласовании собственных интересов различных агентов, а под *рациональностью* понимается свойство процедуры выбора альтернативы, позволяющее без лишних затрат ресурсов достичь компромисса противоречивых целей.

Современные математические методы позволяют находить рациональное решение, используя, например, механизм нечеткой логики и многокритериальной оптимизации. Еще одно достоинство использования математических методов — возможность учета не только текущих целей, но и прошлого опыта. Для субъекта обучения зачастую сложно произвести анализ взаимозависимостей всех пройденных курсов обучения, выявить их взаимную согласованность, оценить их влияние на те курсы, которые он планирует изучать далее. Вместе с тем, получение объективной информации по перечисленным вопросам особенно важно в последипломном профессиональном образовании, где у субъекта обучения есть свобода выбора своей стратегии на уровне отдельных курсов.

Как показано выше, ряд задач, стоящих перед разными агентами — определение стратегии обучения субъектами, предложение услуг учебными заведениями, индивидуализация учебного процесса, прогнозирование будущей ситуации на рынке труда, — связаны между собой и могут решаться совместно. Общий результат решения, полученный с использованием математических методов принятия решений и учитывающий цели и интересы разных агентов, назовем *рациональным компромиссом целей*. Структурные взаимосвязи процессов и субъектов при формировании рационального компромисса целей приведены на рис. 2.

Решение в виде рационального компромисса целей дает возможность произвести *декомпозицию общих целей*. Сущность декомпозиции состоит в преобразовании сложных составных целей более высокого уровня иерархии в последовательность более простых целей, которые можно ставить и достигать на более низких уровнях иерархии. Задача декомпозиции целей

возлагается в предложенной модели на *центры образовательной и профессиональной ориентации* (см. рис. 1).

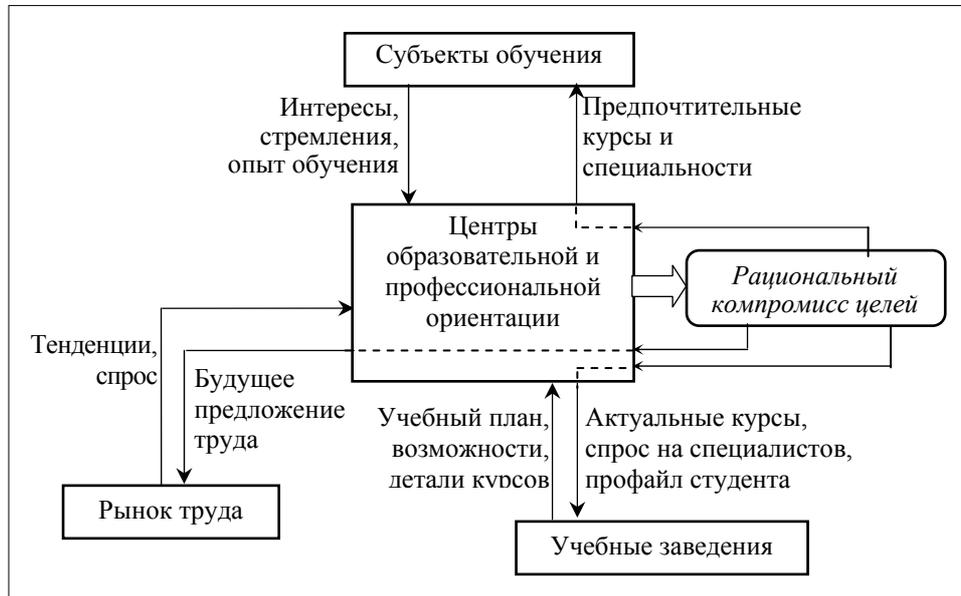


Рис. 2. Структурные взаимосвязи целей и возможностей субъектов компромисса

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АГЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

При решении задачи согласования целей важно не только определить структуру взаимосвязей компромисса целей и возможностей, но и показать, как агенты и компоненты системы образования взаимодействуют между собой при его поиске и реализации. Процессы, протекающие в предложенной модели, достаточно сложные и зависят от многих факторов. Целесообразно рассмотреть их с точки зрения каждого агента отдельно.

Первой фазой процесса получения образования для субъекта обучения является выбор курса или специальности (рис. 3). Эта фаза является процессом принятия решения, когда целесообразно использовать рациональный компромисс целей. Именно здесь происходит определение или корректировка стратегии обучения.

Вторая фаза — собственно фаза обучения. Её цель — активное приобретение знаний, формирование умений и навыков. На этом этапе возможна индивидуализация процесса обучения, поскольку потребности субъекта уже известны и формализованы. Входной информацией для СДО может служить профиль студента, генерируемый при нахождении рационального компромисса.

Заключительной фазой является получение документа об образовании, который выдает уполномоченная организация, в общем случае независимая от СДО. По результатам обучения из СДО в Единый каталог поступают сведения на каждого обучаемого о полученных знаниях, сформированных умениях и навыках, а также оценки, отзывы и комментарии. Все это и являет

собой тот опыт обучения, на основании которого будет производиться принятие решения в процессе дальнейшего получения образования. Таким образом процессу обучения придается итерационный, циклический характер с динамической корректировкой стратегии. Все это отвечает концепции непрерывного обучения.

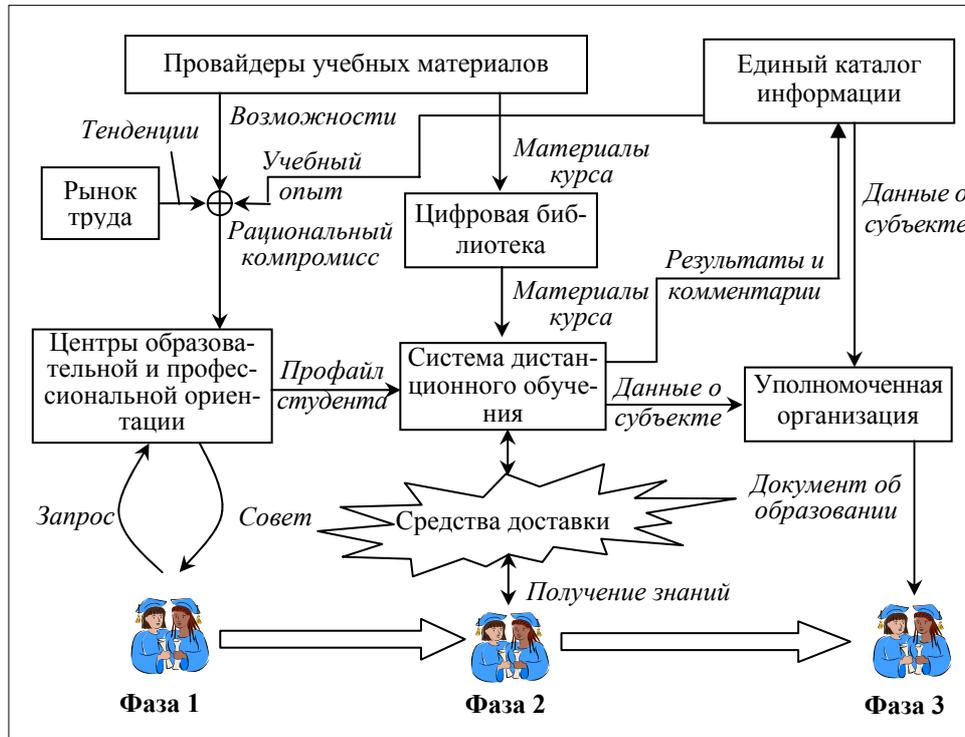


Рис. 3. Структура взаимосвязей процесса получения образования субъектом обучения

В приведенных в этой статье схемах взаимодействия используются термины в следующем их значении:

- *провайдеры учебных материалов* — организации, которые обеспечивают обучающими материалами по курсам (рис. 4);
- *провайдеры учебных средств* — организации, обеспечивающие средствами обучения (программными, аппаратными и иными);
- *клиентские учебные заведения* — учебные заведения, поддерживающие субъекты обучения (слушателей, студентов);
- *уполномоченная организация* — организация, имеющая право выдавать свидетельства о полученном образовании (дипломы, сертификаты);
- *цифровая библиотека* — компонент системы образования, обеспечивающий доступ к учебным материалам и средствам обучения, независимо от организации хранилища данных (портал, централизованный репозиторий);
- *профиль студента* — данные, которые позволяют корректировать учебную программу курса под индивидуальную специфику субъекта обучения.

Предложение образовательных услуг учебными заведениями определяется их интересами, ресурсами и возможностями. В процессе обучения возможно взаимодействие нескольких учебных заведений, каждое из которых

специализируется на предоставлении определенных услуг. Например, учебные заведения в крупных городах могут предоставлять актуальные курсы, но не поддержку для удаленных мест. Местные учебные заведения могут обеспечить такую поддержку, но у них возможности разработки новых курсов значительно скромнее. Поэтому учебные заведения можно разделить по их роли в процессе обучения или по стадии процесса обучения, на которой они задействованы, как было предложено в модели на основе информационных компьютерных технологий [9]. Существуют три основные категории задач и целей учебных заведений.

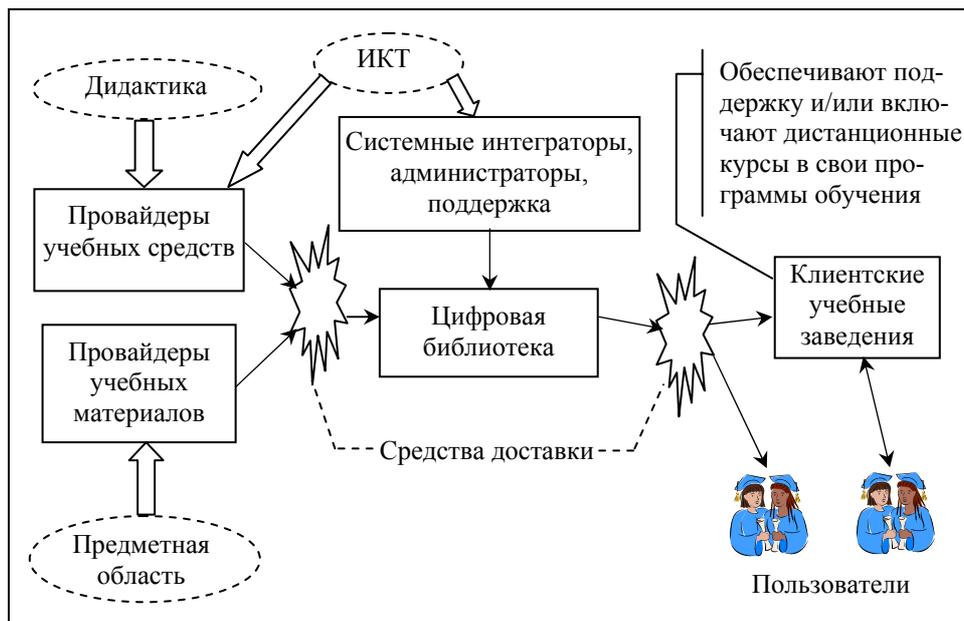


Рис. 4. Схема взаимодействия учебных заведений в процессе предоставления услуг

1. Обеспечение обучающими материалами — разработка содержания курса, его поддержка и обновление, подготовка заданий для отдельных слушателей и групп, а также данных для подсистем проверки знаний.
2. Обеспечение средствами обучения — разработка обучающих программных средств, включая программное обеспечение курса, средства доставки, обратной связи и коммуникационной поддержки.
3. Поддержка субъектов обучения — организация поддержки слушателей наставником или тьютором, обеспечение обратной связи, помощь в решении текущих проблем в процессе обучения, а также сбор предложений по усовершенствованию курсов и запросов на их разработку.

Схема взаимодействия этих трех категорий учебных заведений показана на рис. 4. Таким образом, агент «учебные заведения», который предоставляет и поддерживает компоненты схемы «дистанционные курсы» (см. рис. 1), в действительности подразделяется на несколько типов (или ролей) заведений. Конечно, одно заведение может выполнять сразу две или все три функции, но и тогда в нем можно выделить соответствующие этим функциям подсистемы. Именно эта модульная структура позволяет применять различные методы совместного доступа к учебным материалам и средствам обучения (например, одна СДО может при наличии соответствующе-

го соглашения между учебными заведениями включать в свой курс часть материалов другой СДО).

Рациональный компромисс целей дает возможность учебным заведениям оценивать спрос на услуги в области обучения и таким образом определять стратегию предложения услуг на данном рынке. Однако есть и еще одно важное преимущество. При нахождении решения выполняется формализация потребностей субъекта и опыта его прошлого обучения, в результате генерируется структура данных специального вида, называемая *профайл студента*. Используя предложенную в работе [6] формализацию информационных потоков и структуры курса в СДО, а также данный профайл, можно предложить единые протоколы обмена данными между разными типами учебных заведений в процессе их взаимодействия.

Участие агентов рынка труда в рассмотренных выше процессах значительно меньше. Можно выделить три основные формы их участия.

1. Обеспечение данных о текущем состоянии и перспективах спроса на рынке рабочей силы и, как результат, ранжирование актуальности курсов и специальностей.
2. Консультация с центрами для определения соответствия курсов или специальностей той или иной позиции на рынке труда.
3. Информационный запрос в Единый каталог на поиск наилучших специалистов на вакансии.

Поскольку механизм рационального компромиссного решения содержит формализацию предоставляемых учебными заведениями услуг, то появляется возможность связать эти услуги с описанием позиций на рынке труда. Учитывая, что будущее предложение на рынке труда во многом определяется текущим распределением студентов по курсам и специальностям учебных заведений, можно будет определить специфику и достоинства предложения по тем или иным позициям. Кроме того, появится возможность выявлять результативность обучения по той или иной специальности, для которой есть вакансии у работодателя. Это позволит автоматизировать поиск специалистов для заполнения вакансий по дефицитным и редким специальностям.

Таким образом, предложенная схема рационального компромисса целей учитывает интересы трех агентов, позволяет включить функции агентов в общую модель взаимодействия компонентов системы образования и реализует концепцию непрерывного обучения.

СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПРОМИССА ЦЕЛЕЙ

Известны интересы и пожелания субъектов обучения, имеются сведения о полученном ими образовании (прошлый опыт обучения), возможности учебных заведений по предоставлению услуг СДО, тенденциях спроса и предложениях на рынке труда.

Необходимо выработать рациональный компромисс целей и выдать рекомендации о варианте последующего обучения, изменении спектра предоставляемых образовательных услуг и будущих предложениях на рынке

труда. Кроме того, необходимо определить *профайл студента*, используемый в СДО для генерации индивидуального обучающего сценария, если имеются данные, достаточные для его создания.

Общее решение задачи предлагается выполнять поэтапно.

1. Выделить необходимую информацию из пожеланий субъекта с использованием нечеткой логики и вероятностных ограничений.
2. Создать базу знаний о возможностях учебных заведений.
3. Решить многокритериальную задачу принятия решений о рациональном варианте обучения или стратегии предложения образовательных услуг.
4. Использовать имеющиеся знания об индивидуальных особенностях субъекта, выделить в них индивидуальные особенности для решения задачи выбора учебного заведения.
5. Проанализировать динамику и учесть общественные потребности в рабочей силе, ситуации на рынке труда при решении задачи выбора учебного заведения.
6. Определить профайл студента, который передается в СДО как входная информация о субъекте обучения.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО КОМПРОМИССА ЦЕЛЕЙ

Для формализации поставленной задачи и разработки алгоритма ее решения необходима математическая модель предметной области. В данном случае она плохо формализуется, поэтому для моделирования предлагается использовать аппарат нечетких множеств, принадлежность элемента которых будет задаваться вербально (большая, средняя, малая и т.п.). Некоторые сущности имеют вероятностный характер (спрос на специалистов, конкурс в учебном заведении). Их целесообразно представить случайными величинами с параметрами, оцениваемыми статистически. Введем следующие обозначения:

1. *Области знаний* — множество

$$X = \{x_n \mid n = \overline{1, N_X}\}$$

для согласования противоречивых интересов агентов. Его элементы x_n — представления достаточно целостных и независимых областей знаний. Общее число заданных областей — N_X .

2. *Направления обучения* — иерархия множеств

$$S = \{s_{i_s} \mid i_s = \overline{1, N_S}\},$$

описывающих классификацию предлагаемых в сфере обучения услуг. На верхнем уровне иерархии находятся наиболее общие направления (математика, физика, экономика), по мере углубления — все более частные. Данные множества служат для представления интересов субъектов обучения.

Иерархичность с произвольным числом уровней на этом множестве и других множествах далее может быть введена с помощью отношения «родитель»:

- если s_{i_s} — объект верхнего уровня иерархии, то его родитель не определен;
- в противном случае родитель s_{i_s} — такой элемент $s_{j_s} \in S$, который находится на один уровень иерархии выше, и к его области относится s_{i_s} .

У одного элемента может быть несколько родителей (например, если направление обучения находится на стыке двух наук). Для каждого элемента s_{i_s} можно ввести множество его потомков $S^{(i_s)} = \{s_{k_s} \mid s_{i_s} \text{ — родитель } s_{k_s}\}$.

Научные направления связаны с областями знаний функцией нечеткой корреляции $\nu(s_{i_s}, x_n)$, где $s_{i_s} \in S$, $x_n \in X$, $\nu(s_{i_s}, x_n) \in [0, 1]$. Нулевое значение функции соответствует отсутствию взаимосвязи, единичное — полному соответствию направления обучения s_{i_s} области знаний x_n .

3. *Ключевые слова* — это термины, которые можно использовать для описания области знаний. Они также служат для представления интересов субъекта обучения. Множество ключевых слов вводится следующим образом:

$$K = \{k_{i_k} \mid i_k = \overline{1, N_K}\}.$$

Ключевые слова связаны с областями знаний функцией нечеткой корреляции $\nu(k_{i_k}, x_n)$, где $k_{i_k} \in K$, $x_n \in X$, $\nu(k_{i_k}, x_n) \in [0, 1]$.

4. *Учебные заведения* — иерархия множеств

$$E = \{e_{i_E} \mid i_E = \overline{1, N_E}\},$$

описывающих учебные заведения, их подразделения и специальности, по которым производится обучение. Эти множества служат для представления возможностей учебных заведений по предоставлению образовательных услуг.

Предлагаемые учебными заведениями услуги можно формализовать введением множества курсов

$$C = \{c_{i_c} \mid i_c = \overline{1, N_C}\}.$$

Каждый курс связан с теми учебными заведениями (их подразделениями), которые его предоставляют.

Курсы связаны с областями знаний функцией нечеткой корреляции $\nu(c_{i_c}, x_n)$, где $c_{i_c} \in C$, $x_n \in X$, $\nu(c_{i_c}, x_n) \in [0, 1]$.

Для курса c_{i_c} или специальности e_{i_e} может быть задана случайная величина *конкурс*, описывающая, например, *среднее число абитуриентов на место* и его дисперсию

$$\xi(c_{i_c}) \sim U(E_{i_c}^C, D_{i_c}^C). \quad (1)$$

Для курса также могут быть заданы *входные требования*, описывающие начальный уровень знаний и учитывающие отметки по родственным курсам. Например, можно задавать рекомендуемый уровень знаний по дру-

гим курсам, которыми должен обладать абитуриент для работы с данным курсом в виде матрицы

$$Q^R = \|q_{i_c, j_c}\|, \quad i_c, j_c = \overline{1, N_C}, \quad (2)$$

где q_{i_c, j_c} — минимальная оценка уровня знаний, полученная в результате прослушивания курса c_{j_c} , необходимая для успешного усвоения материала курса c_{i_c} .

Информация об оценках знаний, полученных по результатам обучения, хранится в Едином каталоге информации, например, в виде вектора Q^M для каждого слушателя

$$Q^M = \|m_{i_c}\|, \quad i_c = \overline{1, N_C}, \quad (3)$$

где m_{i_c} — оценка знаний слушателя по курсу c_{i_c} .

5. Позиции на рынке труда — иерархия множеств

$$P = \{p_{i_p} \mid i_p = \overline{1, N_P}\},$$

описывающих классификацию позиций на рынке труда (профессий), а также учитывающих спрос и предложения.

Эти позиции связаны с областями знаний функцией нечеткой корреляции $\nu(p_{i_p}, x_n)$, где $p_{i_p} \in P$, $x_n \in X$, $\nu(p_{i_p}, x_n) \in [0, 1]$.

Кроме того, может быть задана случайная величина *спрос на специалистов*, определяющая среднюю потребность в специалистах профессии p_{i_p} и ее дисперсию

$$\xi(p_{i_p}) \sim N(E_{i_p}^P, D_{i_p}^P). \quad (4)$$

6. *Показатели психологической совместимости* — некоторые дополнительные показатели, связанные с областями знаний (совместимость субъекта с конкретной областью знаний), а также с курсами (совместимость субъекта с реализацией курса) и определяемые психологами центра на собеседовании.

Рассмотрим задачу выбора варианта обучения на основе пожеланий субъекта обучения и спроса на рынке труда. В приведенных обозначениях математическая постановка задачи может быть представлена в следующем виде.

Заданы нечеткие множества $\{\langle s_{i_s}, \mu_S(s_{i_s}) \rangle\}$, $\{\langle k_{i_k}, \mu_K(k_{i_k}) \rangle\}$, $\{\langle p_{i_p}, \mu_P(p_{i_p}) \rangle\}$, функции нечеткой корреляции $\nu(s_{i_s}, x_n)$, $\nu(k_{i_k}, x_n)$, $\nu(p_{i_p}, x_n)$, $\nu(c_{i_c}, x_n)$. Известны распределения случайных величин $\xi(c_{i_c})$, $\xi(p_{i_p})$, матрица требований Q^R и информационный вектор Q^M .

Необходимо найти множество компромиссных вариантов обучения $\{c_m, \mu_C(c_m) \mid c_m \in C\}$ и определить профайл студента $\{x_n, \mu_X(x_n)\}$.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

1. Выбор областей знаний в соответствии с потребностями субъекта.

$$\begin{aligned} \mu_1(x_n) = & \rho_s \sum_{i_s=1}^{N_s} v(x_n, s_{i_s}) \mu_S(s_{i_s}) + \rho_k \sum_{i_k=1}^{N_k} v(x_n, k_{i_k}) \mu_K(k_{i_k}) + \\ & + \rho_p \sum_{i_p=1}^{N_p} v(x_n, p_{i_p}) \mu_P(p_{i_p}) \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (5)$$

где функции принадлежности пожеланиям абитуриента и веса критериев учета соответствия обозначены как $\mu_S(s_{i_s})$ и ρ_s — для направленности обучения; $\mu_K(k_{i_k})$ и ρ_k — для ключевых слов; $\mu_P(p_{i_p})$ и ρ_p — для позиций на рынке труда. При этом выполнено условие нормировки

$$\rho_s + \rho_k + \rho_p = 1.$$

2. Учет перспективности позиции на рынке труда в соответствии со спросом на профессии.

Перспективность позиции определяется, в первую очередь, математическим ожиданием спроса на специалистов данной профессии. Более перспективной считается позиция, неопределенность спроса (выражаемая дисперсией случайной величины) для которой меньше

$$\mu_2(x_n) = \mu_1(x_n) \sum_{i_p=1}^{N_p} v(x_n, p_{i_p}) \left[1 - \rho_d \exp \left\{ - \frac{E_{i_p}^P}{1 + D_{i_p}^P} \right\} \right] \rightarrow \max, \quad (6)$$

где $\mu_1(x_n)$ — значение функции принадлежности, вычисленное по формуле (3); $E_{i_p}^P, D_{i_p}^P$ — параметры случайной величины (4); ρ_d — вес критерия учета спроса на специалистов выбранной профессии.

Если же такая информация задана не по всем профессиям, можно ввести в формулу (6) дополнительный штрафной коэффициент (7), который будет понижать вес тех областей, информация по которым недостаточна. Он должен варьироваться от $1 - \rho_d$ для случая полного отсутствия информации по области x_n , до 1 — для случая максимально доступной информации.

$$K_2(x_n) = (1 - \rho_d) + \rho_d \alpha^{-(N_p^* - N_p(x_n))}, \quad (7)$$

где $N_p(x_n)$ — число определенных для позиции p_i параметров $E_{i_6}^P, D_{i_6}^P$, $N_p^* = \max_{x_n} N_p(x_n)$; α — весовой коэффициент, показывающий, насколько

резко будет уменьшаться значимость данной области при недостатке информации. Значение этого коэффициента определяется эмпирически по степени полноты описания позиций на рынке труда.

3. Выбор курса в соответствии с областями знаний.

$$\mu_3(c_m) = \sum_{n=1}^{N_c} v(x_n, c_m) \mu_X(x_n) \rightarrow \max, \quad (8)$$

где $\mu_X(x_n) = \mu_2(x_n)$ — функция принадлежности, описывающая соответствие области знаний x_n потребностям субъекта обучения, рассчитанная по формуле (6).

4. Корректировка предпочтительности курса в соответствии с конкурсом и входными требованиями.

$$\mu_C(c_m) = \mu_4(c_m) = \mu_3(c_m) \left[1 - \rho_c \exp \left\{ -\frac{1}{1 + \phi(c_m)} \cdot \frac{E_m^C}{1 + D_m^C} \right\} \right] \rightarrow \max, \quad (9)$$

где $\mu_3(c_m)$ — значение функции принадлежности, вычисленное по формуле (8); E_m^C, D_m^C — параметры случайной величины (1), заданные для $c_m \in C$; $\phi(c_m)$ — некоторая штрафная функция за несоответствие входным требованиям.

Значение этой функции должно быть нулевым при соответствии требованиям и возрастать при увеличении рассогласования между имеющимся и требуемым уровнями знаний. Например, можно задавать ее в виде

$$\phi(c_m) = \left[\sum_{i: m_i < q_{i,m}} (q_{i,m} - m_i)^2 \right]^{1/2}, \quad (10)$$

где $q_{i,m}$ — элемент матрицы Q^R (2), а m_i — элемент вектора Q^M (3).

Нахождение компромиссных вариантов обучения по специальностям $\{e_k, \mu_E(e_k) | e_k \in E\}$ производится аналогично, только на шагах 3–4 вместо формул (8), (9) используются соответствующие им формулы (11), (12).

$$\mu_3(e_k) = \sum_{n=1}^{N_E} v(x_n, e_k) \mu_X(x_n) \rightarrow \max, \quad (11)$$

$$\mu_E(e_k) = \mu_4(e_k) = \mu_3(e_k) \left[1 - \rho_c \exp \left\{ -\frac{1}{1 + \phi(e_k)} \cdot \frac{E_k^C}{1 + D_k^C} \right\} \right] \rightarrow \max. \quad (12)$$

Поскольку реализация программного комплекса предусматривает удаленный доступ к данным, то важным ограничением является объем данных, используемых для расчета на каждом шаге алгоритма. Для рационального использования вычислительных ресурсов и минимизации сетевого трафика можно отбирать на каждом шаге не все функции принадлежности, а лишь заданное число наилучших. Другой вариант — задание порога отбора на каждом шаге с его динамическим изменением при нахождении слишком большого или слишком малого числа подходящих значений.

Задание входных данных для решения задачи осуществляется в следующем порядке:

- функции $v(s_{i_s}, x_n)$ и $v(k_{i_k}, x_n)$ — работниками центра ориентации на основании выбранных множеств X , S и K ;
- принадлежность курсов специальностям обучения, учебным заведениям и их подразделениям — работниками соответствующих учебных заведений;
- функция $v(c_{i_c}, x_n)$ — разработчиком (автором) курса на основании множества X ;
- функция $v(p_{i_p}, x_n)$ — работниками центра и/или специалистами в области рынка труда на основании множества X и профессиональных требований;
- матрица Q^R — разработчиком (автором) курса;
- параметры случайной величины $\xi(c_{i_c})$ — работниками учебного заведения;
- параметры случайной величины $\xi(p_{i_p})$ — специалистами в области рынка труда.

В результате работы алгоритма получают следующие выходные данные:

- рекомендуемые для прохождения обучения курсы $\{c_m, \mu_C(c_m) | c_m \in C\}$ или специальности $\{e_k, \mu_E(e_k) | e_k \in E\}$;
- профайл студента $\{x_n, \mu_X(x_n)\}$.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Учитывая специфику системы образования, разработанная программная реализация приведенной схемы обеспечивает: доступность широкому кругу пользователей; возможность совместной работы одновременно большого числа пользователей; наличие интерфейсов, позволяющих работать с системой различным классам пользователей (субъектам обучения, работникам учебных заведений и т.п.). Отвечая реалиям современного состояния информационных технологий, программная система должна функционировать в сети Интернет, т.е. соответствовать концепции открытых систем (ISO/OSI) и работать поверх протоколов TCP/IP.

Для информационного обеспечения системы используется банк данных под управлением СУБД MySQL. Этот выбор обусловлен наличием версий данной СУБД, совместимых со многими операционными системами, высокой производительностью при обеспечении достаточной в данном случае функциональности и надежности. MySQL соответствует концепции ISO/OSI и позволяет осуществлять доступ к серверу БД по протоколам поверх TCP/IP.

В качестве платформы разработки выбрана Java с базовой системой классов AWT, что позволяет сочетать доступность программного продукта широкому кругу пользователей (программа в виде Java-аплета доступна непосредственно из Интернет-браузера), независимость от аппаратной платформы и операционной системы, возможность создания удобного графиче-

ского интерфейса и распределения части вычислительной нагрузки (большая часть вычислений производится на клиенте, а не на сервере). Выбор системы классов AWT, а не более новой системы Swing, обусловлен ее более широкой распространенностью.

Программный комплекс состоит из трех частей — базы данных, интерфейса задания входных данных учебными заведениями и агентами рынка труда, интерфейса субъекта обучения и выполнения расчета. Оба программных модуля реализованы как в виде Java-апплетов, которые выполняются в контексте Интернет-браузера, так и в виде самостоятельного Java-приложения, которое выполняется виртуальной машиной Java.

Интерфейс задания входных данных позволяет представителям учебных заведений задавать объекты множеств E , C ; значения функции $\nu(c_{i_c}, x_n)$; матрицу Q^R , параметры случайной величины $\xi(c_{i_c})$. Агенты рынка труда могут задавать объекты множества P , значения функции $\nu(p_{i_p}, x_n)$ и параметры случайной величины $\xi(p_{i_p})$. Также интерфейс позволяет управлять объектами множеств X , S , K ; задавать значения функций $\nu(s_{i_s}, x_n)$ и $\nu(k_{i_k}, x_n)$. Программа имеет модульную структуру, что существенно для эффективного разделения доступа и контроля прав пользователей при просмотре и изменении информации.

Интерфейс субъекта обучения дает возможность описывать его потребности в области обучения путем задания нечетких множеств $\{s_{i_s}, \mu_S(s_{i_s})\}$, $\{k_{i_k}, \mu_K(k_{i_k})\}$, $\{p_{i_p}, \mu_P(p_{i_p})\}$. Пользователю необходимо выбрать нужный ему объект из списка или дерева информации и задать степень его предпочтения (очень большая, большая, средняя, малая, очень малая). Субъект также может просматривать и изменять выбранные значения, задавать значения весовых коэффициентов ρ_s , ρ_k , ρ_p и ρ_d . В настоящее время реализованы два метода расчета варианта обучения: по курсам и специальностям. После выполнения расчетов выводится отсортированный список рекомендуемых вариантов обучения. По каждому из них можно получить исчерпывающую информацию как о предлагаемой услуге, так и об учебных заведениях, которые ее предоставляют. Также имеется возможность просмотреть сгенерированный профиль студента.

Таким образом, на базе системной методологии и разработанной схемы информационного взаимодействия в дистанционном образовании предложена формализация, построена математическая модель и разработан алгоритм решения задачи выбора стратегии обучения и согласования деятельности субъектов на основе рационального компромисса целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Згуровский М.З. Развитие системы дистанционного образования в Украине // Higher Education Open and Distance Learning Knowledge Base for Decision-Makers. Selected Materials of the Meeting of the IITE Focal Points in the CIS and Baltic Countries. — Kiev: IITE, 2003. — P. 9–17.

2. *Rossmann Mark H.* Successful Online Teaching Using an Asynchronous Learner Discussion Forum // *Journal of Asynchronous Learning Networks*. — **3**, Issue 2, November 1999. — P. 91–97.
3. *Distance Education for the Information Society: policies, pedagogy and professional development. Analytical Survey*. — М.: ИТЕ, UNESCO, 2000. — 94 p.
4. *Informatics for Primary Education. Recommendations*. — М.: ИТЕ, 2000. — 80 p.
5. *Анохин П.К.* Философские аспекты теории функциональной системы. Избранные труды. — М.: Наука, 1978. — 400 с.
6. *Панкратова Н.Д., Хохлов В.Ю.* Построение модели дистанционного образования на основе системной методологии // *Системні дослідження та інформаційні технології*. — 2002. — №3. — С. 85–98.
7. *Панкратова Н.Д.* Проблеми формування ринку наукоємної продукції // *Утвердження інноваційної моделі розвитку економіки України*. — Київ: НТУУ «КПІ», 2003. — С. 337–346.
8. *Pankratova N., Khokhlov V.* Development of the Distance Education on the System Methodology Basis // *Proceedings of LEARNTEC 2002*. — Karlsruhe, 2002. — P. 275–284.
9. *Shawki Tarek G.* Towards a Technology-Mediated Education System. Report for the International Expert Meeting. March 1–4, 2000. Minsk–Belarus. — P. 10–11.

Поступила 3.09.2003