

УДК 519.87

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЕРЕСТРОЙКИ И ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ КАПИТАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ

© 2009 г. Иностраный член РАН А. А. Акаев, А. И. Сарыгулов, В. Н. Соколов

Поступило 28.07.2009 г.

В работах авторов [1, 2] было показано, что для экономики развитых стран ОЭСР имеет место сбалансированная отраслевая и технологическая структуры, которые можно рассматривать как оптимальные для определенного периода развития мировой экономики. Была также установлена зависимость между отраслевыми структурными сдвигами и динамикой ВВП и получена простейшая формула для прогноза долгосрочной динамики ВВП в рамках одного большого цикла Кондратьева [2]. Однако более важно то обстоятельство, что с их помощью можно управлять процессом структурной перестройки национальной экономики с целью привести ее структуру в заданный момент времени t_p к требуемой сбалансированной (оптимальной) структуре.

Для практической реализации задачи управления динамикой экономического развития через отраслевую структурную перестройку экономической системы необходимо установить управляющие факторы, в существенной мере влияющие на отраслевые структурные изменения. Известно, что существуют два главных фактора, определяющих отраслевую структуру производства и ее изменения – это технология и состав конечного продукта. Известный российский экономист С.М. Меньшиков утверждает, что в широком макроэкономическом плане именно сдвиги в технологии и технике служат одним из главных двигателей изменений в отраслевой структуре экономики [3]. Так, например, наблюдавшаяся в XX веке устойчивая тенденция к сокращению доли сельскохозяйственного производства в ВВП с 16.3 до 2–3% во всех ведущих капиталистических

странах была результатом революционного технико-экономического переворота в этой сфере.

Высокотехнологичные экономики концентрируют производственные мощности на завершающих стадиях технологического цикла в перерабатывающих и обрабатывающих отраслях промышленности, делая основной упор на производство востребованных рынком конкурентных товаров и услуг с высокой степенью добавленной стоимости. Особенно велика роль инноваций и высоких технологий в обеспечении устойчивости экономического роста [4]. Технологическая структура экономической системы определяется главным образом технологической структурой обрабатывающих отраслей промышленности. Поэтому технологические сдвиги в обрабатывающих отраслях промышленности служат управляющим параметром для структурной перестройки всей экономики.

В настоящей работе ставится задача разработки алгоритма преобразования исходной технологической структуры национальной экономики к требуемой сбалансированной структуре, одновременно обеспечивающей заданный объем выпуска в обрабатывающих отраслях промышленности. Для решения этой задачи прежде всего необходимо установить аналитическую зависимость, определяющую влияние технологических сдвигов, выступающих в качестве управляющих параметров, на динамику выпуска в обрабатывающей промышленности. Мы предлагаем использовать известные результаты теории диффузии технологических инноваций на рынки, основанные на логистических функциях.

Несмотря на то что вклад промышленности в создание ВВП в развитых странах мира сокращается, а услуги, включая финансовые, занимают все больше места в структуре ВВП (в США больше 60%, в Европе около 50%), именно промышленность остается локомотивом технико-экономического развития. Например, доля обрабатывающей промышленности в структуре ВВП США сегодня составляет 14% по сравнению с 23.4% в 1970 г., а в Великобритании 13% по сравнению с 32% в 1970 г. Нынешний экономический кризис

*Институт математических исследований
сложных систем
Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова*

*Центр фундаментальных исследований процессов
развития экономики России
Санкт-Петербургского государственного
инженерно-экономического университета*

обнажил все риски подобной структурной несбалансированности. Именно экономики США и Великобритании оказались наименее устойчивыми к кризисным явлениям. Поэтому в США активно обсуждается необходимость формирования новой промышленной политики и создания специальных финансовых механизмов, призванных обеспечить расширенное развитие обрабатывающих отраслей как части более сбалансированной экономики. Великобритания уже приступила к реализации правительственной промышленной стратегии в 2002 г. сразу после предыдущего мирового экономического кризиса 2000–2001 гг. [5].

Выше было сказано, что для изменения отраслевой структуры экономики лучше всего использовать технологические сдвиги в обрабатывающих отраслях промышленности. Это достигается увеличением доли высокотехнологичных и средневысокотехнологичных производств, что, в свою очередь, обеспечивает необходимое качество экономического роста. Процесс диффузии технологий, как известно [6], описывается логистической функцией вида

$$\frac{1+c}{1+c \exp[-d(t-t_0)]}, \quad (1)$$

где c – постоянная, определяемая уровнем насыщения (при $t \rightarrow \infty$); d – коэффициент диффузии технологии (или скорость распространения технологии). Процесс вымывания устаревшей технологии соответственно можно описать “обратной” логистической функцией вида

$$1+c - \frac{1+c}{1+c \exp[-d(t-t_0)]} = \frac{c(1+c) \exp[-d(t-t_0)]}{1+c \exp[-d(t-t_0)]}. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что логистическая функция повышательного типа (1) используется для описания динамики выпуска в расширяющейся экономике, а логистическая функция понижающего типа (2) – для описания экономической динамики в случае долговременного постепенного сжатия выпуска, а также в расширяющейся экономике, в исключительных случаях, когда речь идет о практически полном вымывании какой-то группы технологий.

Движение валового выпуска в сфере обрабатывающих отраслей (Y_M), согласно принятой в ЕС классификации производственных структур относительно уровня технологического развития [7], можно записать в виде

$$Y_M = Y_{HT} + Y_{MHT} + Y_{MLT} + Y_{LT}, \quad (3)$$

где Y_{HT} , Y_{MHT} , Y_{MLT} , Y_{LT} – общая стоимость продукции высокотехнологичных (HT), средневысокотехнологичных (MHT), средненизкотехнологичных (MLT) и низкотехнологичных (LT) производств.

Обычно правительства стремятся увеличивать долю высоко- и средневысокотехнологичных производств за счет снижения доли средненизкотехнологичных и вымывания низкотехнологичных производств. Поэтому динамика выпуска первых трех типов производств описывается логистической функцией типа (1), а для описания последнего типа может потребоваться функция (2). Если ввести начальные долевые коэффициенты

$$\beta_1^{(0)} = \beta_{HT}^{(0)} = \frac{Y_{HT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}}, \quad \beta_2^{(0)} = \beta_{MHT}^{(0)} = \frac{Y_{MHT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}},$$

$$\beta_3^{(0)} = \beta_{MLT}^{(0)} = \frac{Y_{MLT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}}, \quad \beta_4^{(0)} = \beta_{LT}^{(0)} = \frac{Y_{LT}^{(0)}}{Y_M^{(0)}},$$

тогда можно записать:

$$Y_i = \frac{\beta_i^{(0)}(1+c_i) \cdot Y_M^{(0)}}{1+c_i \exp[-d_i(t-t_0)]} \quad \text{для } i = 1, 2, 3; \quad (4a)$$

$$Y_j = \frac{\beta_j^{(0)} c_j (1+c_j) \exp[-d_j(t-t_0)] Y_M^{(0)}}{1+c_j \exp[-d_j(t-t_0)]} \quad \text{для } i = 4. \quad (4b)$$

Пользуясь этими уравнениями, тождество (3) можно записать в следующем виде (суммирование осуществляется по всем i и j , причем $i \neq j$):

$$\frac{Y_M}{Y_M^{(0)}} = \sum_{i=1}^3 \frac{\beta_i^{(0)}(1+c_i)}{1+c_i \exp[-d_i(t-t_0)]} + \frac{\beta_j^{(0)} c_j (1+c_j) \exp[-d_j(t-t_0)]}{1+c_j \exp[-d_j(t-t_0)]}. \quad (5)$$

Здесь $Y_M^{(0)}$ – начальное значение общего объема выпуска продукции в обрабатывающей промышленности.

Итак, зададимся целью привести к оптимальной технологической структуре и выберем соответствующие целевые значения выпуска в долевом измерении $\beta_{HT}^{(p)}$, $\beta_{MHT}^{(p)}$, $\beta_{MLT}^{(p)}$ и $\beta_{LT}^{(p)}$ при заданном объеме выпуска $Y_M^{(0)}$, определяемом из рассмотрения отраслевой структуры экономики. Для того чтобы воспользоваться формулами (4) и рассчитать траектории движения выпуска по каждой технологической группе производств, необходимо прежде всего определить параметры $\{c_i, d_i\}$ и $\{c_j, d_j\}$. Положим, что время t_p совпадает с точкой перегиба логистической кривой (4a). Тогда уравнение (4a) преобразуется в равенство

$$Y_i^{(p)} = \frac{\beta_i^{(0)}(1+c_i) Y_M^{(0)}}{1+c_i \exp[-d_i(t-t_0)]}. \quad (6)$$

Воспользуемся теперь свойством симметрии логистической кривой (4a), согласно которому при $t \rightarrow \infty$ имеем равенство $2Y_i^{(0p)} = \beta_i^{(0)}(1+c_i) Y_M^{(0)}$, от-

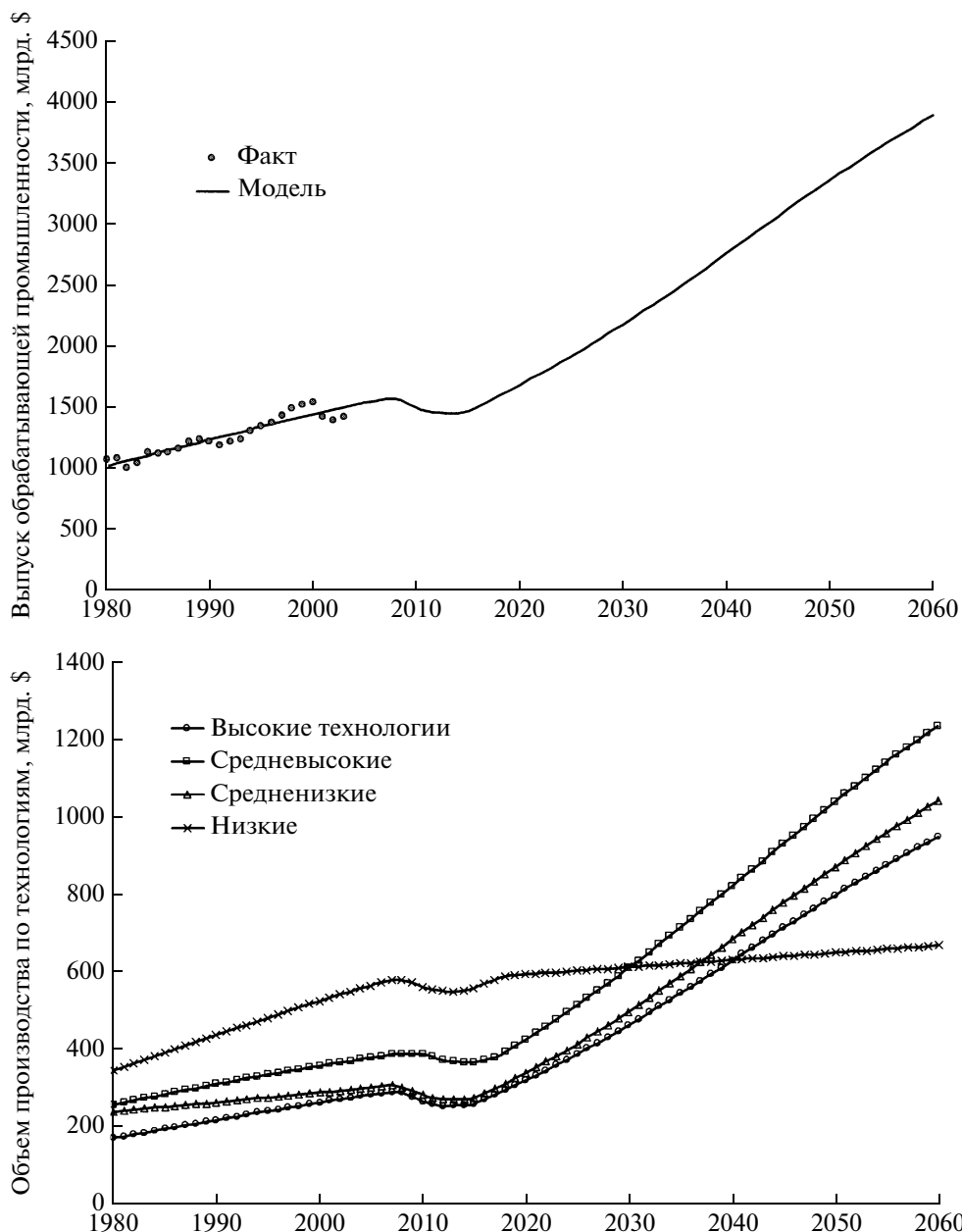


Рис. 1. Прогноз динамики выпуска обрабатывающей промышленности США в сопоставимых ценах 2000 г.

куда непосредственно получаем уравнение для определения c_i :

$$c_i = 2 \frac{\beta_i^p}{\beta_i^{(0)}} q_M^{(p)} - 1, \quad q_M^{(p)} = \frac{Y_M^{(p)}}{Y_M^{(0)}}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (6), получаем уравнение для определения параметра d_i , откуда следует

$$d_i = \frac{1}{t_p - t_0} \ln c_i. \quad (8)$$

Поскольку логистическая кривая (4б) является зеркальным отображением (4а), то можно воспользоваться уравнениями (7) и (8) также для определения параметров $\{c_j, d_j\}$. Таким образом,

получаем следующие соотношения для определения $\{c_{i,j}\}$ и $\{d_{i,j}\}$:

$$c_{i,j} = 2 \frac{\beta_{i,j}^{(p)}}{\beta_{i,j}^{(0)}} q_M^{(p)} - 1, \quad d_{i,j} = \frac{1}{t_p - t_0} \ln c_{i,j}. \quad (9)$$

Аналогичные уравнения целесообразно использовать также для определения параметров a и b логистической функции, описывающей динамику ВВП при отраслевых структурных изменениях [2]. Соответствующие уравнения имеют вид

$$a = 2q_{ST}^{(p)} - 1, \quad b = \frac{1}{t_p - t_0} \ln a, \quad q_{ST}^{(0)} = \frac{Y_{ST}^{(p)}}{Y_{ST}^{(0)}}$$

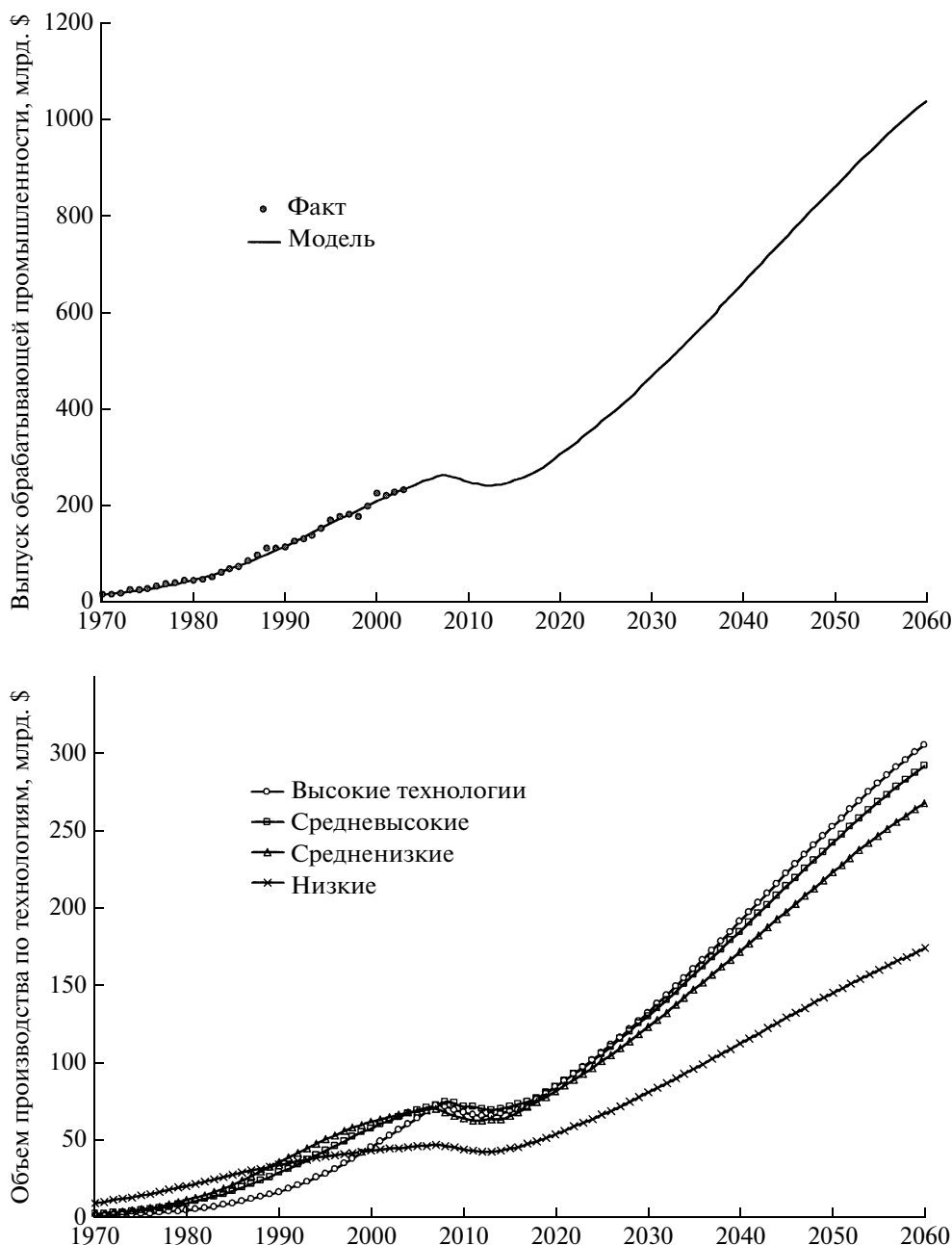


Рис. 2. Прогноз динамики выпуска обрабатывающей промышленности Кореи в сопоставимых ценах 2000 г.

где $q_{ST}^{(p)}$ — рост объема выпуска в традиционных отраслях экономики за время, равное t_p .

Рассчитав численные значения параметров $\{c_i, d_i\}$ и $\{c_j, d_j\}$ по соотношениям (9), далее нетрудно получить траектории движения выпуска для отдельных технологических групп производств (НТ, МНТ, МЛТ, ЛТ) по формулам (4) и для всей обрабатывающей отрасли промышленности (5) как в ретроспективном, так и в прогностическом аспектах. На рис. 1 и 2 представлены прогнозы динамики объема производства обрабатывающей

промышленности для США и Кореи, в том числе для отдельных технологических групп производств. Вычисления по моделям показывают хорошее совпадение расчетных и эмпирических данных (взятых из источника [8]) в ретроспективной части. Ошибка аппроксимации не превышает 3.7%.

Важнейшая черта происходящих сейчас в капиталистической экономике структурных сдвигов заключается в том, что они носят глобальный характер и отражают тенденции, общие для развития производительных сил во всех странах. Гло-

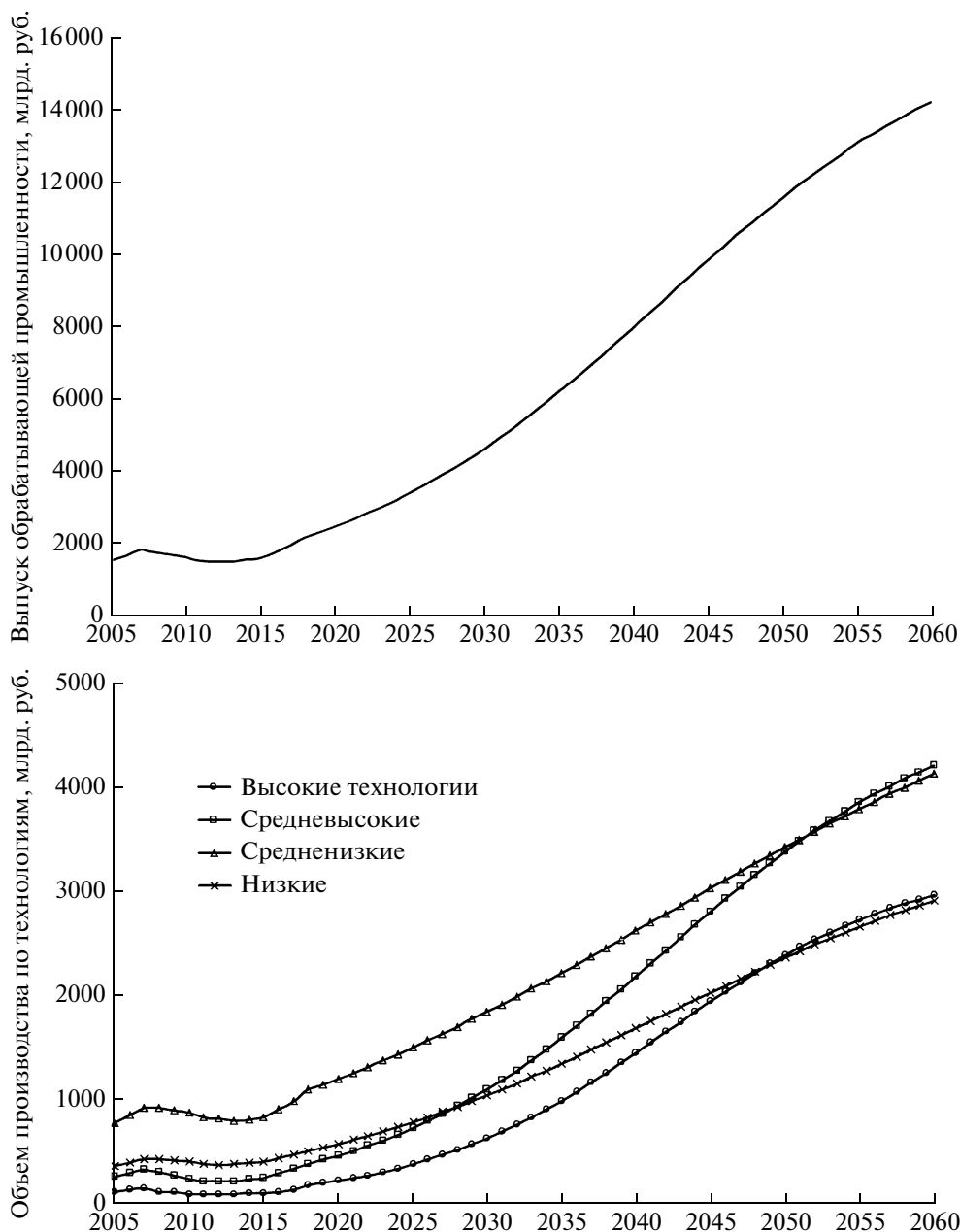


Рис. 3. Прогноз динамики выпуска обрабатывающей промышленности России в сопоставимых ценах 2000 г.

бальный характер происходящих структурных сдвигов подчеркивается еще и таким сравнительно новым явлением, как стремление 20 ведущих государств мира разработать общую целенаправленную экономическую стратегию, отвечающую современным вызовам.

Все это позволяет применить предложенный выше метод технологических структурных преобразований, присущий развитым странам, для структурной перестройки экономики России, которая за последние десятилетия стала неотъемлемой частью мировой экономики. Рассмотрим за-

дачу преобразования технологической структуры российской экономики, чтобы в 2040–2050 гг. привести ее близкой к оптимальной технологической структуре: $\beta_1^{(p)} = 0.19$, $\beta_2^{(p)} = 0.28$, $\beta_3^{(p)} = 0.32$, $\beta_4^{(p)} = 0.21$ в отличие от нынешней [9]: $\beta_1^{(0)} = 0.08$, $\beta_2^{(0)} = 0.18$, $\beta_3^{(0)} = 0.51$, $\beta_4^{(0)} = 0.23$, принимая 2018 г. за начало фазы оживления шестого цикла Кондратьева. Динамика развития технологической структуры для России до 2050 г., рассчитанная по формулам (4)–(9), представлена на рис. 3. Как видно из рис. 3, требуется обеспечить чрезвычай-

Таблица 1. Исходные данные и прогнозные значения долей технологий в общем объеме выпуска обрабатывающей промышленности, %

Страна	НТ			МНТ			МЛТ			ЛТ		
	2003 г.	2018 г.	2050 г.	2003 г.	2018 г.	2050 г.	2003 г.	2018 г.	2050 г.	2003 г.	2018 г.	2050 г.
США	18.6	18.7	23.8	24.2	24.7	30.9	20.4	19.7	26.0	36.8	36.9	19.3
Корея	23.5	27.5	29.2	28.7	27.7	28.0	29.3	26.9	25.9	18.4	17.9	16.9
Россия	7.8	8.1	20.9	17.3	17.8	29.2	51.1	50.7	29.6	23.8	23.4	20.5

но высокую скорость распространения высоко- и средневысокотехнологичных производств, что требует огромных усилий и крупномасштабных инвестиций в НИОКР и инновационные технологии. Но такие скорости достижимы, поскольку они уже демонстрировались Кореей в период с 1970 по 2000 г. Республика Корея в течение последнего пятого цикла Кондратьева наиболее динамично улучшала технологическую структуру национальной экономики: удельный вес высокотехнологичных производств в этот период вырос с 6.7 до 24.4%, а доля низкотехнологичных производств упала с 59.6 до 20.7% (см. рис. 2).

Следующей по важности должна стать задача оптимизации. В этом случае целесообразно ограничить долю продукции средненизко- и низкотехнологичных производств и оставить свободными объемы выпуска продукции в высоко- и средневысокотехнологичных производствах с тем, чтобы максимизировать общий выпуск обрабатывающих отраслей промышленности (5) за счет лучшего сочетания долей высоко- и средневысокотехнологичных производств. Возрастание роли наукоемких, конкурентоспособных на мировом рынке высокотехнологичных производств и их опережающий рост в структуре обрабатывающей промышленности стали общемировой доминантной тенденцией, проявляющейся в развитии экономик ведущих зарубежных стран.

Что касается результатов моделирования технологической структуры, то их итоги приведены в табл. 1.

Таким образом, в работе:

1) получены уравнения, устанавливающие аналитическую связь между технологическими сдвигами и динамикой выпуска в обрабатывающих отраслях промышленности. Верификация этих уравнений на примерах экономического и технологического развития США и Кореи в

1980–2003 гг. показала практически приемлемую точность аппроксимации реальной кривой движения ВВП;

2) представлен алгоритм управления технологическими сдвигами, требующий задания и контроля скорости диффузии технологических инноваций различного качества – от низкотехнологичных до высокотехнологичных. В качестве примеров, иллюстрирующих практическую реализуемость предложенного алгоритма, построены прогнозы динамики выпуска в обрабатывающих отраслях экономик США, Кореи и России при достижении сбалансированных технологических структур и заданного объема выпуска на финише.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акаев А., Михайлушкин А., Сарыгулов А., Соколов В. // Экон. политика. 2009. № 2. С. 116–127.
2. Акаев А.А., Сарыгулов А.И., Соколов В.Н. // ДАН. Т. 429. № 2. С. 168–173.
3. Меньшиков С.М., Клименко Л.А. Длинные волны в экономике. М.: Междунар. отношения, 1989. 272 с.
4. Бендиков М.А., Фролов И.Э. Высокотехнологичный сектор промышленности России. М.: Наука, 2007. 583 с.
5. The Governments Manufacturing Strategy. L.: DIT UK, 2002.
6. Сахал Д. Технический прогресс: концепции, модели, оценки. М.: Финансы и статистика, 1985. 366 с.
7. European Commission. Towards European Research Area Science, Technology and Innovation – Key Figures. Brussels, 2007. P. 106.
8. OECD (Organization of Economic Cooperation and Development). StatExtracts <http://stats.oecd.org/wbos/Index.aspx>
9. Содружество независимых государств в 2005 году. М.: Междунар. статкомитет СНГ, 2006. 436 с.