

УДК 330.3 + 332.012 + 330.52  
JEL C67, E24, J24, O15

**А. О. Баранов**<sup>1,2</sup>, **В. Н. Павлов**<sup>2,3</sup>, **Ю. М. Слепенкова**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Новосибирский национальный исследовательский государственный университет  
ул. Пирогова, 1, Новосибирск, 630090, Россия

<sup>2</sup> Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН  
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, 195251, Россия

*baranov@ieie.nsc.ru, victor\_n\_pavlov@mail.ru, juliaslepenkova@yandex.com*

## **РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ МОДЕЛИ С БЛОКОМ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА**

Накопление человеческого капитала является важным фактором экономического роста. Включение человеческого капитала как фактора в макроэкономические модели, в том числе в межотраслевые, позволит принять во внимание не только количественную составляющую трудовых ресурсов, вовлеченных в производство, но и их качественную дифференциацию. Это позволит учесть (в дополнение к дифференциации трудовых ресурсов по уровню образования) влияние на производительность труда (а значит, и на валовый выпуск) фактора здоровья рабочей силы, воспитания и культуры, а также некоторых других элементов показателя «человеческий капитал». В работе представлено математическое описание расширенной динамической межотраслевой модели (ДММ) с включением блока человеческого капитала. Разработка модели ведется на основе ДММ системы КАМИН, разработанной в Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН и в Новосибирском государственном университете. Полученная модель может быть использована для анализа и прогнозирования развития экономики России.

*Ключевые слова:* межотраслевой анализ, динамическая межотраслевая модель, человеческий капитал, национальное богатство, экономика России.

### **Введение**

Развитие экономической теории в направлении анализа и оценки категории «человеческий капитал» началось во второй половине XX в. Причиной появления новой экономической категории стали структурные изменения в экономике, повлекшие за собой необходимость построения новых теорий и моделей, которые могли бы более эффективно использоваться для описания и анализа экономической действительности. Идеи о том, что человек и его мастерство могут рассматриваться как капитал, высказывались еще в XVII–XIX вв. в работах Уильяма Петти, Адама Смита, Леона Вальраса, Ирвинга Фишера и др. [1]. Основа теории человеческого капитала была разработана Теодором Шульцем и Гэри Беккером.

Т. Шульц считал человеческим капиталом «приобретенные человеком ценностные личностные качества, которые могут быть усилены соответствующими вложениями», рассматривая данное понятие как форму капитала, как воспроизводимое средство производства, а также как продукт инвестиций [2].

*Баранов А. О., Павлов В. Н., Слепенкова Ю. М. Разработка динамической межотраслевой модели с блоком человеческого капитала // Мир экономики и управления. 2017. Т. 17, № 1. С. 14–25.*

Г. Беккер, так же как и Шульц, предлагал анализировать человеческий капитал с помощью инвестиций. Он рассматривал человеческий капитал не только со стороны образования, отмечая важность инвестиций в здравоохранение, миграционные процессы и др.

Интерес к данной теме возрос в 1992 г., когда Г. Беккер получил Нобелевскую премию по экономике за работы по теории человеческого капитала. О значимости человеческого капитала для современной экономики говорили и отечественные экономисты; ими опубликован ряд работ, посвященных исследованию человеческого капитала, в том числе, и в России [1].

В настоящее время продолжается изучение различных аспектов данной категории: трактовка понятия «человеческий капитал», вопросы методов его учета и анализа. В литературе отмечается [3], что наиболее часто под человеческим капиталом подразумевается набор характеристик и умений, которые обеспечивают рост производительности труда рабочей силы.

Г. А. Хмелева разделяет подходы к определению человеческого капитала на четыре группы [4]:

- человеческий капитал как инвестиции (сторонники такого подхода – Т. Шульц, Г. Беккер и др.);
- как запас навыков, умений, способностей, который может приносить доход (Э. Доллан, Дж. Линдсей и др.);
- как совокупность активов (Х. Ксенофонта);
- как фактор производства (Ю. Корчагин, Д. Тимчишин и др.).

В соответствии с инвестициями в человеческий капитал можно выделить виды последнего: капитал здоровья, капитал образования, капитал культуры. Однако в целом структура человеческого капитала может определяться и другими элементами, например научным капиталом, капиталом миграции и др.

В текущей работе под *человеческим капиталом* будет пониматься совокупность знаний, навыков, способностей человека, формирующихся в результате инвестиций в образование, здравоохранение и культуру. Такое определение позволяет объединить подход к трактовке понятия «человеческий капитал» и как инвестиций, и как запаса навыков, знаний и т. п. Подход к оценке человеческого капитала со стороны расходов (инвестиций) представляется наиболее объективным и эффективным по сравнению с другими существующими методами оценки.

При разработке макроэкономических моделей представляется эффективным использовать и показатель «трудовые ресурсы», и показатель «человеческий капитал», поскольку оба они характеризуют важный фактор производства «труд» с разных сторон, а разные качественные и количественные характеристики данного фактора по-разному влияют на процесс воспроизводства валового выпуска в экономике.

### **Принципиальная схема воспроизводства национального богатства с учетом человеческого капитала**

Теоретической основой для построения динамической межотраслевой модели (ДММ) в системе КАМИН, разрабатываемой в Институте экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН и в Новосибирском государственном университете с конца 1970-х гг., является схема воспроизводства национального богатства во взаимосвязи с валовым выпуском. Первый вариант такой схемы был представлен в работе [5], где описан процесс воспроизводства национального богатства с учетом инвестиционного лага. В работе [6] принципиальная схема модифицирована в сторону включения в нее фонда охраны окружающей среды.

Вопрос включения в национальное богатство как природных ресурсов, так и человеческого капитала долгое время оставался дискуссионным. Расширительная концепция национального богатства и капитала окончательно сформировалась в зарубежной литературе в конце 50-х гг. XX в. В соответствии с ней знания, навыки, способности человека могут быть отнесены к особой форме капитала, поскольку они неотъемлемы от личности его носителя, способны воспроизводиться, обеспечивая получение более высокого дохода в будущем, но при

этом требуют дополнительных вложений для формирования и развития и могут накапливаться и формировать некоторого рода запас [1].

Человеческий капитал, играющий важную роль среди элементов национального богатства, был включен в его состав в числе последних. Значимость человеческого капитала в процессе воспроизводства национального богатства отмечается в исследованиях Всемирного Банка<sup>1</sup>. Трактовка расширительной концепции национального богатства, представленной Всемирным Банком, предполагает, что национальное богатство можно представить в виде совокупности воспроизводимого человеком природного и человеческого капиталов.

Для построения ДММ с блоком человеческого капитала была разработана схема воспроизводства национального богатства во взаимосвязи с использованным валовым выпуском с учетом фактора «человеческий капитал».

В принципиальной схеме, как и в самой модели, выделяется два подразделения производства. Концепция подразделений в сфере производства общественного продукта, разработанная К. Марксом [5], была адаптирована для СНГ в работе [8]. Так, к продукции первого подразделения помимо средств и предметов труда присоединяются промежуточные услуги. К продукции второго подразделения относятся потребительские товары и нематериальные услуги, включаемые в состав конечного потребления.

В схеме воспроизводства национального богатства с учетом человеческого капитала в целях менее громоздкого представления опущены блок охраны окружающей среды и инвестиционный лаг.

Начальный пункт в схеме (см. рисунок) – национальное богатство в стоимостном выражении на конец года  $t-1$ , предшествующего анализируемому. В его состав включены производственные и непроизводственные основные фонды, запасы оборотных фондов и резервы средств производства, природные ресурсы, запасы готовой продукции II подразделения, предметы длительного пользования, находящиеся в пользовании населения. Кроме того, выделена группа «Незавершенное строительство», куда входят незавершенные производственные и непроизводственные здания, сооружения, монтируемые машины и оборудование и т. п.

Блок человеческого капитала также вынесен отдельно. Он разделен на «готовый» на конец года  $t-1$  и «незавершенный» («продолжающие обучение / лечение и т. п.») человеческий капитал. Процесс воспроизводства человеческого капитала в некотором роде схож с процессом воспроизводства основного капитала. Предполагается, что существует некоторый лаг  $\theta$ , равный количеству лет обучения (9–11 лет школьного обучения, 4–6 и более лет обучения в высшем учебном заведении и т. п.). Поэтому в конце года  $t-1$  есть часть людей, начавших обучение в году  $t-1, t-2, t-3, \dots, t-\theta+2, t-\theta+1$ . Продолжение обучения данных категорий в год  $t$  и в последующие годы (в зависимости от оставшегося срока обучения) требуют дополнительных вложений.

Таким же образом определяется и процесс восстановления здоровья / лечения (человеческий капитал формируется за счет инвестиций в здравоохранение).

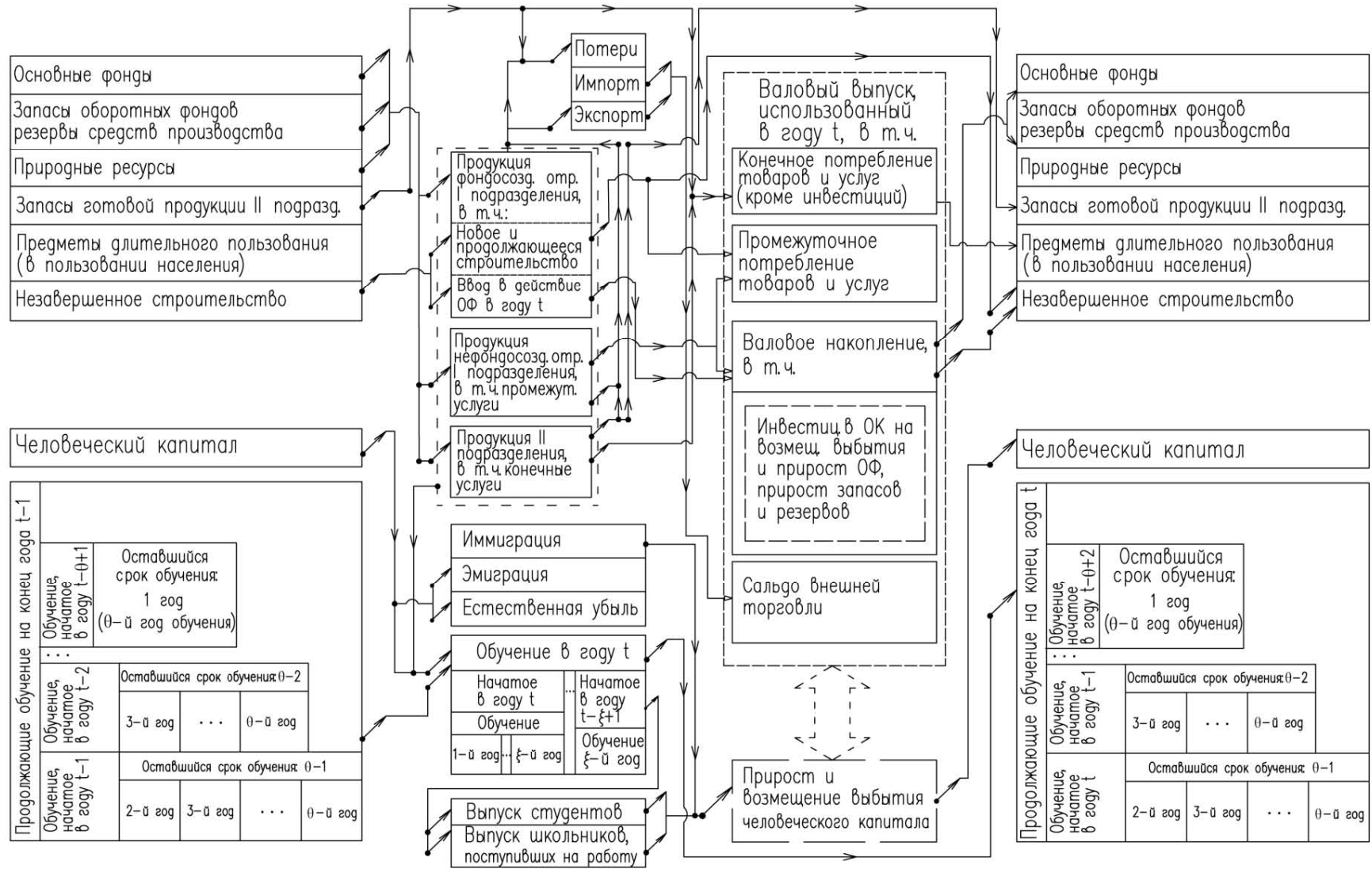
С использованием основных и оборотных фондов, а также природных ресурсов создается продукция I и II подразделений. Часть продукции фондосоздающих отраслей I подразделения (здания, сооружения, машины и оборудование и т. п.) попадает в незавершенное строительство, часть вводится в действие в текущем году.

Объекты, срок строительства которых подошел к концу в году  $t$ , вводятся в эксплуатацию. Остальные объекты остаются в категории продолжающегося строительства и включаются в национальное богатство на конец года  $t$  как незавершенное строительство.

Введенные в текущем году ОФ возмещают выбытие ОФ и обеспечивают их прирост. Продукция нефондосоздающих отраслей I подразделения (предметы труда) и услуги, включаемые в промежуточное потребление, формируют промежуточное потребление, а также прирост запасов и резервов. Продукция II подразделения (предметы потребления) и услуги,

<sup>1</sup> См.: The International Bank for Reconstruction and Development Beyond Economic Growth. An Introduction to Sustainable Development THE WORLD BANK, 2004.

Национальное богатство на конец года  $t-1$



Национальное богатство на конец года  $t$

Схема воспроизводства национального богатства

включаемые в конечное потребление, учитываются в валовом выпуске в графе «Конечное потребление». Кроме того, часть всей произведенной продукции обоих подразделений направляется на экспорт, часть учитывается в блоке «Потери». Разница между экспортом и импортом включается в валовой выпуск в виде сальдо внешней торговли. Произведенная продукция I и II подразделений используется и в процессе продолжающегося строительства, и в процессе обучения людей.

Товары длительного пользования, которые население начало использовать в текущем году  $t$ , включаются в валовой выпуск года  $t$ . Использованные в году  $t$  запасы готовой продукции II подразделения, имеющиеся на начало года  $t$ , также учитываются в валовом выпуске года  $t$ . При этом запасы и товары длительного пользования, не использованные в текущем году и составившие запасы на конец года, в использованный валовой выпуск года  $t$  не включаются, но учитываются в национальном богатстве на конец года.

Количество накопленного человеческого капитала может изменяться в результате миграционных процессов и естественной убыли населения. Уже завершившие обучение люди участвуют в обучении следующих поколений.

Начавшие обучение в году  $t - \theta + 1$  заканчивают его в году  $t$  и учитываются в выпуске студентов и в выпуске школьников, поступивших после окончания школы на работу. Выпуск работников различной квалификации обеспечивает возмещение выбытия и прирост человеческого капитала. Накопленный человеческий капитал участвует в создании валового выпуска. Произведенная продукция, в свою очередь, используется в процессе обучения / лечения, а также оказывает косвенное влияние на процесс воспроизводства человеческого капитала.

Таким образом, на конец года  $t$  в состав национального богатства входят уже существующие и введенные в году  $t$  ОФ, пополненные запасы оборотных фондов и резервы средств производства, природные ресурсы, запасы готовой продукции II подразделения, предметы длительного пользования, срок эксплуатации которых еще не истек, незавершенное строительство, а также *накопленный человеческий капитал, люди, продолжающие обучение, и люди, находящиеся на лечении.*

### **Математическое описание ДММ с блоком человеческого капитала**

Описание базовой ДММ в системе КАМИН представлено в работе [9]. В дальнейшем модель развивалась в направлении включения бюджетного блока, блока охраны окружающей среды, нечетких параметров и др. Различные модификации базовой модели даны в работе [10]. Модель с учетом воспроизводства человеческого капитала может быть описана следующим образом.

Введем основные обозначения и параметры, необходимые для модели. Используются как существующие параметры в ДММ без учета человеческого капитала [9], так и новые, необходимые для расширенной модели.

В модель включено  $n$  отраслей, из них  $1 \leq j \leq k$  – отрасли, производящие основные фонды;  $k < j \leq \tilde{l}$  – отрасли, формирующие человеческий капитал;  $\tilde{l} < j \leq m$  – нефондосоздающие отрасли I подразделения;  $m < j \leq n$  – отрасли II подразделения, где

$n$  – число отраслей экономики;

$m$  – число отраслей первого подразделения ( $m < n$ );

$k$  – число фондосоздающих отраслей;

$l$  – количество видов трудовых ресурсов, выделяемых в экономике;

$\tilde{l}$  – общее количество видов инвестиций в человеческий капитал;

$T$  – число лет прогнозного периода;

$a_{ij}(t)$  – коэффициенты прямых материальных затрат продукции отрасли  $i$  на производство единицы продукции отрасли  $j$  в период времени  $t$ ;

$c_{ij}(t)$  – коэффициенты трудоемкости продукции отрасли  $j$  по  $i$ -му виду трудовых ресурсов в период времени  $t$ ;

$b_{ij}(t)$  – коэффициенты фондоемкости продукции отрасли  $j$  по  $i$ -му виду основных фондов в период времени  $t$ ;

$h_{ij}(t)$  – фондоемкость по человеческому капиталу вида  $i$  (в соответствии с видом инвестиций, лежащих в его основе) валового выпуска по отрасли  $j$ ;

$\theta_{ij}$  – строительный лаг в  $j$ -й отрасли по  $i$ -му виду производственных основных фондов;

$\tilde{\theta}_{ij}$  – лаг формирования  $i$ -го вида человеческого капитала в  $j$ -й отрасли;

$u$  – возраст основных фондов;

$\tau_{ij}$  – годы, в которые происходит обучение, лечение и т. п. человеческого капитала в  $j$ -й отрасли,  $0 \leq \tau \leq \tilde{\theta}_{ij}$ ;

$\kappa_{ij}(t, u)$  – коэффициент выбытия производственных основных фондов  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли возраста  $u$  в период времени  $t$ ;

$\tilde{\kappa}_{ij}(t)$  – коэффициент выбытия человеческого капитала  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли в году  $t$ ;

$B_{ij}(t)$  – ввод в действие производственных основных фондов  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли в период времени  $t$ ;

$BH_{ij}(t)$  – выпуск студентов и школьников (уровень образования  $i$ ), после завершения обучения поступивших на работу в год  $t$  и дополнивших новый человеческий капитал вида  $i$  в  $j$ -й отрасли;

$K_{ij}(t, t+u)$  – инвестиции  $i$ -го вида в основной капитал в  $j$ -й отрасли в году  $t$  в объекты, вводимые в действие в период времени  $t+u$ ;

$H_{ij}(t, t+\tau)$  – инвестиции в человеческий капитал  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли в году  $t$  в выпуск студентов и школьников в году  $t+\tau$ ;

$K_{ij}^*(t)$  – общий объем инвестиций  $i$ -го вида в основной капитал в  $j$ -й отрасли в период времени  $t$ ;

$H_{ij}(t)$  – объем инвестиций в человеческий капитал вида  $i$  в  $j$ -й отрасли в году  $t$ ;

$HC_{ij}(t)$  – величина человеческого капитала вида  $i$  в  $j$ -й отрасли на конец года  $t$ ;

$\mu_{ij}(t, t+u)$  – коэффициент, показывающий, какая доля ввода в действие производственных основных фондов в  $j$ -й отрасли в период времени  $t+u$  формируется за счет инвестиций  $i$ -го вида периода  $t$ , так что:

$$\mu_{ij}(t, t+u) = K_{ij}(t, t+u) / \left( \sum_{i=1}^k B_{ij}(t+u) \right);$$

$L_i(t)$  – численность  $i$ -го вида трудовых ресурсов, которые потенциально могут быть заняты в экономике в периоде  $t$ ;

$F_{ij}(t, t-u)$  – основные фонды  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли на конец года  $t$ , введенные в периоде  $t-u$ ;

$F_{ij}^*(t)$  – основные фонды  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли на конец периода времени  $t$ ;

$N_{ij}(t)$  – незавершенное строительство основных фондов  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли на конец периода  $t$ ;

$NH_{ij}(t)$  – человеческий капитал  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли, находящийся в процессе обучения (в том числе «культурного»), а также получающий услуги для улучшения здоровья на конец периода  $t$ ;

$x_j(t)$  – произведенный валовой выпуск отрасли  $j$  в период  $t$ ;

$\bar{x}_j(t)$  – использованный валовой выпуск отрасли  $j$  в период  $t$ ;

$S_j(t)$  – сальдо экспорта продукции  $j$ -й отрасли в период  $t$ , представляющее собой разность между экспортным и импортом продукции  $j$ -й отрасли в  $t$ -м периоде времени;

$\Delta z_j(t)$  – прирост запасов продукции  $j$ -й отрасли в период  $t$ :

$$\Delta z_j(t) = z_j(t) - z_j(t-1);$$

$\gamma_j(t)$  – потери продукции  $j$ -й отрасли в период  $t$ .

Тогда произведенный валовой выпуск отрасли  $j$  описывается следующим уравнением:

$$x_j(t) = \bar{x}_j(t) + S_j(t) + \Delta z_j(t) + \gamma_j(t).$$

Воспроизводство основных фондов в модели динамического межотраслевого баланса с лагами описывается как процесс обмена использованного продукта фондосоздающих отраслей периода  $t$  на ввод в действие основных фондов периода  $t$ , который опосредуется изменением объема незавершенного строительства.

Применение лаговых показателей позволяет увязать процесс производства продукции фондосоздающими отраслями машиностроения и строительства, а также экспорта и импорта продукции этих отраслей в каждом периоде времени с предшествующими и последующими периодами. Часть произведенного продукта фондосоздающих отраслей экономической системы каждого периода обеспечивает продолжение строительства объектов, начатое ранее, часть экспортируется. Это обуславливает связанность инвестиций в основной капитал и, следовательно, зависимость их объема, отраслевой и технологической структуры от инвестиций предшествующих периодов времени и от объемов импорта продукции фондосоздающих отраслей. Ввод в действие производственных основных фондов в каждый период времени формируется по материально-вещественному составу за счет использованного продукта машиностроения и строительства в разные периоды времени. В состав незавершенного строительства  $j$ -й отрасли ( $1 \leq j \leq n$ ) в период  $t$  поступает продукция  $i$ -й фондосоздающей отрасли в объеме  $K_{ij}^*(t)$  и распределяется по слоям незавершенного строительства. Суммарные инвестиции в основной капитал определяются по формуле

$$K_{ij}^*(t) = \sum_{u=0}^{\theta_j-1} K_{ij}(t, t+u), \quad i=1, \dots, k; \quad j=1, \dots, n. \quad (1)$$

Ввод в действие основных фондов  $B_{ij}(t)$  периода  $t$  в  $j$ -й отрасли формируется из использованного продукта  $i$ -й фондосоздающей отрасли по формуле

$$B_{ij}(t) = \sum_{u=0}^{\theta_j-1} K_{ij}(t-u, t), \quad i=1, \dots, k; \quad j=1, \dots, n. \quad (2)$$

Объем инвестиций в основной капитал  $K_{ij}(t, t+u)$  в слой незавершенного строительства, вводимый в периоде  $t+u$ , вычисляется через ввод в действие основных фондов этого периода по формуле

$$K_{ij}(t, t+u) = \mu_{ij}(t, t+u) \sum_{i=1}^k B_{ij}(t+u), \quad i=1, \dots, k; \quad j=1, \dots, n. \quad (3)$$

Коэффициенты  $\mu_{ij}(t, t+u)$  являются интегральной характеристикой ввода в действие основных фондов, зависящей от технологии и интенсивности строительства объектов в отрасли  $j$ . При этом технология строительства состоит из конечного числа стадий. Тогда инвестиции в основной капитал определяются по формуле

$$K_{ij}(t, t+u) = \sum_{\nu} \left( \xi_j(t, t+u, \nu) \eta_{ij}(t+u, \nu) \sum_{i=1}^k B_{ij}(t+u) \right), \quad (4)$$

где  $\eta_{ij}(t+u, \nu)$  – доля ввода в действие основных фондов  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли в период  $t+u$ , которая формируется в  $\nu$ -й стадии строительства;  $\xi_j(t, t+u, \nu)$  – часть  $\nu$ -й стадии, выполненная в  $t$ -м периоде (за  $u$  периодов до ввода данного слоя). Коэффициенты  $\eta_{ij}(t+u, \nu)$  определяются методами математической статистики через отчетные данные по инвестициям в основной капитал и незавершенному строительству, а также по отчетным и прогнозным

данным о вводе в действие производственных основных фондов в отраслях народного хозяйства. В зависимости от ожидаемых инвестиций в основной капитал несколько последовательных стадий могут быть выполнены в течение одного периода или одна стадия может продолжаться несколько периодов. Формулы (2)–(4) базовые для определения объемов инвестиций в основной капитал по отраслям экономической системы через прогнозируемые вводы в действие основных фондов. Дополнительные управляющие параметры  $\xi_j(t, t+u, v)$  в формуле (4) дают возможность прогнозировать согласованный ввод в действие основных фондов и капитальных вложений в условиях изменяющихся во времени сроков строительства. Для этого в нормативах  $\xi_j(t, t+u, v)$  учитывается ускорение или замедление интенсивности капитального строительства.

Рекуррентные соотношения по пересчету незавершенного строительства описываются формулой

$$N_{ij}(t) = N_{ij}(t-1) - \sum_{u=1}^{\theta_{ij}-1} K_{ij}(t-u, t) + \sum_{u=1}^{\theta_{ij}-1} K_{ij}(t, t+u). \quad (5)$$

Рекуррентные соотношения для определения объема основных фондов  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли возраста  $u$  на конец периода  $t$  задаются формулой

$$F_{ij}(t, 0) = B_{ij}(t), \quad (6)$$

$$F_{ij}(t, u) = F_{ij}(t-1, u-1) \cdot (1 - \kappa_{ij}(t, u)), \quad i = 1, \dots, k; \quad j = 1, \dots, n.$$

Модель воспроизводства основных фондов (1)–(6) используется для определения инвестиций в основной капитал и их технологической структуры по отраслям через ожидаемый ввод в действие основных фондов с учетом строительного лага и режима функционирования  $\xi_j(t, t+u, v)$  инвестиционного комплекса.

Добавим в модель уравнения, позволяющие моделировать воспроизводство человеческого капитала.

Выпуск студентов и школьников  $BH_{ij}(t)$  (с уровнем образования  $i$ ), после завершения обучения поступивших на работу в год  $t$  и сформировавших ввод в действие нового человеческого капитала вида  $i$  в  $j$ -й отрасли, формируется из использованных инвестиций вида  $i$  в человеческий капитал в данной отрасли:

$$BH_{ij}(t) = \sum_{\tau=0}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} H_{ij}(t-\tau, t) = \sum_{\tau=0}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\eta}_{ij}(\tau) \cdot H_{ij}(t-\tau), \quad (7)$$

$$i = k+1, \dots, \tilde{l}; \quad j = 1, \dots, n,$$

где

$H_{ij}(t-\tau, t)$  – объем инвестиций в человеческий капитал вида  $i$ , вложенных в  $j$ -й отрасли в году  $t-\tau$ , обеспечивших ввод в действие человеческого капитала в году  $t$  в  $j$ -й отрасли;

$\tilde{\eta}_{ij}$  – доля инвестиций в человеческий капитал прошлых лет  $(t-\tau)$  вида  $i$  в  $j$ -й отрасли, которая обеспечивает ввод в действие человеческого капитала того же вида в отрасли  $j$  в году  $t$ ;

$\tilde{\eta}_{ij} \in [0, 1]$  для любого  $\tau$ ;

$$\sum_{\tau=0}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\eta}_{ij}(\tau) = 1;$$

$H_{ij}(t-\tau)$  – инвестиции в человеческий капитал вида  $i$ , вложенные в  $j$ -й отрасли в году  $t-\tau$ ;

$\tau \geq 0$ , хотя, как правило, поступившие на обучение не выпускаются в тот же год, но возможны и более короткие периоды обучения (например, в случае курсов повышения квалификации); кроме того, более короткие лаги возможны в сфере здравоохранения.

Объем инвестиций в человеческий капитал  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли, который будет выпущен в году  $t+\tau$ , определяются следующим образом:



$$H_{ij}(t, t + \tau) = \sum_{\tau=0}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\mu}_{ij}(\tau) \cdot BH_{ij}(t + \tau), \quad (8)$$

$$i = k + 1, \dots, \tilde{l}; \quad j = 1, \dots, n,$$

где

$t$  – год поступления инвестиций;

$(t + \tau)$  – год выпуска студентов и школьников, поступающих на работу (а также всех остальных, кто, например, прошел лечение и может вернуться к работе, т. е. годы выпуска человеческого капитала);

$\tilde{\mu}_{ij}(\tau)$  – коэффициент, показывающий, какая доля выпуска человеческого капитала в  $j$ -й отрасли в период времени  $t + \tau$  формируется за счет инвестиций  $i$ -го вида периода  $t$ ;

$\tilde{\mu}_{ij}(\tau) \in [0, 1]$  для любого  $\tau$ ;

$$\sum_{\tau=0}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\mu}_{ij}(\tau) = 1.$$

Рекуррентные соотношения, описывающие человеческий капитал  $i$ -го вида в отрасли  $j$ , находящийся на обучении / лечении и т. п.  $NH_{ij}(t)$  (т. е. «незавершенного»):

$$\begin{aligned} NH_{ij}(t) &= NH_{ij}(t-1) - \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} H_{ij}(t-\tau, t) + \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} H_{ij}(t, t+\tau) = \\ &= NH_{ij}(t-1) - \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\eta}_{ij}(\tau) \cdot H_{ij}(t-\tau) + \sum_{\tau=1}^{\tilde{\theta}_{ij}-1} \tilde{\mu}_{ij}(\tau) \cdot BH_{ij}(t+\tau), \end{aligned} \quad (9)$$

$$i = k + 1, \dots, \tilde{l}; \quad j = 1, \dots, n.$$

Объем человеческого капитала  $i$ -го вида в  $j$ -й отрасли на конец периода  $t$  будет равен

$$HC_{ij}(t) = BH_{ij}(t) + HC_{ij}(t-1) \cdot (1 - \tilde{k}_{ij}(t)), \quad i = k + 1, \dots, \tilde{l}; \quad j = 1, \dots, n. \quad (10)$$

Произведенный валовой продукт  $i$ -й фондосоздающей отрасли  $x_i(t)$  в период  $t$  определяется по формуле

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n K_{ij}^*(t) + S_i(t) + \gamma_i(t), \quad 1 < i \leq k. \quad (11)$$

Произведенный валовой продукт  $i$ -й отрасли  $x_i(t)$ , формирующей человеческий капитал в период  $t$ , определяется по формуле

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n H_{ij}(t) + S_i(t) + \gamma_i(t), \quad k < i \leq \tilde{l}. \quad (12)$$

Баланс производства и использования продукции нефондосоздающих отраслей первого подразделения имеет следующий вид:

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t) x_j(t) + S_i(t) + \gamma_i(t), \quad \tilde{l} < i \leq m. \quad (13)$$

Соотношения для формирования продукции отраслей второго подразделения представляются в виде:

$$x_i(t) = Q_i(x_i(t-1), S_i(t-1), \lambda, t) + S_i(t), \quad m < i \leq n, \quad (14)$$

где  $Q_i$  – отображения, синтезирующие структуру и динамику потребностей (обычно это монотонно возрастающие функции параметра  $\lambda$ ).

Ограничения по трудовым ресурсам описываются системой неравенств

$$\sum_{j=1}^n c_{kj}(t) \cdot x_j(t) \leq L_k(t), \quad k=1, \dots, l; \quad j=1, \dots, n. \quad (15)$$

Ограничения по основным фондам описываются системой неравенств

$$b_{ij}(t) \cdot x_j(t) \leq F_{ij}(t), \quad i=1, \dots, k; \quad j=1, \dots, n. \quad (16)$$

Кроме перечисленных уравнений в модель добавляется дополнительное ограничение по человеческому капиталу вида

$$\sum_{j=1}^n h_{ij}(t) \cdot x_j(t) \leq HC_i(t), \quad i=k+1, \dots, \tilde{l}; \quad j=1, \dots, n. \quad (17)$$

Как и в стандартной модели, обозначим через  $\Omega$  траекторию развития экономической системы  $x_i(t)$ , удовлетворяющую в каждый период времени  $t$  ограничениям (1)–(17). Нахождение траектории  $\Omega$  при вводе в действие основных фондов  $B_{ij}(t)$ , при трудовых ресурсах  $L_k(t)$ , объеме человеческого капитала  $HC_{ij}(t)$ , а также нормативах  $\tilde{\eta}_{ij}(\tau)$ ,  $\tilde{\mu}_{ij}(\tau)$ ,  $h_{ij}(\tau)$ ,  $\eta_{ij}(t+u, v)$ ,  $\xi_j(t, t+u, v)$ ,  $k_i^h(t)$ ,  $\kappa_{ij}(t, v)$ ,  $\mu_{ij}(t, t+u)$ ,  $a_{ij}(t)$ ,  $S_i(t)$ ,  $c_j(t)$ ,  $h_{ij}(t)$  для каждого периода времени из  $[0; T]$  дает систему показателей развития экономической системы, включая выпуск продукта  $x_i(t)$ , инвестиции в основной капитал  $K_{ij}^*(t)$ , инвестиции в человеческий капитал  $H_{ij}(t)$ , ввод в действие основных фондов  $B_{ij}(t)$ , выпуск человеческого капитала  $BH_{ij}(t)$ , человеческий капитал  $HC_i(t)$  и основные фонды на конец каждого периода времени:

$$F_{ij}^*(t) = \sum_{u \geq 0} F_{ij}(t, u).$$

Оптимизационная задача при названных ограничениях формулируется следующим образом:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n f_j(t) x_j(t) \Rightarrow \max, \quad x \in \Omega,$$

где

$x_j(t)$  – произведенный валовой выпуск отрасли  $j$  в период  $t$ ;

$f_j(t)$  – взвешивающие коэффициенты продукции  $j$ -й отрасли в целевом функционале экономической системы.

### Заключение

В разработанной расширенной динамической межотраслевой модели рассматриваются два разных показателя: численность занятых, или «трудовые ресурсы», и стоимостной (с видовой дифференциацией) – «инвестиции в простое воспроизводство и накопление человеческого капитала».

При разработке блока воспроизводства человеческого капитала в ДММ возникает вопрос о разграничении фондосоздающих и нефондосоздающих отраслей, формирующих человеческий капитал. Такие отрасли одновременно с формированием человеческого капитала формируют и промежуточное потребление (например, отрасль образования). Еще сложнее разделить фондосоздающую и нефондосоздающую отрасль здравоохранения.

Другим важным ограничением на использование такой модели может стать отсутствие подробной статистической информации. Особенно актуальна эта проблема для отраслей здравоохранения и культуры: помимо прочего, в них довольно трудно, в отличие от отрасли образования, четко структурировать лаги.

Кроме того, возникает необходимость моделирования экономики на длительных временных отрезках, что поднимает вопрос преобразования информационной базы ДММ (переход на трехлетний или пятилетний шаг расчетов).

Эти и некоторые другие, связанные с ними, вопросы остаются предметом дальнейшего исследования.

### Список литературы

1. Добрынин А. И., Дятлов С. А., Цыренова Е. Д. Человеческий капитал в транзитивной экономике: формирование, оценка, эффективность использования. СПб.: Наука, 1999. 309 с.
2. Schultz T. Investment in Human Capital // *The American Economic Review*. 1961. Vol. 1. No. 51. P. 1–17.
3. Acemoglu D., Autor D. Lectures in Labor Economics manuscript. MIT, 2011.
4. Хмелева Г. А. Человеческий капитал как условие формирования инновационной экономики региона. Самара, 2012. 170 с.
5. Баранов А. О. Инвестиционный лаг в воспроизводстве общественного продукта и фондов. Новосибирск: Наука, 1991. 232 с.
6. Тагаева Т. О. Динамическая межотраслевая модель с блоком охраны окружающей среды // Системный анализ воспроизводства: Сб. науч. тр. / Под ред. В. Н. Павлова, А. О. Баранова. Новосибирск, 1992. С. 67–84.
7. Маркс К. Капитал. Критика политической экономии. М.: Политиздат, 1983. Т. 2.
8. Баранов А. О. Экономика России в период реформ: деньги, бюджет, инвестиции. Новосибирск, 2004. 291 с.
9. Озеров В. К., Павлов В. Н., Баранов А. О. Динамическая межотраслевая модель с учетом длительности периода воспроизводства основных фондов // Экономика и математические методы. 1987. Т. 23, вып. 1. С. 87–94.
10. Исследование экономики России с использованием моделей с нечеткими параметрами / Отв. ред. А. О. Баранов, В. Н. Павлов; Новосиб. гос. ун-т, ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2009. 236 с.

Материал поступил в редколлегию 27.10.2016

**A. O. Baranov<sup>1</sup>, V. N. Pavlov<sup>2,3</sup>, Yu. M. Slepikova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Novosibirsk State University  
1 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Institute of Economics and Industrial Engineering, SB RAS  
17 Acad. Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation*

<sup>3</sup> *Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University  
29 Polytechnicheskaya Str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation*

*baranov@ieie.nsc.ru, victor\_n\_pavlov@mail.ru, juliaslepikova@yandex.com*

### CONSTRUCTION OF A DYNAMIC INPUT-OUTPUT MODEL WITH A HUMAN CAPITAL BLOCK

The accumulation of human capital is an important factor of economic growth. It seems to be useful to include «human capital» as a factor of a macroeconomic model, as it helps to take into account the quality differentiation of the workforce. Most of the models usually distinguish labor force by the levels of education, while some of the factors remain unaccounted. Among them are health status and culture development level, which influence productivity level as well as gross product reproduction. Inclusion of the human capital block to the interindustry model can help to make it more reliable for economic development forecasting. The article presents a mathematical

description of the extended dynamic input-output model (DIOM) with a human capital block. The extended DIOM is based on the Input-Output Model from The KAMIN system (the System of Integrated Analyses of Interindustrial Information) developed at the Institute of Economics and Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the Russian Federation and at the Novosibirsk State University. The extended input-output model can be used to analyze and forecast development of Russian economy.

*Keywords* input-output analysis, dynamic input-output model, human capital, national wealth, Russian economy.

## References

1. Dobrynin A. I., Dyatlov S. A., Tsyrenova E. D. Chelovecheskiy kapital v tranzitivnoy ekonomike: formirovaniye, otsenka, effektivnost' ispol'zovaniya [Human capital in the transitive economy: formation, evaluation, efficiency]. St. Petersburg, Nauka Publ., 1999, 309 p.
2. Schultz T. Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, 1961, vol. 1, no. 51, pp. 1–17.
3. Acemoglu D., Autor D. Lectures in Labor Economics manuscript. MIT, 2011.
4. Khmeleva G. A. Chelovecheskiy kapital kak usloviye formirovaniya innovatsionnoy ekonomiki regiona [Human capital as a condition of formation of innovative economy of the region]. Samara, SAGMU Publ., 2012, 170 p.
5. Baranov A. O. Investitsionnyy lag v vosproizvodstve obshchestvennogo produkta i fondov [Investment lag in the reproduction of the social product and funds]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991, 232 p.
6. Tagaeva T. O. Dinamicheskaya mezhotraslevaya model' s blokom okhrany okruzhayushchey sredy [The dynamic interindustry model with environmental protection block]. *Sistemnyy analiz vosproizvodstva* [System Analysis]. Ed. V. N. Pavlov, A. O. Baranov. Novosibirsk, 1992, pp. 67–84.
7. Marks K. Kapital. Kritika politicheskoy ekonomii [Critique of Political Economy]. M.: Politizdat Publ., 1983, vol. 2.
8. Baranov A. O. Ekonomika Rossii v period reform: den'gi, byudzhnet, investitsii [Russian economy in the reform time: money, budget, investment]. Novosibirsk, Novosibirsk St. Univ. Publ., 2004, 291 p.
9. Ozerov V. K., Pavlov V. N., Baranov A. O. Dinamicheskaya mezhotraslevaya model' s uchetom dlitel'nosti perioda vosproizvodstva osnovnykh fondov [The dynamic interindustry model with the duration of the period of reproduction of fixed assets]. *Ekonomika i matematicheskie metody* [Economics and Mathematical Methods], 1987, vol. 23, no. 1, pp. 87–94.
10. Issledovanie ekonomiki Rossii s ispol'zovaniem modeley s nechetkimi parametrami [Analysis of the Russian economy with the use of models with fuzzy parameters] / Ed. A. O. Baranov, V. N. Pavlov. Novosibirsk, Novosibirsk St. Univ. Publ., 2009, 236 p.

*For citation:*

Baranov A. O., Pavlov V. N., Slepenskova Yu. M. Construction of a Dynamic Input-Output Model with a Human Capital Block. *World of Economics and Management*, 2017, vol. 17, no. 1, p. 14–25. (In Russ.)