

С. Г. СЕЛИВАНОВ, Ю. М. ИВАНОВ, В. В. НИКИТИН

## МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Для обеспечения смены технологических укладов в статье разработаны автоматизированные методы технологической подготовки производства, обеспечивающие проектирование технического перевооружения машиностроительных предприятий. В публикации впервые установлены закономерности и зависимости для анализа загрузки производственных мощностей и многокритериальной оптимизации проектных технологических процессов. *Иноватика; технологическая подготовка производства в машиностроении; автоматизация технологического проектирования; техническое перевооружение производства*

### ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике экономического роста промышленно-развитых стран пропорции в тенденциях развития имеют в настоящее время высокие соотношения в пользу технологических сдвигов средствами инновационной экономики [1]:

- значимость научно-технического прогресса среди факторов, влияющих на рост реального национального дохода США, в первой половине XX в. колебалась в среднем на уровне 28%;

- в исследованиях, выполненных в США после II мировой войны отмечалось, что 43% прироста внутреннего валового продукта обеспечивают изобретательство, технический прогресс, образование и другие источники;

- в конце XX в. нобелевский лауреат Р. Солоу установил, что значение технологических сдвигов (87,5%) для экономического роста США существенно выше, чем капитала и труда (12,5%).

Названные закономерности интенсивного экономического роста уже освоены многими быстро развивающимися странами: не только Японией, США, Германией, но и Китаем, Кореей, Сингапуром, Тайванем, Мексикой. Они стремятся обеспечить свой экономический рост за счет быстрого развития пятого технологического уклада: производства телекоммуникационного оборудования, создания компьютерных технологий, выпуска оптических инструментов и приборов, электроэнергетического оборудования и приборов, современных автотранспортных средств, медицинской техники, интенсивного развития других наиболее динамично прогрессирующих рынков.

Наша страна в настоящее время начала осуществлять переход к становлению конкурентоспособной инновационной экономики, обеспечивающей высокие темпы роста промышленного производства на основе решения задач управления технологическими сдвигами путем технического (технологического) перевооружения производства. Например, в Послании Президента РФ Федеральному собранию РФ от 10 мая 2006 г. отмечено:

- 1) мы уже приступили к осуществлению конкретных шагов по изменению структуры нашей экономики (об этом ранее много говорили), приданию ей инновационного качества;

- 2) большая часть технологического оборудования, используемого сейчас российской промышленностью, отстает от передового уровня даже не на годы, а на десятилетия;

- 3) нам надо сделать серьезный шаг к стимулированию роста инвестиций в производственную инфраструктуру и в развитие инноваций;

- 4) Россия должна в полной мере реализовать себя в таких высокотехнологичных сферах как современная энергетика, коммуникации, космос, авиационное строительство, должна стать крупным экспортером интеллектуальных услуг;

- 5) необходимо создать условия для ускоренного технологического обновления.

Важнейшими условиями ускоренного технологического обновления отраслей промышленности наряду с созданием техники новых поколений, разработкой высоких и критических технологий, подготовкой инвестиционных и инновационных проектов технологического перевооружения производства является создание автоматизированных систем технологической подготовки технического перевооружения производства.

### 1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Структура ориентированной на технологическую подготовку производственных мощностей автоматизированной системы технологической подготовки технического перевооружения производства представлена [1] на рис. 1. Входными потоками в рассматриваемой системе управления технологическим перевооружением производства являются не только организационно-распорядительная документация о постановке новых изделий на производство, но и документация технических проектов новых изделий, которые относятся либо к высокой технологии их использования, либо к критической технологии их применения по назначению, если речь идет о продукции нового поколения.

Каждая из названных на рис. 1 функций может быть представлена блок-схемами задач и процедур. Результаты такого системотехнического проектирования позволяют разрабатывать методы решения проектно-технологических задач, которые обеспечиваются средствами математического моделирования и оптимизации проектно-технологических решений и разработки проектной документации на ЭВМ. В связи с их большим разнообразием в данной публикации мы рассмотрим не все методы автоматизации, а только главные из них – те, которые обеспечивают организацию и управление инвестиционными и инновационными проектами и разработку техно-

логических процессов, которые являются основой для технологической части проектов технического перевооружения производства.

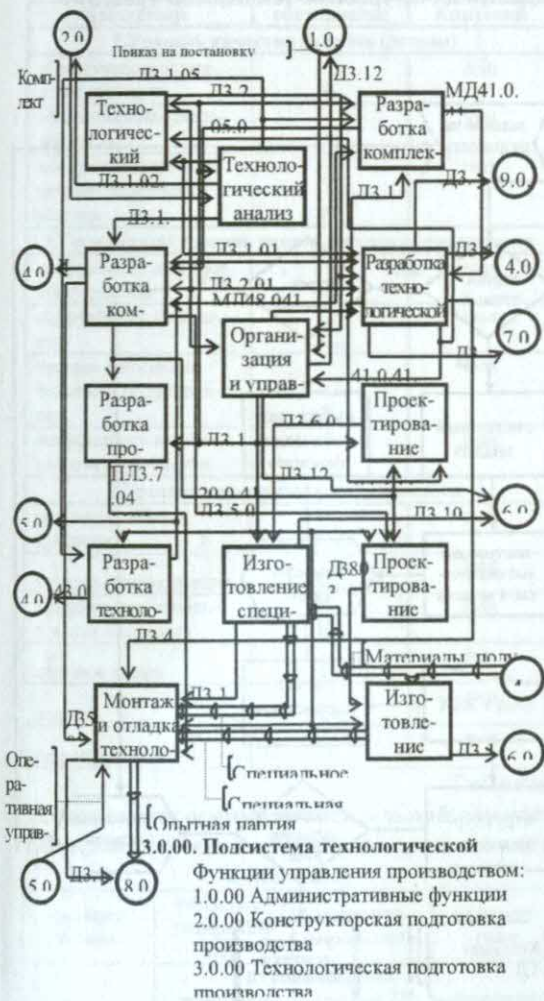
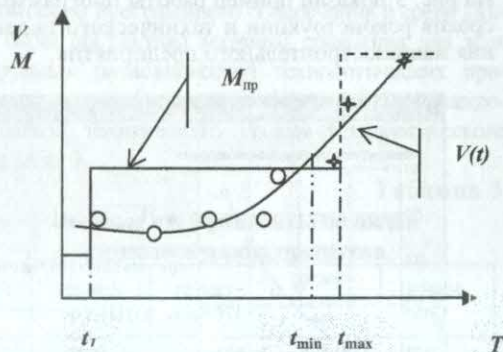


Рис. 1. Блок-схема функций системы технологической подготовки технического перевооружения производства

## 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕООРУЖЕНИЯ

Управление разработкой инновационного проекта обычно предусматривает его планирование, определение стоимости, ресурсов и бюджета, оценку качества, разработку системы информационного обеспечения и обеспечение продвижения разработок к намеченной цели.

В условиях осуществления хозяйственного способа проведения таких работ силами предприятия важно знать сроки выполнения работ по реконструкции или техническому перевооружению цехов или участков и обеспечение технологической готовности производственных мощностей предприятия к выпуску новой продукции. Рассредоточенные во времени точки перехода производственного подразделения из зоны резерва в зону дефицита производственных мощностей можно рассчитать в численном виде для определения сроков ( $t_{min}$ ,  $t_{max}$ ) проведения реконструкции или технического перевооружения с помощью схемы (рис. 2) следующим образом.



Условные обозначения

- - отчетные данные по объемам производства;
- + - расчетные данные по объемам производства на перспективу.

Рис. 2. Изменение соотношений объемов производства изделий и проектной производственной мощности

На основании приведенного графика можно определить  $t_{min}$  и  $t_{max}$  следующим образом:

$$k \int_{t_1}^{t_{min}} v(t) dt = \int_{t_1}^{t_{max}} M_{пр} dt, \quad (1)$$

$$V(t_{max}) = S_{max} F, \quad (2)$$

где  $t_{min}$  - наиболее ранний срок технического перевооружения (реконструкции);

$t_{max}$  - наиболее поздний срок технического перевооружения (реконструкции);

$t_{ok}$  - расчетный срок окупаемости капиталовложений, определенный в акте ввода дополнительных производственных мощностей в момент  $t_1$ ;

$t_1$  - срок предшествующей реконструкции, расширения или строительства цеха (создания участка);

$V(t)$  - функция изменения объемов выпуска продукции во времени;

$k$  - коэффициент изменения приведенных затрат с момента  $t_1$ ;

$M_{пр}$  - проектная производственная мощность (пропускная способность);

$S_{max}$  - максимально возможное число единиц оборудования в цехе

или на производственном участке;

$F$  - годовой действительный (эффективный) фонд времени работы единицы оборудования.

Для решения этих уравнений, т. е. определения сроков реконструкции и (или) технического перевооружения использовалась известная математическая система *MATLAB*. Новым в ее использовании стало применение математического пакета *MATLAB* для решения задач технического перевооружения предприятий, в данном случае для определения сроков реконструкции и технического перевооружения.

При построении математических моделей (1, 2) функции изменения объемов производства  $V(t)$  для оценки достоверности расчетов программа рассчитывает критерий согласия Пирсона для всех степеней полиномов.

Далее при помощи встроенных функций *MATLAB* (*polyfit*, *polyval*, *roots*) определяются сроки реконструкции и технического перевооружения цехов и участков машиностроительного производства. Программа расчета сроков реконструкции позволяет переводить полученные данные в календарные дни.

На рис. 3 показан пример работы программы расчета сроков реконструкции и технического перевооружения машиностроительного предприятия.

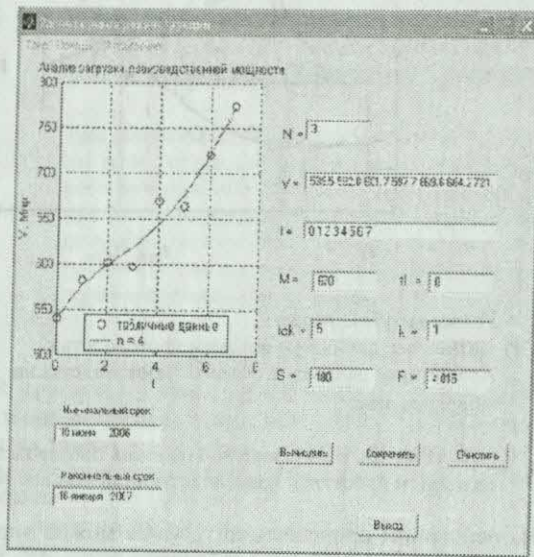


Рис. 3. Пример расчета сроков технического перевооружения

Зная данные о сроках технического перевооружения, которые по результатам приведенных выше расчетов отражаются в календарных план-графиках выполнения работ, можно заблаговременно приступить к разработке проектов технического перевооружения, центральной частью которых является разработка проектных технологических процессов.

### 3. АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Проектные (перспективные, директивные, высокие, критические технологии) технологические процессы позволяют обеспечить постановку на производство новой конкурентоспособной техники (продукции, изделий). Комплект проектной технологической документации, перспективные и директивные технологические процессы (рис. 4) позволяют ответить на необходимые для технологического проектирования вопросы: определения трудоемкости, станкоемкости и ремонтостойкости производства; расчетов количества единиц оборудования, площадей, числа работающих; выполнения чертежей технологических компоновок и планировок оборудования и т. д.

Из приведенной схемы (рис. 4) видно, что центральными задачами системотехнического проектирования в данном случае являются проблемы математического моделирования и оптимизации проектных (перспективных, директивных) технологических процессов. Для решения этих задач можно воспользоваться различными методами: теории графов, теории игр и теории статистических решений, средствами искусственного интеллекта [2] и другими методами, которые, как правило, не ориентированы на многокритериальную совместную оптимизацию проектно-технологических решений как по критериям максимальной экономической эффективности, так и максимумов показателей технического уровня.

В целях использования рассмотренных методов многокритериальной оптимизации для анализа высоких технологий (технологических процессов) определим их по уровням технологии (рис. 5)

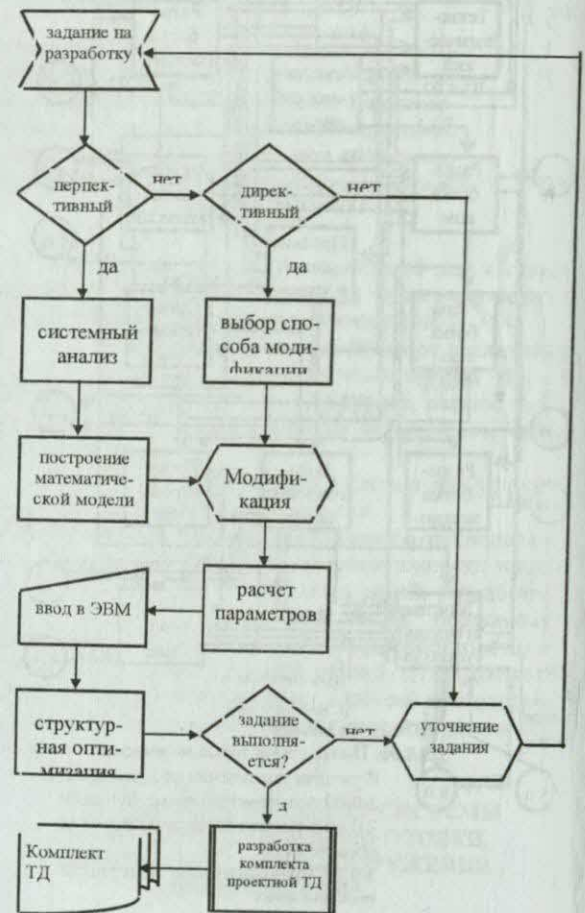


Рис. 4. Информационно-функциональная схема проектирования технологических процессов

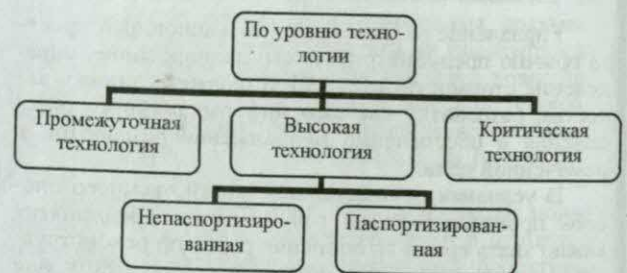


Рис. 5. Уровни технологических процессов

Показатели, которые чаще всего используют для выбора высоких технологий в проектно-технологическом деле для технического перевооружения производства, рассматриваются в табл. 1, 2.

Таблица 1  
Обозначения показателей технического уровня технологии

показатели	обозначение	Критерий
<b>1.Уровень качества изделия (детали)</b>		
обеспечиваемый квадрат точности	$K_T$	min
обеспечиваемая шероховатость	$R_{\alpha}$	min
технологическое обеспечение надежности изделия	$N_{\text{И}}$	max
<b>2.Технический уровень используемого оборудования</b>		
коэффициент загрузки оборудования	$K_z$	max
коэффициент сменности	$K_{\text{см}}$	max
уровень производительности оборудования	$\Pi_T$	max
коэффициент технического использования	$\eta_{\text{ТИ}}$	max
<b>3.Уровень технологического процесса</b>		
производственная мощность	$M \rightarrow \Pi_T$	max
уровень автоматизации	$K_{\text{авт}}$	max
коэффициент использования материала	$K_{\text{им}}$	max
штучное время	$T_{\text{шт}}$	min
затраты	$C_{\text{тп}}$	min
разряд работ	$P$	min

Таблица 2

Распределения оценки относительной важности требований по технологическим процессам (технологиям)

промежуточная	непаспортизованная		паспортизованная		критическая		
	типовой ТП	групповой ТП	перспективный ТП (проектный)	директивный ТП			
$C_{\text{тп}}$	1	$C_{\text{тп}}$	1	$N_{\text{И}}$	1	$R_{\alpha}$	1
$T_{\text{шт}}$	2	$T_{\text{шт}}$	2	$R_{\alpha}$	2	$K_T$	1
$K_{\text{им}}$	3	$K_{\text{им}}$	3	$K_T$	3	$N_{\text{И}}$	1
$P$	4	$P$	4	$C_{\text{тп}}$	5	$P$	5
$K_{\text{загр}}$	5	$K_{\text{загр}}$	5	$T_{\text{шт}}$	7	$K_{\text{им}}$	5
$\Pi_T$	5	$\Pi_T$	5	$K_{\text{им}}$	8	$T_{\text{шт}}$	5
$K_{\text{см}}$	5	$K_{\text{см}}$	5	$K_{\text{загр}}$	8	$C_{\text{тп}}$	5
$\eta_{\text{ТИ}}$	5	$\eta_{\text{ТИ}}$	5	$\Pi_T$	8	$K_{\text{загр}}$	7
$K_{\text{авт}}$	5	$K_{\text{авт}}$	5	$K_{\text{см}}$	8	$K_{\text{см}}$	7
$R_{\alpha}$	9	$R_{\alpha}$	7	$\eta_{\text{ТИ}}$	8	$\Pi_T$	7
$K_T$	9	$K_T$	7	$K_{\text{авт}}$	8	$K_{\text{авт}}$	7
$N_{\text{И}}$	9	$N_{\text{И}}$	7	$P$	9	$\eta_{\text{ТИ}}$	7
важность показателя		важность показателя		важность показателя		важность показателя	

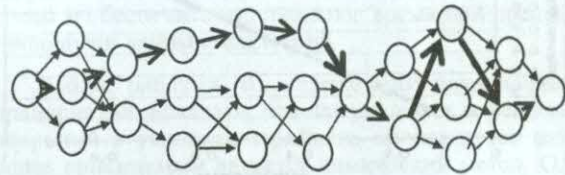
С помощью программного обеспечения в среде Matlab 6.5, были составлены матрицы сравнения для всех анализируемых разновидностей технологических процессов и определены весовые коэффициенты для каждого показателя технического уровня технологического процесса табл. 3.

Таблица 3

Весовые коэффициенты по видам технологических процессов

типовой ТП	групповой ТП	проектный ТП	директивный ТП	показатель
0.2530	0.2623	0.2832	0.2059	$C_{\text{тп}}$
0.1867	0.1809	0.1983	0.2059	$T_{\text{шт}}$
0.1345	0.1809	0.1351	0.2059	$K_{\text{им}}$
0.0942	0.1170	0.0867	0.1103	$P$
0.0594	0.0709	0.0480	0.0534	$K_{\text{загр}}$
0.0594	0.0432	0.0678	0.0534	$\Pi_T$
0.0594	0.0257	0.0480	0.0534	$K_{\text{см}}$
0.0594	0.0257	0.0480	0.0224	$\eta_{\text{ТИ}}$
0.0594	0.0257	0.0480	0.0224	$K_{\text{авт}}$
0.0115	0.0257	0.0115	0.0224	$R_{\alpha}$
0.0115	0.0257	0.0115	0.0224	$K_T$
0.0115	0.0164	0.0115	0.0224	$N_{\text{И}}$

В качестве примера многокритериальной оптимизации технологического процесса в данной публикации рассмотрены технологические процессы изготовления деталей типа «фланец» с помощью разработанного в среде Matlab 6.5 программного обеспечения и сетевых математических моделей (рис. 6).



○ – вариант выполнения технологической операции;

→ – возможная последовательность выполнения технологических операций (маршрутный технологический процесс)

Рис. 6. Пример многовариантного сетевого технологического графа

По полученным результатам кроме многокритериальной оптимизации проектного технологического процесса выявлен также ряд зависимостей (рис. 7) между различными показателями технологических процессов, которые учитывают показатели их технического уровня. Эти взаимосвязи позволили определить Парето-оптимальные технологические процессы для проекта технического перевооружения механического цеха.

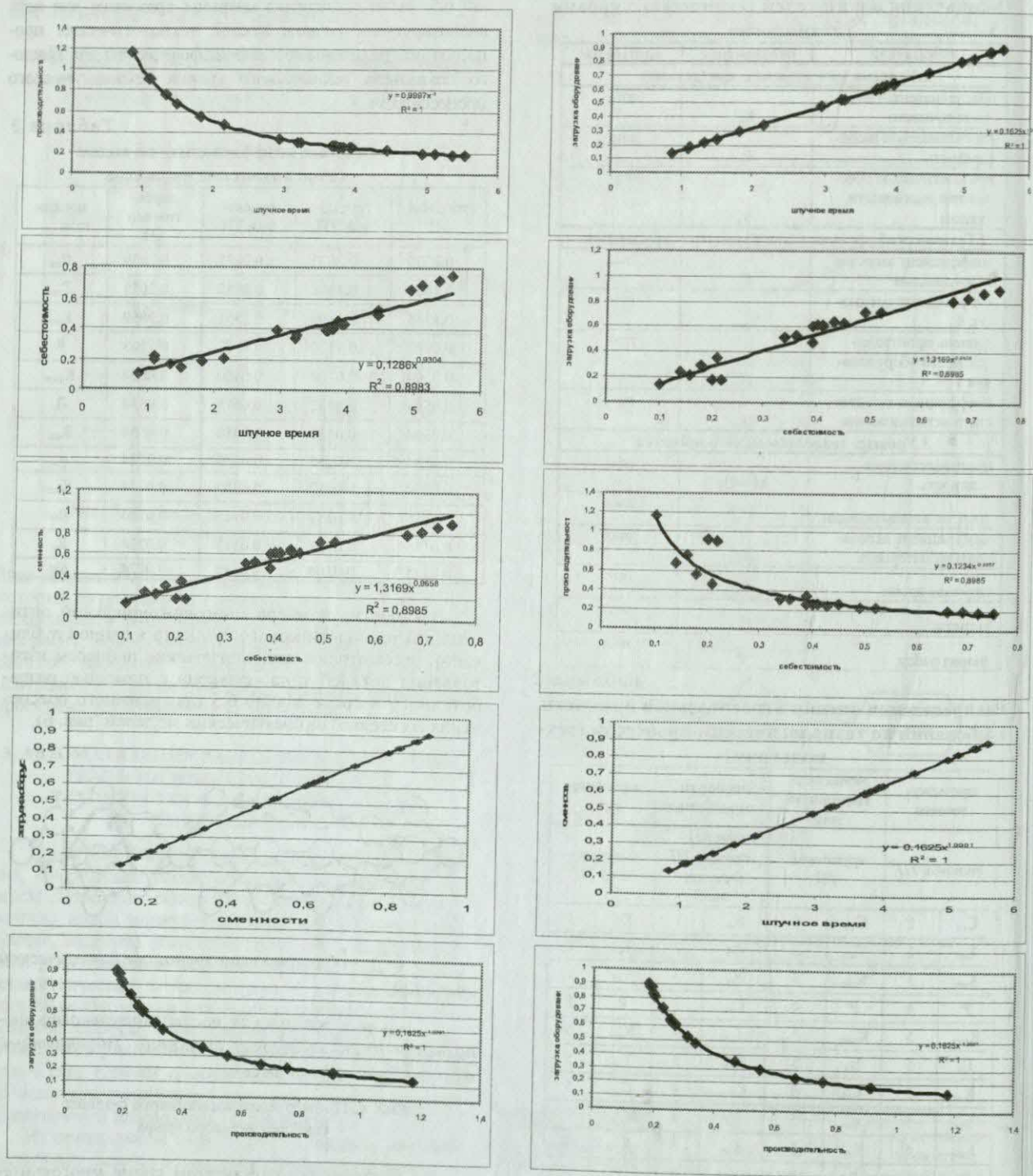


Рис. 7. Эмпирические взаимосвязи и изменения основных технико-экономических показателей технологических процессов, учитывающие технический уровень технологий

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов, С. Г. Технологическая инноватика / С. Г. Селиванов. М.: Наука, 2004. 283 с.
2. Селиванов, С. Г. Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства / С. Г. Селиванов, М. В. Иванова. Уфа: Гилем, 2001. 310 с.