

УДК 621.001.2:658.512.4

С. Г. СЕЛИВАНОВ, О. Ю. ПАНЬШИНА

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СМЕНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Разработаны новые математические модели процесса смены технологических укладов в промышленности. Для решения задачи используется математическая модель «производственных функций» средствами дифференциальных уравнений. На основе моделей разрабатывается программное обеспечение с помощью пакета MATLAB 7. Программное обеспечение позволяет определять продолжительность переходного процесса смены технологических укладов и осуществлять графическое построение данного переходного процесса. *Технологические уклады; математическое моделирование; научно-технический прогресс; программное обеспечение*

В настоящее время конкурентоспособность стран, регионов, предприятий, продукции и персонала определяется результативностью инноваций на основе: поддержки научных исследований в прорывных областях развития науки и технологий; разработки инновационных проектов государственного значения, ориентированных на технологическое перевооружение производства; интенсификации инновационного проектирования и разработок высоких и критических технологий.

Наукой установлено, что процессы развития производства являются не линейными, а волнообразными, что определяется динамикой смены технологических укладов.

Технологические уклады — это целостные комплексы технологически сопряженных производств, периодический процесс последовательного замещения которых определяет «длинноволновой» ритм современного экономического роста [1, 2].

Для исследования закономерностей и разработки моделей смены технологических укладов можно воспользоваться математическими моделями «производственных функций» [3, 4]. Производственная функция устанавливает зависимость между количеством применяемых ресурсов и максимально возможным объемом выпускаемой продукции в единицу времени, она обобщенно описывает всю совокупность технически эффективных способов производства (технологий).

Эмпирические концептуальные математические модели производственных функций [5] описывают различными аналитиче-

скими соотношениями: Кобба–Дугласа, Соллоу, Солгера, ПЭЗ, Леонтьева [3, 6]. Данные модели учитывают только параметры состояния системы (объемы используемых производственных ресурсов — объем основных фондов K и число занятых людей L , т. е. $Q = f(K, L)$). Необходимость учета входных переменных, факторов внешней среды и параметров состояния производственной системы привела к появлению системотехнических концептуальных моделей производственных функций [5]. К факторам внешней среды относятся: социальные, политические, природно-климатические и другие. В качестве входных переменных могут выступать: инвестиции (капиталовложения) и приток рабочей силы. При этом научно-технический прогресс (НТП) может рассматриваться по всем группам факторов входных переменных, внешней среды и состояния системы и проявляется в росте эффективности использования ресурсов.

На основании изложенных предпосылок предложена системотехническая концептуальная модель производственной функции (1) для разработки математических моделей процесса смены технологических укладов: 4 → 5 и/или 5 → 6. При этом четвертый технологический уклад {4} основан на существующих технологиях использования двигателей внутреннего сгорания и связанных с ними технологиях автомобилестроения и нефтехимических производств, пятый технологический уклад {5} основан на быстро развивающихся компьютерных технологиях и техно-

логиях микроэлектроники, шестой технологический уклад{6} — это перспектива создания биотехнологий, нанотехнологий и аэрокосмических технологий будущего.

Данная производственная функция (1) учитывает два типа инвестиций: инвестиции в основные производственные фонды и инвестиции в «человеческий капитал», что характерно для современного этапа развития передовых стран, [6]:

$$F(K, L) = K^\alpha \times H^\beta \times (Ae^{jt} \times L)^{1-\alpha-\beta}, \quad (1)$$

где K — объем основных фондов; L — число занятых людей; H — функция изменения состава высокопрофессиональной рабочей силы с учетом вложений в «интеллектуальный капитал» за счет формирования систем профессионального образования, основанных на инновационных образовательных технологиях и креативной педагогике; α — коэффициент эластичности производства по K ; β — коэффициент эластичности производства по L ; α и β отражают роль названных факторов в приросте конечного продукта; A — константа по объекту анализа (коэффициент эффективности производства); j — вклад НТП; t — текущее время.

Функцию изменения «интеллектуального капитала» можно представить в виде

$$H = e^{\Phi(t)} \times L, \quad (2)$$

где $e^{\Phi(t)}$ — эффективность единицы рабочей силы, имеющей t лет профессионального образования, по сравнению с единицей рабочей силы, имеющей общее образование.

Исходя из вышеизложенного, в статье предложены новые математические модели процесса смены технологических укладов, где инвестиции в смену технологических укладов можно осуществить в отношении названных ниже трех этапов: накоплений, отдачи накоплений и завершения переходного процесса к новому технологическому укладу.

Начальными условиями для построения математических моделей являются

$$\alpha + \beta \leq 1; \quad 0 < \alpha < 1.$$

Рассмотрим математические модели процесса смены i -го технологического уклада на $(i + 1)$ технологический уклад по названным выше трем этапам.

Первый этап — это этап накоплений. Накопления происходят за счет сокращения

удельного потребления в старом технологическом укладе до минимально допустимого уровня c_{\min} . Отдачи от вложений в новый способ производства еще нет, поэтому в этих условиях доминирует предшествующий технологический уклад

$$I(t) = (c_0 - c_{\min}) \times L_0 \times t, \quad (3)$$

где c_0 , L_0 — удельное потребление и число занятых людей на начало процесса смены технологического уклада соответственно.

Второй этап — это этап отдачи накоплений. Накопления предшествующего технологического уклада, инвестированные в новый технологический уклад, начинают давать отдачу. Старый технологический уклад в этом случае постепенно прекращает накопления для нового, а новый технологический уклад — начинает осуществлять накопления для своего самостоятельного развития.

Математическую модель второго этапа переходного процесса можно представить следующим образом

$$L_1(t) = \frac{(c_0 - c_{\min})L_0}{k_1} \times e^{\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta}k_1^{\alpha-1} \times e^{\beta b})e^{(\beta q + j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q + j(1-\alpha-\beta)} - \mu t} \times \int_{\tau}^t e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta}k_1^{\alpha-1} \times e^{\beta b})e^{(\beta q + j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q + j(1-\alpha-\beta)} dt. \quad (4)$$

где L_i — число занятых людей в i -м технологическом укладе, $i = 0, 1$; k_i — фондовооруженность в i -м технологическом укладе, $i = 0, 1$; p — норма накопления (доля валовых инвестиций во внутренний валовой продукт); a — коэффициент прямых затрат (доля промежуточного продукта в валовом выпуске); μ — доля выбывших за год основных производственных фондов; τ — лаг инвестиций этапа. Функция $\Phi(t)$ из уравнения (2) описана с помощью линейной зависимости и представлена в общем аналитическом виде следующим образом: $\Phi(t) = b + q \times t$.

При $t = 2\tau$ уравнение (4) имеет следующее решение:

$$L_1(2\tau) = \frac{(c_0 - c_{\min})L_0}{k_1} \times e^{\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta}k_1^{\alpha-1} \times e^{\beta b})e^{2(\beta q + j(1-\alpha-\beta))\tau}}{\beta q + j(1-\alpha-\beta)} - 2\mu\tau} \times$$

$$\times \int_{\tau}^{2\tau} e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} \times e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} dt. \quad (5)$$

Момент окончания переходного процесса T определяется из уравнения (6)

$$\ln \frac{(c_0 - c_{\min})}{k_1} + \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b})}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} \times \\ \times e^{2(\beta q+j(1-\alpha-\beta))T} - \mu T + \\ + \int_{\tau}^T e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))T}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} dT = \\ = 0. \quad (6)$$

Третий этап — этап завершения переходного процесса. На этом этапе полностью закончен ввод основных фондов нового технологического уклада за счет накопления средств предшествующего технологического уклада, далее новый технологический уклад развивается за счет собственных накоплений и инвестиций. Переходный процесс заканчивается, когда основные фонды нового технологического уклада смогут поглотить все свободные трудовые ресурсы L производственных предприятий. После полного вытеснения старого технологического уклада с момента $t = T$ начинается обычный переходный процесс развития в модели для нового технологического уклада.

Математическую модель третьего этапа переходного процесса можно представить следующим образом:

$$L_1(t) = \frac{(c_0 - c_{\min})L_0}{k_1} \times \\ \times e^{\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} - \mu t} \times \\ \times \int_{\tau}^{2\tau} e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} \times e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} dt. \quad (7)$$

Момент окончания переходного процесса T определяется из уравнения

$$\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} - \mu t = \\ = -\ln \int_{\tau}^{2\tau} e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} dt -$$

$$-\ln \frac{(c_0 - c_{\min})}{k_1} \quad (8)$$

Для вышеприведенных уравнений (4)–(8)

$$\int_{\tau}^T e^{\mu t} \frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b}) e^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))t}}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} dt = \\ = \sum_{i=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^i \left(\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b})}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} \right)^i}{(i)!((\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu)} \times \right. \\ \left. \times \left((e^t)^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu} - (e^T)^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu} \right) \right], \quad (9)$$

Рассмотрим более подробно полученный ряд для решения интеграла из уравнения (9)

$$\sum_{i=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^i \left(\frac{(p(1-a)A^{1-\alpha-\beta} k_1^{\alpha-1} e^{\beta b})}{\beta q+j(1-\alpha-\beta)} \right)^i}{(i)!((\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu)} \times \right. \\ \left. \times \left((e^t)^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu} - (e^T)^{(\beta q+j(1-\alpha-\beta))^i + \mu} \right) \right], \quad (10)$$

Для определения членов ряда (10) необходимо задать:

- 1) точность вычислений;
- 2) численные значения входящих в ряд (10) переменных.

Количество членов ряда определяется заданной точностью, т. е. до тех пор, пока не получим искомый член ряда, меньший заданной ранее точности вычислений.

На основании предложенных математических моделей смены технологических укладов разработано программное обеспечение на базе системы MATLAB 7.0.1. «Расчет и моделирование процесса смены технологических укладов», интерфейс которого виден из рис. 1.

Для построения рассмотренных выше математических моделей процесса смены технологических укладов необходимо ввести исходные данные (рис. 1).

После ввода исходных данных можно переходить к построению графических представлений математических моделей процесса смены технологических укладов, первоначально определив продолжительность переходного процесса.

При выборе меню «Определение продолжительности» появляется диалоговое сообщение с запросом точности вычисления ряд



Рис. 1. Последовательность ввода исходных данных

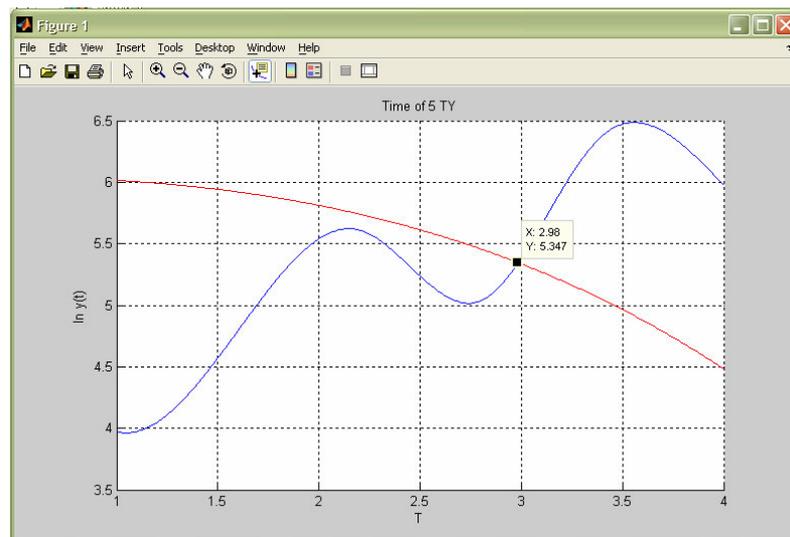


Рис. 2. Определение продолжительности переходного процесса (4 → 5) от четвертого технологического уклада к пятому

да (10), в данном случае рекомендуемая точность 0,01. Продолжительность переходного процесса T определяется графическим методом по уравнению (6) или (8), так как T в данных уравнениях представлено неявно (рис. 2).

Определив продолжительность переходного процесса, можно построить упрощенные графические модели переходного процесса к пятому технологическому укладу (рис. 3) для второго и третьего этапов (4) и (7), с указанием продолжительности переходного процесса в виде вертикальной линии ограничения.

Представленную на рис. 3 модель можно объяснить следующим образом (рис. 4).

После построения графической модели пятого технологического уклада можно определить переходный процесс смены технологических укладов: 4 → 5 (рис. 5). На рис. 5 можно выделить следующие участки:

1) участок до точки перегиба — развитие 5 технологического уклада;

2) участок от точки перегиба — реконструкция и техническое перевооружение предприятий 5 технологического уклада и зарождение 6 уклада, в связи с чем осуществляется переход рабочей силы в 6 уклад.

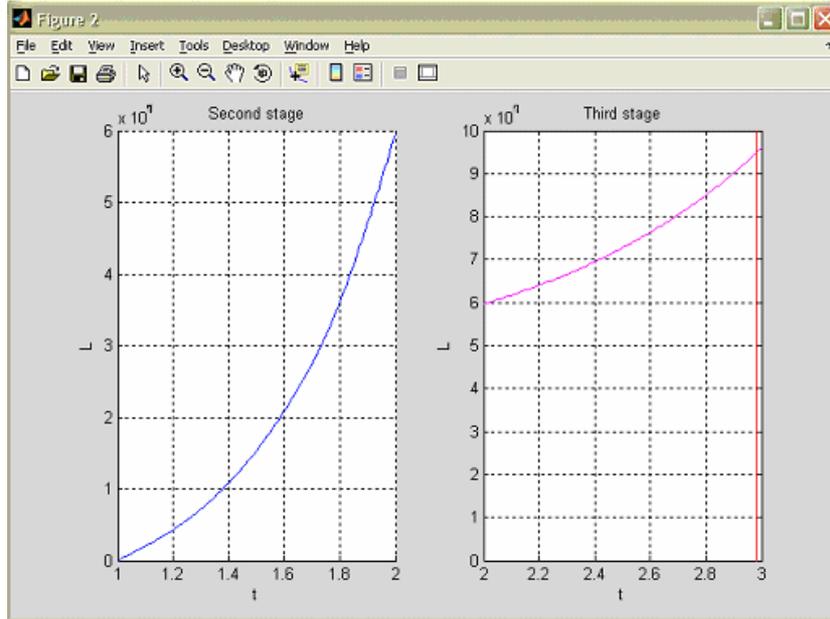


Рис. 3. Графические модели переходного процесса к пятому технологическому укладу

Из анализа полученных математических моделей можно сделать следующие заключения. Представленная на рис. 5 модель переходного процесса позволяет исключить площадку стагнации и деградации уклада жизненного цикла из-за непринятия мер по своевременному началу управления развитием ($i + 1$) технологического уклада.

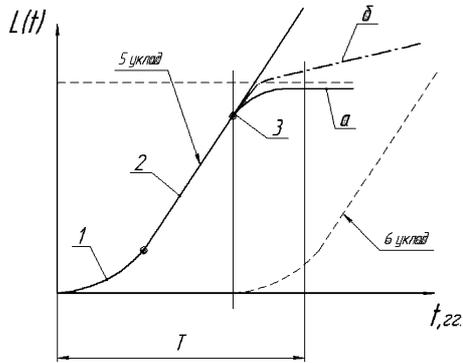


Рис. 4. Теоретическая модель развития пятого технологического уклада: 1 – этап строительства новых предприятий; 2 – этап нового строительства и расширения предприятий; 3 – этап реконструкции и технического перевооружения предприятия i -го уклада: a – без привлечения дополнительной рабочей силы; b – с минимальным привлечением дополнительной рабочей силы из многоукладной экономики или за счет миграции населения

Из анализа математических моделей смены технологических укладов можно сделать и другие выводы, важные для решения задач подготовки и переподготовки конкурентоспособного персонала.

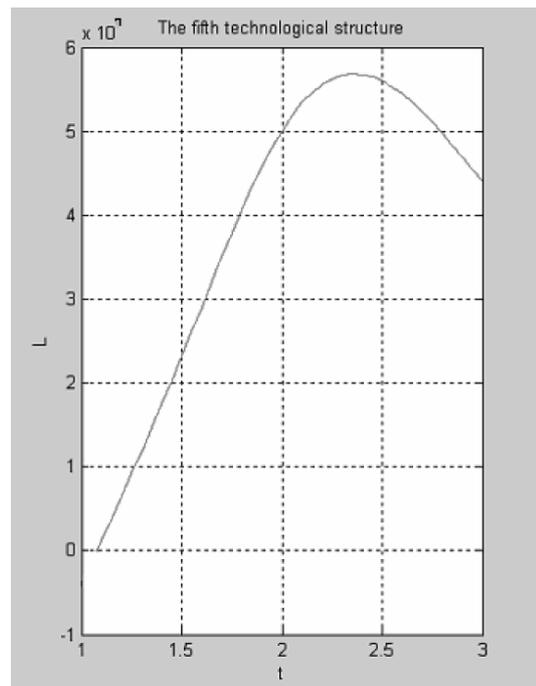


Рис. 5. Переходный процесс смены технологических укладов 4 → 5

Во-первых, конкурентоспособность государств, отраслей промышленности, регионов и предприятий на мировом рынке в инновационной экономике определяется уже не столько дешевой продукцией, рабочей силой или технологическим оборудованием, сколько инновационной привлекательностью продукции, качеством труда – уровнем профессионального образования работников и конкурентоспособностью персонала,

способного быстро осваивать новые изделия и технологии, конкурентоспособные на любых рынках.

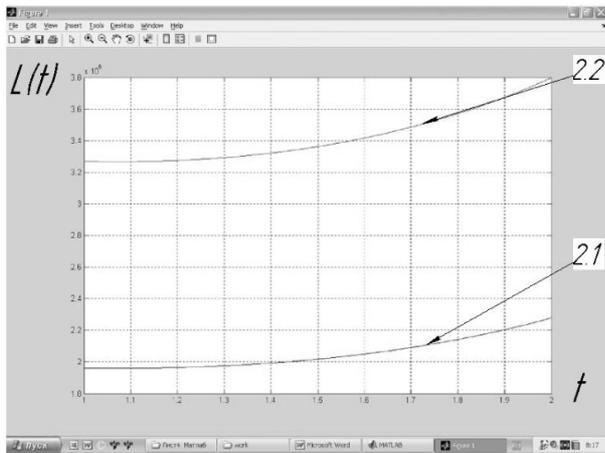


Рис. 6. Графические модели процесса увеличения первоначальных трудовых ресурсов L_0 за счет экстенсивного развития технологического уклада: 2.1 — графическая модель процесса смены технологических укладов для 2 этапа; 2.2 — графическая модель процесса смены технологических укладов для 2 этапа при увеличении первоначальных ресурсов

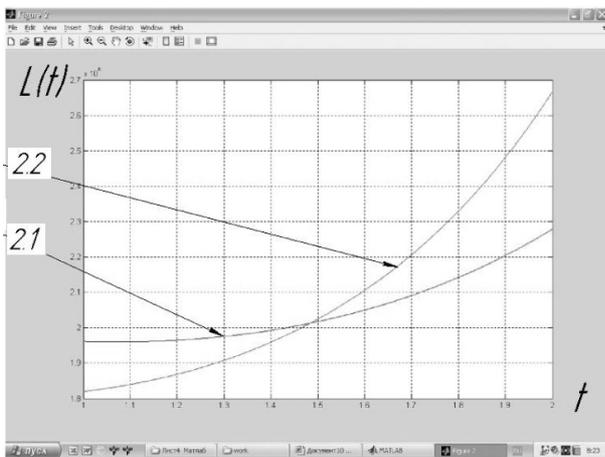


Рис. 7. Графические модели процесса увеличения вклада НТП- j : 2.1 — графическая модель процесса смены технологических укладов для 2 этапа; 2.2 — графическая модель процесса смены технологических укладов для 2 этапа при увеличении вклада НТП (j)

Во-вторых, увеличение числа занятых в общественном производстве людей L_0 (например, за счет сокращения безработицы, уменьшения сроков службы молодых людей в Вооруженных силах, сокращения численности вузов, нарастающих на бирже труда очередь невостребованных рынком труда специалистов) не ведет к ускоренному завершению переходного этапа формирования инновационной экономики пятого технологиче-

ского уклада, так как график L_0 модели перемещается вверх по эквидистанте (рис. 6).

При увеличении j — вклада инновационной деятельности и/или научно-технического прогресса (НТП), как в виде инвестиций в обновление основных производственных фондов (капиталовложения), так и в «человеческий капитал» график модели смещается вверх при меньшей численности трудовых ресурсов и сокращается время переходного процесса (рис. 7).

В-третьих, анализ статистических данных, использованных для математического моделирования, показывает, что в нашей стране имеются существенные проблемы ускорения переходного периода смены технологических укладов и быстрого создания конкурентоспособной инновационной экономики:

- медленное развитие национальной инновационной системы;
- сокращение числа создаваемых передовых технологий;
- недостаточное количество создаваемых промышленных образцов;
- медленное внедрение изобретений и полезных моделей;
- неудовлетворительное решение задач подготовки конкурентоспособного персонала (рабочих и специалистов для промышленности).

В той части, которая касается последнего тезиса подготовки конкурентоспособного персонала для обеспечения перехода к инновационным образовательным программам многоуровневого обучения и подготовки специалистов, способных создать конкурентоспособную продукцию и поставить на производство технику новых поколений, предлагается на основе разработки Государственных образовательных стандартов новых поколений перейти к инновационным образовательным программам. Существующие в настоящее время разрозненные курсы, которые вузы самостоятельно разрабатывают в рамках национально-региональных компонентов и элективных курсов, не позволяют устранить противоречие между государственной политикой в области развития науки, образования и практикой инновационного проектирования. Выпускники технических вузов, как правило, имеют недостаточную теоретическую и практическую подготовку в области инновационного проектирования, создания высоких и критических технологий, постановки на производство конкурентоспособ-

ной техники новых поколений, разработки проектов технологического перевооружения производства.

Для обеспечения перехода к инновационным образовательным программам многоуровневого обучения предлагается реализовать новую концепцию развития инновационных образовательных программ (технологий). Она предусматривает:

- разработку программ непрерывной инновационной подготовки специалистов;
- преподавание новой дисциплины — «Инноватика»;
- включение в перечни дисциплин национально-региональных компонентов и элективных курсов дисциплины по изучению студентами новейших (высоких и критических) технологий, обеспечивающих прорывы в развитии производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью изложенных методов математического моделирования производственной функции и процесса смены технологических укладов средствами математического анализа можно оценить влияние всех перечисленных выше факторов на экономический рост и повышение производительности труда средствами управления научно-техническим прогрессом (инновационной деятельностью). На основании статистических данных, использованных в ходе математического моделирования можно сделать выводы о необходимости изменения научно-технической (инновационной и инвестиционной) политики в обеспечение перехода к управлению по аперiodическому закону расширенного воспроизводства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Глазьев, С. Ю.** Экономическая теория технологического развития / С. Ю. Глазьев. М. : Наука, 1990.
2. **Глазьев, С. Ю.** Теория долгосрочного технико-экономического развития / С. Ю. Глазьев. М. : ВлаДар, 1993.
3. **Ашманов, С. А.** Математические модели и методы в экономике : учеб. пособие для вузов по спец: «Экон. кибернетика» / С. А. Ашманов. М. : Изд-во МГУ, 1980. 199 с.
4. **Клейнер, Г. Б.** Производственные функции: теория, методы, применение / Г. Б. Клейнер. М. : Финансы и статистика, 1986. 239 с.
5. **Селиванов, С. Г.** Математическое моделирование процесса смены технологических укладов и разработка системы научно-технической подготовки производства / С. Г. Селиванов, О. Ю. Паньшина // Вестник УГАТУ. 2006. Т. 7, № 2 (15). С. 10–19.
6. **Лукашин Ю.** Производственные функции в анализе мировой экономики / Ю. Лукашин, Л. Рахлина // Мировая экономика и международные отношения. 2004. № 1. С. 17–27.

ОБ АВТОРАХ

Селиванов Сергей Григорьевич, проф., каф. технол. машиностроения. Дипл. инж. по автоматиз. и компл. механ. машиностроения (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по технол. машиностроения (Мосстанкин, 1991). Иссл. в обл. технол. подгот., реконстр., организации производства.



Паньшина Ольга Юрьевна, аспирантка той же кафедры, инженер ОАО «УМПО». Дипл. магистр техники и технологии по технологии машиностроения (УГАТУ, 2006).