

## О МОДЕЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА ЗНАНИЙ

© 2004 М. З. Берколайко, И. Б. Руссман

*Воронежский государственный университет*

### 1. Введение

Наступление эпохи экономики знаний осознается практически всеми. При этом активно обсуждаются как самые общие проблемы, например специфика спроса, предложения, стоимости и т.п. [1, 2], так и совсем частные аспекты наукометрии [3].

Показательна в этом смысле, состоявшаяся в Объединенном институте ядерных исследований дискуссия, посвященная, в основном страновым особенностям производства знаний [4].

Понятно, что если мы говорим о производстве знаний именно как о производстве, т.е. о переработке некоторых первичных ресурсов в конечный продукт, то при этом целесообразно использовать обычные понятия капитала, труда, производственной функции и т.п., но одновременно необходимо и выявлять их специфику.

Две характерные особенности производства знаний в сравнении с производством вещей, услуг, энергии и информации состоят, на наш взгляд, в следующем:

– знания — это продукт переработки некоторых ресурсов, имеющий самостоятельное значение, и, вместе с тем, возможная основа для создания новых производств, то есть производство знаний можно условно назвать «производством производств». Эта двойственность, в частности, отражает разницу между теоретическим и прикладным знанием, которая, что характерно для эпохи экономики знаний, стремительно нивелируется;

– все другие продукты, являющиеся результатом перечисленных выше производств, характеризуются как качеством, так и количеством, а знание, если отвлечься от количества страниц или знаков, с помощью которых оно изложено, определяется лишь качеством. Таким образом, описывая про-

изводство знаний, мы должны оперировать понятиями, отражающими соотношения между качеством и количеством используемых ресурсов и качеством планируемого результата.

Говоря о производстве знаний как о «производстве производств», мы имеем в виду не выпуск полуфабрикатов (подобно цепочке «блок цилиндров → двигатель → автомобиль → транспортные услуги → ...»), а тот факт, что зачастую новые знания порождает принципиально новый тип производимых продуктов, которые, в свою очередь, принципиально меняют структуру потребностей, спроса и даже геостратегические реалии. Самый свежий пример это нанотехнологии, базирующиеся на выдающихся достижениях физики твердого тела, биофизики, биохимии и т.п.

Целью настоящей статьи является доведенное до уровня оптимизационных моделей описание: а) производства такого специфического продукта, которым является знание; б) процесса перехода от производства фундаментальных (теоретических) знаний к производству знаний, на основе которых возникают новые технологии.

Для того, чтобы наполнить конкретным содержанием понятийный и инструментальный аппарат, в тексте статьи достаточно часто используются как примеры из истории науки, так и ссылки на ее современные достижения. К сожалению, пока никакими количественными оценками мы не располагаем, находясь лишь на стадии отбора и анализа необходимой для строгих расчетов информации. Однако, несмотря на то, что статья носит теоретический характер, мы получаем достаточно убедительные, на наш взгляд, подтверждения адекватности приводимых моделей, по крайней мере, на уровне примеров, ассоциаций и сравнений.

Мы выражаем искреннюю признательность чл.-корр. РАН Г. Б. Клейнеру за то, что он привлек наше внимание к необходимости построения моделей производства знаний и за полезные обсуждения полученных результатов.

## 2. Базовые понятия

Приводимые определения ни в коем случае не претендуют на законченность и в экономической теории могут быть уточнены и дополнены.

**Определение 1.** Под знанием понимается научное (научно-техническое) знание, то есть содержательно новая информация, встроенная в общую систему научных представлений, воспроизводимая и оформленная в виде, допускающем верификацию, распространение и использование.

**Определение 2.** Под качеством научного знания (научного результата) мы будем понимать совокупность сущностных свойств (атрибутов), описываемых в количественных шкалах и/или лингвистически, которые:

- показывают взаимосвязь нового результата с имеющимся;
- показывают, насколько новый результат превышает уровень результатов, полученных ранее;
- показывают, насколько оригинален, экономичен, неожидан путь достижения нового результата.

**Комментарий.** Проиллюстрируем сказанное на нескольких простых примерах.

Пусть в проблеме удержания плазмы нам удалось шагнуть от долей секунды к секунде. Первые два требования к качеству результата здесь абсолютно наглядны. Здесь же очевидны и способы оценивания экономичности и степень оригинальности технического решения.

Другой пример относится к математике. Какие количественные характеристики содержатся в сообщении: «получено новое, оригинальное, более короткое доказательство великой теоремы Ферма»? Специалисты скажут, что прежнее доказательство использовало методы алгебраической геометрии, а новое опирается, например, на эргодические теоремы теории линейных операторов\*. Следовательно

\* Разумеется, никакой информацией о таком доказательстве мы не располагаем.

но, это доказательство оригинально. Отметим, что оригинально лишь для немногих математиков, хорошо знающих обе предметные области. Остальные всецело доверяют квалифицированным экспертным оценкам, сформулированным лингвистически.

Подробного обсуждения заслуживает и понятие «более короткого» доказательства — здесь уже присутствует количественная оценка. Например, старое доказательство занимало 150 страниц журнального текста, а новое только 96, но при этом следует подсчитать количество выражений «очевидно» и «легко видеть» в первом и втором доказательствах.

Таким образом, второй пример целиком опирается на оценки, общепринятые в достаточно узкой профессиональной среде. Заметим, что подобные оценки могут принять и количественную форму, все равно оставаясь экспертными.

Поскольку мы рассматриваем производство знаний (научно-технических результатов), то, как всякое производство, оно определяется целью и перечнем необходимых ресурсов для ее достижения.

**Определение 3.** Описание цели и/или описание ресурсов мы будем называть нечетким, если в нем присутствуют лингвистические переменные.

**Комментарий.** Один из возможных способов измерения нечеткости будет приведен в следующем параграфе.

**Определение 4.** Процесс производства знаний мы будем называть производством в условиях максимальной нечеткости ( $ПН_{max}$ ), если нечеткость присутствует в описании цели, производством в условиях минимальной нечеткости, если и в описании цели, и в описании ресурсов нечеткость отсутствует ( $ПН_{min}$ ).

**Комментарий 1.** Отметим, что  $ПН_{max}$  и  $ПН_{min}$  описывают «крайние» ситуации. Так, в положении  $ПН_{max}$  может оказаться и цель, описываемая тремя лингвистическими переменными, и цель, в описании которой фигурирует лишь одна такая переменная.

Что же касается  $ПН_{min}$ , то чаще всего требования к ресурсам задаются в виде неравенств (например, давление должно превышать 1000 атмосфер), но при этом, как правило, понимается, что если «за те же

деньги» удастся получить 1010 атмосфер, то это лучше, чем 999, хотя и последнее тоже приемлемо. Таким образом, невозможно до конца освободиться от лингвистических оценок типа: «лучше», «надежнее», «стабильнее» и т.д.

*Комментарий 2.* Приведем пример, иллюстрирующий переход от одной крайней точки к другой.

В первой четверти двадцатого века Радон опубликовал работу, посвященную некоторому классу интегральных преобразований. Она долгие годы оставалась незамеченной даже в среде математиков, хотя имя автора стало хорошо известно в связи с другими исследованиями. Лишь в конце двадцатого века обнаружилось, что эти незамеченные результаты (преобразование Радона) являются основой для компьютерной томографии.

Всестороннему изучению преобразования Радона затем была посвящены тысячи работ и значительное количество результатов в виде программного обеспечения стало капитализированной интеллектуальной собственностью ведущих производителей медицинского оборудования.

Этот пример демонстрирует смещение процесса производства знаний от  $ПН_{\max}$  к  $ПН_{\min}$ .

**Определение 5.** Назовем сосредоточенной капитализацией знания (СКЗ) либо оцененную экспертами стоимость этого знания, фигурирующего в виде нематериального актива в балансе юридического лица (лиц), либо оценочную стоимость интеллектуальной собственности одного или нескольких физических лиц.

Распределенной капитализацией знания (РКЗ) назовем сумму приходящихся на этот интеллектуальный продукт долей в общей стоимости произведенных на его основе товаров, услуг и т.п.

*Комментарий.* Очевидно, что в этом определении мы пытались описать капитализацию знания, оформленного в виде патента, ноу-хау, лицензии.

Например, запатентованный принцип телефонной связи, предложенный Беллом, мог бы рассматриваться как нематериальный актив его компании — и это была бы СКЗ. Однако телефонные аппараты произ-

водили во многих странах мира, и в стоимости каждой единицы содержалась доля, приходящаяся на стоимость патента. Сумма этих долей и есть РКЗ. После окончания срока действия патента принцип телефонной связи стал частью общечеловеческих знаний, за обладание и пользование которыми платить уже не надо; стал, своего рода, бесплатным ресурсом, таким же, каким (пока) является воздух.

Означает ли это, что знание — принцип телефонной связи — утратило капитализацию? Мы полагаем, что нет. Его капитализация, поддававшаяся более или менее строгим оценкам, перешла в капитализацию другого рода, которая измеряется лишь в виде сравнительных (лингвистических) характеристик.

**Определение 6.** Под виртуальной капитализацией знания (ВКЗ) мы будем понимать оценку вклада теоретического знания, осуществляемую лишь с помощью лингвистических переменных, характеризующих экспертное мнение.

*Комментарий 1.* Понятно, что стоимость знания, его капитализация в значительной степени определяется спросом. Характеристикам спроса на знания большое место уделено в работе [1]. Мы же здесь попытаемся бегло охарактеризовать источники возникновения (стимулы) такого спроса.

В отличие от спроса на повседневные товары и услуги, которые отвечают потребностям индивидуумов, спрос на знания отвечает, в большинстве случаев, потребностям всего человечества или очень значительных его групп. С этой точки зрения научно-технический прогресс есть реакция на вызовы: энергетические, продовольственные, экологические, военные, биологические и т.п. Однако здесь возникает вопрос о смысле и роли весьма затратных теоретических исследований, например, в астрофизике. На самом деле, и это есть ответ на постоянный вызов, — не зная источник возникновения будущих вызовов, мы допускаем слишком большую неопределенность будущего.

*Комментарий 2.* Весьма интересным является вопрос о переходе СКЗ и РКЗ в ВКЗ и наоборот. Таких примеров много. Тот же принцип телефонии обрел ВКЗ, потеряв как

СКЗ, так и РКЗ. Обратный переход можно проиллюстрировать на примере уравнений Максвелла.

Появившись, они первоначально представляли собой чистое теоретическое знание и рассматривались некоторыми физиками как всего лишь интересное упражнение в векторном анализе. Таким образом, даже ВКЗ уравнений имела весьма туманные перспективы. Ситуация начала меняться, когда Герц получил экспериментальное подтверждение существования электромагнитных волн (понятно, что любой новый вид волновых процессов имеет высокую ВКЗ).

К настоящему времени уже можно утверждать, что ВКЗ уравнений Максвелла перешло в столь большую РКЗ, что ее невозможно оценить даже приблизительно. Если же эту гигантскую капитализацию рассматривать как стоимость уравнений Максвелла, то вполне можно согласиться с мнением ректора МГУ, академика В. Садовниченко, что эта стоимость значительно больше всех затрат на науку за все время ее существования.

В следующем разделе мы попытаемся придать формальный смысл переходам такого вида.

*Комментарий 3.* Понятно, что ВКЗ лишь в очень редких случаях можно даже приблизительно оценить в деньгах. Однако весьма часто ВКЗ определяется в терминах престижа, ценности бренда, соображениями идеологии и т.п.

### 3. Математический аппарат

Ранее было сказано, что, в отличие от производства других продуктов, производство знаний есть производство качества. Вне зависимости от того, какой продукт производится, его качеству (т.е. к качеству результата) предъявляются требования, которые в свою очередь индуцируют требования к используемым ресурсам. Здесь и далее количественное выражение требований к качеству результата мы будем обозначать через  $E$ , а количественные выражения требований к  $i$ -му ресурсу через  $\varepsilon_i$ .

В реальности качество ресурсов никогда не бывает в точности равно  $\varepsilon_i$  и если это реальное качество, обозначаемое для  $i$ -го ресурса через  $\mu_i$  меньше  $\varepsilon_i$ , то ресурс не

может быть использован без уменьшения требований к результату  $E$ , если же  $\mu_i$  больше  $\varepsilon_i$ , то развитый в [5] аппарат позволяет формализовать простое житейское соображение о том, что удовлетворение требований к результату тем легче, чем больше величина  $\mu_i - \varepsilon_i \geq 0$  (в дальнейшем будем предполагать, что  $\mu_i \in (0, 1]$ ,  $\varepsilon_i \in [0, 1)$ ). Для этого вводится понятие трудности достижения цели по  $i$ -му ресурсу (далее просто «трудность»):

$$d_i = \frac{\varepsilon_i(1 - \mu_i)}{\mu_i(1 - \varepsilon_i)}, \quad (1)$$

при этом  $d_i \in [0, 1]$  для всех  $\mu_i \geq \varepsilon_i$  и монотонно убывает при увеличении  $\mu_i - \varepsilon_i$ .

В [5], [6] построена алгебра трудностей, в которой роль сложения (агрегирования) играет свертка:

$$d^{def} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_i). \quad (2)$$

Эту величину естественно называть трудностью по совокупности ресурсов. Связь алгебры трудностей с алгеброй вероятностей событий рассмотрена в [5], а с алгеброй нечетких соотношений в [6]. В работе [7] описаны применения этого аппарата к задачам формирования и управления портфелем активов.

Очевидно, что  $d_i$  при фиксированном значении разности  $\mu_i - \varepsilon_i$  зависит еще и от расположения  $\mu_i$  и  $\varepsilon_i$ . Для уточнения этой зависимости введем обозначения (индекс  $i$  временно опускаем)

$$\alpha = M - E, \quad \beta = \frac{E + M}{2}$$

или

$$E = \beta - \frac{\alpha}{2}, \quad M = \beta + \frac{\alpha}{2},$$

тогда

$$d = \frac{\left(\beta - \frac{\alpha}{2}\right)\left(1 - \beta - \frac{\alpha}{2}\right)}{\left(\beta + \frac{\alpha}{2}\right)\left(1 - \beta + \frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (3)$$

Легко видеть, что для любого фиксированного  $\alpha \in [0, 1]$  величина  $d$  принимает максимальное значение при  $\beta = 1/2$ . Это



означает, что при фиксированной разности  $M - E$  величина  $d$  максимальна при  $M = 1 - E$ . Этот факт можно объяснить, исходя из вероятностного смысла величин  $E$ ,  $M$  и  $d$  [5, 6]. Очевидно, что с одной стороны  $E$  — это нижняя граница всех значений качества, при которых ресурс является допустимым (уровень отсечения), а с другой стороны, даже существенное превышение качества ресурса относительно этого уровня не является гарантией достижения результата. Если приписать  $d$  смысл значения вероятности того, что полученный результат не удовлетворяет требованиям при том, что качество ресурса превышает пороговое значение, то  $M$  и  $E$  выступают:

—  $E$  — как вероятность того, что ресурс (который априори представлялся нам удовлетворительным) оказался в реальности недостаточно хорош для достижения результата;

—  $M$  — как вероятность того, что при условии неполучения результата причина заключается именно в неудовлетворительности ресурса.

Очевидно, что при такой трактовке равенство  $M = 1 - E$  соответствует ситуации максимальной неопределенности, а следовательно, и максимальной трудности  $d$ .

Известно, какую существенную роль играют в экономике товаров и услуг производственные функции. В экономике знаний, как мы уже неоднократно упоминали, продуктом являются новые знания, принципиально обладающие лишь качественными характеристиками. Отсюда следует, что аналоги производственных функций, описывающие подобные процессы, должны обладать специфическими свойствами.

Перейдем к конкретным описаниям. Пусть  $M \in (0, 1]$  — оценка реального качества результата, которое ранее мы характеризовали лишь с помощью требования  $E \in [0, 1)$  (необходимость рассмотрения еще и реального качества  $M$  обусловлена, в частности, тем, что ни один продукт, произведенный в экономике знаний, не является окончательным. Раньше или позже он будет выступать как промежуточный ресурс для получения другого нового знания).

Теперь мы можем дать определение аналога производственной функции для случая производства знаний.

**Определение 7.** Квалитативной функцией, связывающей качество результата с качествами  $\mu_1, \dots, \mu_n$  ресурсов, привлеченных для производства этого результата, называется функция вида

$$M = f(\mu_1, \dots, \mu_n), \quad (4)$$

удовлетворяющая условиям:

1.  $f$  — не убывает по каждой переменной,
2. Если  $\exists i : \mu_i = \varepsilon_i$ , то  $M = E$ .

В некоторых случаях условие 2 заменяется на менее жесткое:

- 2'. Если  $\forall i : \mu_i = \varepsilon_i$ , то  $M = E$ .

В требованиях 2 и 2' изначально заключена некоторая противоречивость. Здравый смысл подсказывает, что набор качеств ресурсов более или менее однозначно порождает качество результата. И в этом смысле зависимость, при которой  $\mu_1, \dots, \mu_n$  выступают как аргументы, а  $M$  как значение функции, вполне правомерна, но, с другой стороны, тот же здравый смысл говорит о том, что требования к ресурсам порождены требованием к результату. Исходя из этого, естественнее было бы рассматривать совокупность зависимостей, в которых  $E$  выступало как аргумент, а  $\varepsilon_i$  были бы функциями, и требования 2 и 2' становились бы малосодержательными.

Тем не менее, в рассуждениях о том, что есть аргумент, а что функция, определяющим является соображение об отсутствии однозначной зависимости, при которых фиксированное значение  $E_0$  порождало бы единственную точку  $(\varepsilon_1^0, \dots, \varepsilon_n^0)$ . Следует помнить, что  $\varepsilon_i$  выступают как нижние границы качеств, допустимых для получения результата; что высокие требования к одному ресурсу (например, квалификации персонала) могут компенсировать недостаточное качество других (например, качество оборудования). Практически нет ситуаций, при которых ресурсы были бы столь жестко зависимы, что существовал бы набор функций таких, что

$$\varepsilon_1 = f_1(E), \quad \varepsilon_2 = f_2(E) \Rightarrow \varepsilon_2 = f_1(f_2^{-1}(\varepsilon_2)).$$

Именно поэтому соотношение 2 или 2' представляются нам наиболее разумным компромиссом между двумя противоречивыми процессами: качества на входе порождают качество на выходе, требование на выходе индуцирует требование на входе.

Очевидно, что в отличие от традиционно рассматриваемых производственных функций квалитативная функция не обладает никакой степенью однородности. Действительно, никакое пропорциональное изменение качества ресурсов не приводит, в общем случае, к пропорциональному изменению качества результата.

Примером квалитативной функции, удовлетворяющей условиям 1 и 2, служит функция

$$M = E + \prod_{i=1}^n (\mu_i - \varepsilon_i)^{\alpha_i}, \quad \alpha_i \geq 0.$$

Примером же квалитативной функции, удовлетворяющей условиям 1, 2', служит функция:

$$M = E + \sum_{i=1}^n (\mu_i - \varepsilon_i)^{\alpha_i}, \quad \alpha_i \geq 0.$$

Коль скоро к результату (новому знанию) мы не только предъявляем теперь требование  $E$ , но и приписываем ему планируемое качество  $M$ , то имеет смысл ввести, подобно (1), и трудность по результату:

$$D = (E(1 - M)) / (M(1 - E)). \quad (5)$$

Такую величину имеет смысл рассматривать еще и потому, что любой результат в производстве знаний со временем становится ресурсом, а стало быть,  $D$  в дальнейшем будет выступать как трудность по этому ресурсу.

Из (4), (5) вытекает, что

$$D = F(\mu_1, \dots, \mu_n; \varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n). \quad (6)$$

Возникает естественный вопрос, в каких случаях соотношение (5) может быть представлено в виде:

$$D = g(d_1, \dots, d_n), \quad (7)$$

где  $g$  — монотонно неубывающая функция по каждому аргументу. Здесь мы приведем лишь простейший ответ на этот вопрос. Запишем соотношение (1) в виде

$$d_i = \frac{\tilde{\mu}_i}{\tilde{\varepsilon}_i},$$

где  $\tilde{\mu}_i = \frac{1 - \mu_i}{\mu_i}$ ,  $\tilde{\varepsilon}_i = \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i}$ .

Рассмотрим произвольную монотонную функцию  $h = h(x_1, \dots, x_n)$ , определенную на единичном кубе и принимающую значения

в  $[0,1]$ . Если  $\tilde{M} = \tilde{E}h\left(\frac{\tilde{\mu}_1}{\tilde{\varepsilon}_1}, \dots, \frac{\tilde{\mu}_n}{\tilde{\varepsilon}_n}\right)$ , то очевидным образом выполняется соотношение (7).

Так же, как и в случае квалитативной функции вида (4), не просматривается никаких рациональных соображений, по которым квалитативная функция вида (7) обрела бы какой-либо однородностью. Однако соотношение (7) может быть преобразовано в соотношение вида:

$$J(D) = G(J(d_1), \dots, J(d_n)), \quad (8)$$

где  $J(x) = \ln \frac{1}{1-x}$ ,  $x \in [0,1)$ , а к функции  $G$  вполне обоснованно можно предъявлять требования однородности первой степени.

Действительно, выражение  $J(d)$ , как показано в [5], может быть истолковано как количество информации, содержащейся в сообщении о достижении цели, то есть о преодолении трудности ( $d$  трактуется как вероятность недостижения цели). Тогда  $D$  можно понимать как вероятность недостижения цели, а  $J(D)$  — как количество информации в сообщении о том, что эта цель достигнута.

Таким образом, однородность функции  $G$  из (6) отражает тот факт, что количество итоговой информации изменяется пропорционально при пропорциональном изменении информационных количеств на входе.

Для оценивания степени нечеткости предлагается использовать аналог энтропии.

Рассмотрим некий ресурс, к которому выдвигается требование  $E$ . Естественной является ситуация, когда  $E$  есть нечеткая переменная, задаваемая набором значений  $E^1, E^2, \dots, E^k$  со значениями функции принадлежности  $(\lambda(E^1), \dots, \lambda(E^k))$ . Пронормируем естественным образом эти значения и перейдем таким образом к аналогам вероятностей для дискретной случайной величины  $(p(E^1), \dots, p(E^k))$ . Этому набору поставим в соответствие меру нечеткости

$$H(E) = -\frac{1}{\log k} \sum_{s=1}^k p(E^s) \log p(E^s). \quad (9)$$

Очевидно, что  $0 \leq H(E) \leq 1$ , причем

$H(E) = 1$  при  $p(E^s) = \frac{1}{k}$ ,  $H(E) = 0$ , если существует  $S_0$  такое, что  $p(E^{S_0}) = 1$ .

*Комментарий 1.* Переход к непрерывной нечеткой величине осуществляется стандартной процедурой замены сумм на интегралы.

*Комментарий 2.* Будем считать, что если в задании требования к результату или к ресурсу соответствующая величина  $H = 0$ , то ситуация становится четкой и даже если мы до того имели дело с лингвистической переменной, то теперь утверждаем, что перешли к количественной шкале. Такой подход позволяет отслеживать движение от  $PH_{\max}$  к  $PH_{\min}$  по убыванию соответствующих показателей нечеткости.

*Комментарий 3.* Уменьшение нечеткости не влечет за собой какое-либо определенное изменение трудности. В самом деле, сосредоточенность может возникнуть как на  $\min_S E^S$ , так и на  $\max_S E^S$ , или на любом промежуточном значении. Поскольку величина  $d$  монотонно убывает на  $E$ , то она при уменьшении нечеткости может измениться произвольным образом.

Следовательно, в моделях, описывающих производство знаний, трудность и нечеткость должны фигурировать как независимые факторы.

*Комментарий 4.* В дальнейшем мы ограничимся рассмотрением нечеткости лишь по требованиям, поскольку, как правило, выбор качества ресурса связан лишь с соображениями его стоимости, а, стало быть, в оптимизационных моделях качества могут выступать как четко заданные величины.

И, наконец, по аналогии с качественными функциями мы будем рассматривать функции нечеткости вида:

$$H(E) = R(H(E_1), \dots, H(E_n)). \quad (10)$$

#### 4. Модели

При рассмотрении моделей производства знаний мы выделяем два случая:

– планируемый в производстве результат (знание) является самоценным, т.е. все производство выглядит как переработка некоторых ресурсов (входов) ради получения единственного конечного продукта (выхода);

– производимые знания рассматриваются как промежуточный ресурс (новые технологии, ноу-хау), который будет использован на следующем этапе производства.

#### 4.1. Модель конечного продукта

Отправной точкой модели является пара  $(E, H_E)$ . При задании этих двух чисел может быть использована и оценка капитализации (в любой из трех форм — сосредоточенной, распределенной, виртуальной) и качественные и количественные характеристики ожидаемого результата. Качественной функцией для требований и функцией нечеткости (в предположении, что они априори известны) индуцируются требования к ресурсам на входе и степени их нечеткости. Далее, в соответствии с этими требованиями, мы должны подбирать конкретные ресурсы, желательно с наилучшими качествами. Подбор наилучших качеств позволяет минимизировать трудность достижения цели при использовании совокупности ресурсов на входе. Однако понятно, что за повышение качества ресурсов приходится платить, а мы предполагаем, что находимся в рамках бюджетных ограничений. Кроме того, заметим, что стремление к уменьшению нечеткости также требует дополнительных затрат. Учитывая все это, оптимизационную модель естественно записать в виде:

$$D = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - d_i) \rightarrow \min; \quad (11)$$

$$E = f(\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n); \quad (12)$$

$$H_E = g(H_{\varepsilon_1}, \dots, H_{\varepsilon_n}); \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n [\varphi_i(\mu_i) + \psi_i(H_{\varepsilon_i})] \leq S^0; \quad (14)$$

$$0 \leq \varepsilon_i < \mu_i \leq 1, \quad (15)$$

где  $\varphi_i(\mu_i)$  — функция затрат на достижение качества  $\mu_i$  по  $i$ -му ресурсу;  $\psi_i(H_{\varepsilon_i})$  — функция затрат на достижение нечеткости  $H_{\varepsilon_i}$  по требованию к  $i$ -му ресурсу;  $S_0$  — бюджетное ограничение.

Очевидно, что функция  $\varphi_i$  монотонно возрастает, а  $\psi_i$  — монотонно убывает.

*Комментарий 1.* Принципиально важно проследить, каким образом понятие капитализации, ее величина отражается в приведенной модели. Как уже было сказано, отправной точкой является задание двух величин  $E$  и  $H_E$ . Очевидно, что, задав  $E$  малым, мы сможем рассчитывать на высокое качество результата (т.е. на его высо-



кую будущую капитализацию) только за счет использования на входе ресурсов заведомо более высокого качества, нежели порожденные требованием  $E$  требования  $\varepsilon_i$ . Это приведет к возрастанию затрат и не впишется в бюджетное ограничение (14). Сказанное вполне соответствует житейскому принципу, что только высокие требования способны породить высокое качество. Бюджетные ограничения, конечно, можно пересматривать, но есть ли в этом смысл, если заниженное требование  $E$  означает и заведомо низкую будущую капитализацию (а ведь она должна быть по крайней мере больше затрат, выражаемых в (14) величиной  $S_0$ ).

Итак, имея в виду, что всякое производство стремится к высокой капитализации (сосредоточенной или распределенной) производимого продукта,  $E$  должна задаваться максимально большим, «на грани реальности».

Здесь уже активно вмешивается фактор нечеткости. Если нечеткость требования к результату имеет простейший интервальный характер и порождает интервальные нечеткости по ресурсам, то при достаточно больших длинах этих интервалов и достаточно высоких требованиях  $\varepsilon_i$  мы будем вынуждены пользоваться ресурсами очень высоких качеств  $\mu_i$ , что, в свою очередь, увеличивает затраты и не позволяет существенно уменьшать трудности  $d_i$ . Здесь по крайней мере утешает то, что малый интервал  $[\varepsilon_i, \mu_i]$  смещен к 1, а не расположен вблизи от 1/2 (см. свойства  $d$  в разделе 3). Стремление к уменьшению нечеткостей также приводит к увеличению затрат.

Таким образом, можно сделать вывод, что борьба за высокую капитализацию результата в классе уже имеющихся ресурсов резко сужает возможности оптимизации, описываемые приведенной моделью.

Мы приходим к неизбежности производства «прорывных» знаний, т.е. к использованию ресурсов совершенно другого вида. Такая возможность возникает уже как следствие появления нового теоретического знания, а оно обладает огромной виртуальной капитализацией (ВКЗ) и огромной СКЗ, если является собственностью одного юридического или физического лица.

*Комментарий 2.* Квалитативную функцию так же, как и производственную можно на-

ходить, обрабатывая статистические данные или используя для выражений типа (8) традиционные виды производственных функций. Гораздо сложнее, на наш взгляд, обстоит дело с функциями нечеткости. Здесь априорных соображений у нас пока нет; есть лишь убежденность в том, что появление в моделях подобных зависимостей необходимо хотя бы потому, что нечеткость в постановке цели может приводить к столь ошибочному представлению о требованиях  $\varepsilon_i$ , что результат может показаться недостижимым.

*Комментарий 3.* Нетрудно заметить, что модель (11)—(15) может рассматриваться и как многокритериальная. Дополнительным критерием может выступать, например, и сумма затрат в ограничении (14).

#### 4.2. Модель промежуточного продукта

Мы рассматриваем ситуацию, когда произведенные знания в форме технологий или ноу-хау участвуют в производстве товаров и услуг, причем естественно, что часть получаемой рыночной капитализации используется на совершенствование технологий за счет новых знаний.

Приводимая ниже модель фактически отражает взаимодействия СКЗ и ВКЗ с РКЗ и наоборот. Для упрощения используем традиционную форму модели Леонтьева (в отличие от предыдущей модели в ней не фигурируют в явном виде такие факторы как трудность, требования, качество и нечеткость):

$$\begin{cases} \bar{x} = \bar{x}^0 + A(\bar{y})\bar{x}; & (16) \\ \bar{y} = B(\bar{x})\bar{y}, & (17) \end{cases}$$

где  $\bar{x}$  — вектор капитализации множества произведенных товаров и услуг,  $\bar{x}^0$  — вектор той части капитализации, которая тратится на потребление,  $\bar{y}$  — вектор капитализации используемых видов знаний;  $A(\bar{y})$  — технологическая матрица, каждый элемент которой зависит от вектора используемых знаний,  $B(\bar{x})$  — «технологическая» матрица для производства знаний, каждый элемент которой зависит от доли капитализации товаров и услуг.

*Комментарий 1.* Вектор  $\bar{x}$  включает в себя РКЗ; вектор  $\bar{y}$  — это либо СКЗ, либо ВКЗ.



*Комментарий 2.* Отсутствие «вектора потребления» в равенстве (17) не случайно. Действительно, либо мы используем предыдущие знания, например таблицу умножения как бесплатный ресурс, либо их капитализация есть некоторая доля самого вектора  $\bar{y}$ .

*Комментарий 3.* Если существует такой ресурс, что его качество есть функция от некоторой специфической стоимости (например, октановое число бензина есть функция от стоимости переработки), то и трудность для него также есть функция этой стоимости. В векторе  $\bar{y}$  из (16)—(17) участвуют трудности по всем ресурсам и решением системы они определены. Это значит, что и все остальные трудности также могут быть выражены через упомянутую выше стоимость. Поэтому именно наличие балансовой модели (16)—(17) может сводить задачу производства абстрактных качеств к достаточно традиционному описанию производства стоимостей.

Из всего сказанного следует, что производство знаний можно не разделять на производство теоретических (фундаментальных) знаний и производство новых технологий, так как аппарат качественных функций и функций неопределенности позволяет описать оба случая единообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров, В.Л. Экономика знаний: уроки для России / В. Л. Макаров // Экономическая наука современной России, 2003. Экспресс-выпуск № 1(11). С. 5—30.
2. Глухов В.В. Экономика знаний. / В. В. Глухов, С. Б. Коробко, Т. В. Маринина. СПб. : Питер, 2003. 527 с.
3. Научно-технический потенциал: структура, динамика, эффективность / под ред. В. Е. Тожкаль, Д. М. Доброва. — Киев : Наукова думка, 1987.
4. Российский интеллектуальный Ренессанс// Знание-сила, 2004. № 5. С. 59—70.
5. Каплинский А.И. Моделирование и алгоритмизация слабоформализованных задач выбора наилучших вариантов систем / А. И. Каплинский, И. Б. Руссман, В. М. Умывакин. — Воронеж : Изд. ВГУ, 1991. 168 с.
6. Леденева Т.М. Моделирование процесса агрегирования информации в целенаправленных системах / Т. М. Леденева. — Воронеж : Изд. ВГУ, 1999.
7. Берколайко М.З. О некоторых методах формирования и управления портфелем активов / М. З. Берколайко, И. Б. Руссман // Экономическая наука современной России, 2004. № 1, 2.