

С. Г. Селиванов, В. В. Никитин, В. Г. Шпилова

ЛОГИКО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ФОНДОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены задачи внедрения бережливого производства в авиадвигателестроении. Предложен и разработан логико-генетический метод для многокритериальной оптимизации фондосберегающих технологических процессов. Проведено математическое моделирование и получены результаты внедрения логико-генетического метода на примере оптимизации технологического процесса изготовления деталей типа «Крышка». АСТПП; ресурсосбережение; генетические алгоритмы; многокритериальная оптимизация

Одной из актуальных проблем обеспечения конкурентоспособности современного машиностроительного производства является создание и внедрение автоматизированных систем технологической подготовки бережливого производства (АСТПП-LP). Значение внедрения таких систем бережливого производства для российских предприятий огромно. Финансовые и маркетинговые вопросы успешные компании в основном уже научились решать, однако отечественная продукция часто неконкурентоспособна во многом из-за того, что при ее производстве часто возникают очень высокие издержки. Кроме того, значительная часть выпускаемых товаров не соответствует мировым стандартам по качеству. Для вывода производства из этого состояния, с помощью систем технологической подготовки бережливого производства, необходимо:

- разрабатывать и внедрять ресурсосберегающие¹, в том числе фондосберегающие технологические процессы (рис. 1);

Контактная информация: (347) 272-26-76.

¹ *Материалосбережения* (безотходные и малоотходные технологии, технологические процессы, снижающие потери от брака и обеспечивающие экономно остроресурсные и драгоценных металлов в производстве); *трудосбережения* (снижение затрат подготовительно-заключительного и штучного времени на изготовление изделий, увеличение коэффициента штучного времени по условиям многостаночного обслуживания, снижение потерь времени на техническое и организационное обслуживание оборудования, быстрое восстановление его работоспособности при отказах); *фондосбережения* (модернизация оборудования, снижение потребности в площадях и удельных производственных площадей на единицу оборудования, снижение запасов оснастки, складских запасов запчастей для ремонта оборудования и т. п.); *энергосбережения* (минимизация расхода электроэнергии, газа, технической воды, пара,

- высвободить из производственного процесса физически изношенное и морально-устаревшее оборудование;

- сокращать удельные площади под оборудование;

- сокращать избыточные запасы средств технологического оснащения, материалов, деталей.

Задачи главных специалистов (главного технолога, главного металлурга, главного сварщика) при внедрении системы бережливого производства в рамках функции АСТПП-LP «Разработка комплекта технологической документации перспективных ресурсосберегающих технологических процессов» (рис. 1) заключаются не только в оптимизации технологических процессов, но также эти работы предусматривают [2]:

- 1) разработку и внедрение трудосберегающих, материалосберегающих, фондосберегающих, энергосберегающих технологических процессов;

- 2) разработку унифицированных технологических процессов (типовых, групповых, стандартных);

- 3) обеспечение ресурсосбережения при разработке и внедрении перспективных и диверсифицированных технологических процессов;

- 4) обеспечение внедрения быстропереналаживаемых средств технологического оснащения;

- 5) разработку технологических процессов переработки отходов, в том числе изготовления из отходов изделий подсобного производства, возврата отработанной технической воды, регенерации СОЖ и т. д.;

- 6) внедрение прогрессивных материальных норм и нормативов (расхода материалов, запасов оснастки, стойкости инструментов);

вакуума, удельных расходов топлива и других топливно-энергетических ресурсов)

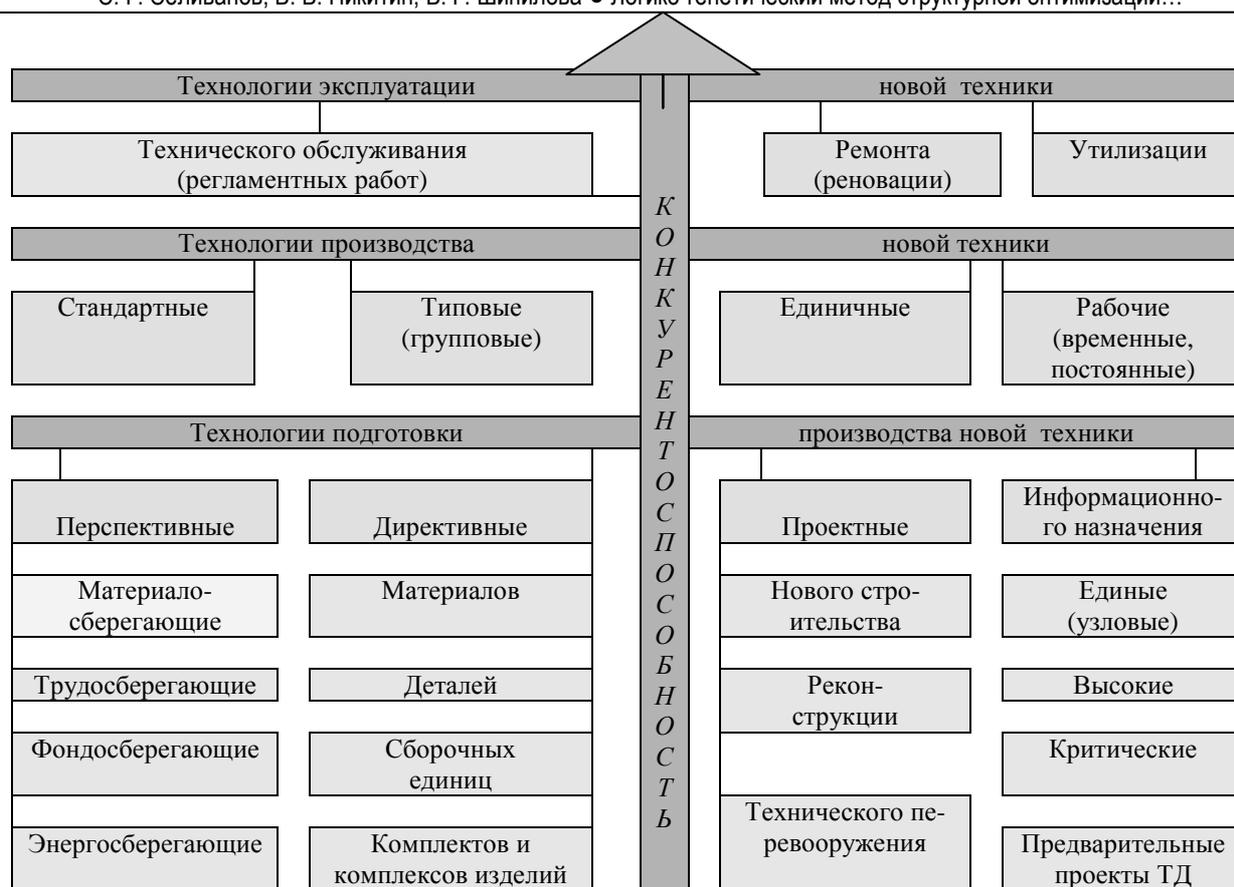


Рис. 1. Классификация технологий, обеспечивающих конкурентоспособность изделий машиностроения

7) внедрение технически обоснованных норм времени, в том числе экспериментально-аналитических, полученных по результатам фотографии рабочего дня и хронометража.

Опыт внедрения бережливого производства в авиадвигателестроении на Pratt & Whitney (США) показал [1], что к моменту завершения проекта по переходу на бережливое производство на предприятии не осталось ни одного процесса, который бы не прошел через процедуру усовершенствования на основе принципов бережливого производства хотя бы один раз.

1. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В данной публикации для разработки автоматизированной системы технологической подготовки бережливого производства (АСТПП-LP) предложен и обоснован логико-генетический метод оптимизации фондосберегающих технологических процессов, который наряду с

методами разработки материалосберегающих, трудосберегающих и энергосберегающих технологий обеспечивает комплекс работ по ресурсосбережению в машиностроении.

Предложенный ниже метод основан на использовании генетических алгоритмов для многокритериальной оптимизации фондосберегающих технологических процессов. В качестве критериев оптимизации фондосберегающего технологического процесса на основании предварительно отобранных на сетевом технологическом графе (рис. 2) вариантов технологических процессов, обеспечивающих наименьшие значения приведенных затрат, приняты:

- 1) максимум производительности технологических операций,
- 2) максимум коэффициентов выбытия морально устаревших и физически изношенных основных фондов,
- 3) максимум загрузки работы оборудования,
- 4) минимум капиталовложений в оборудование и технологической себестоимости.

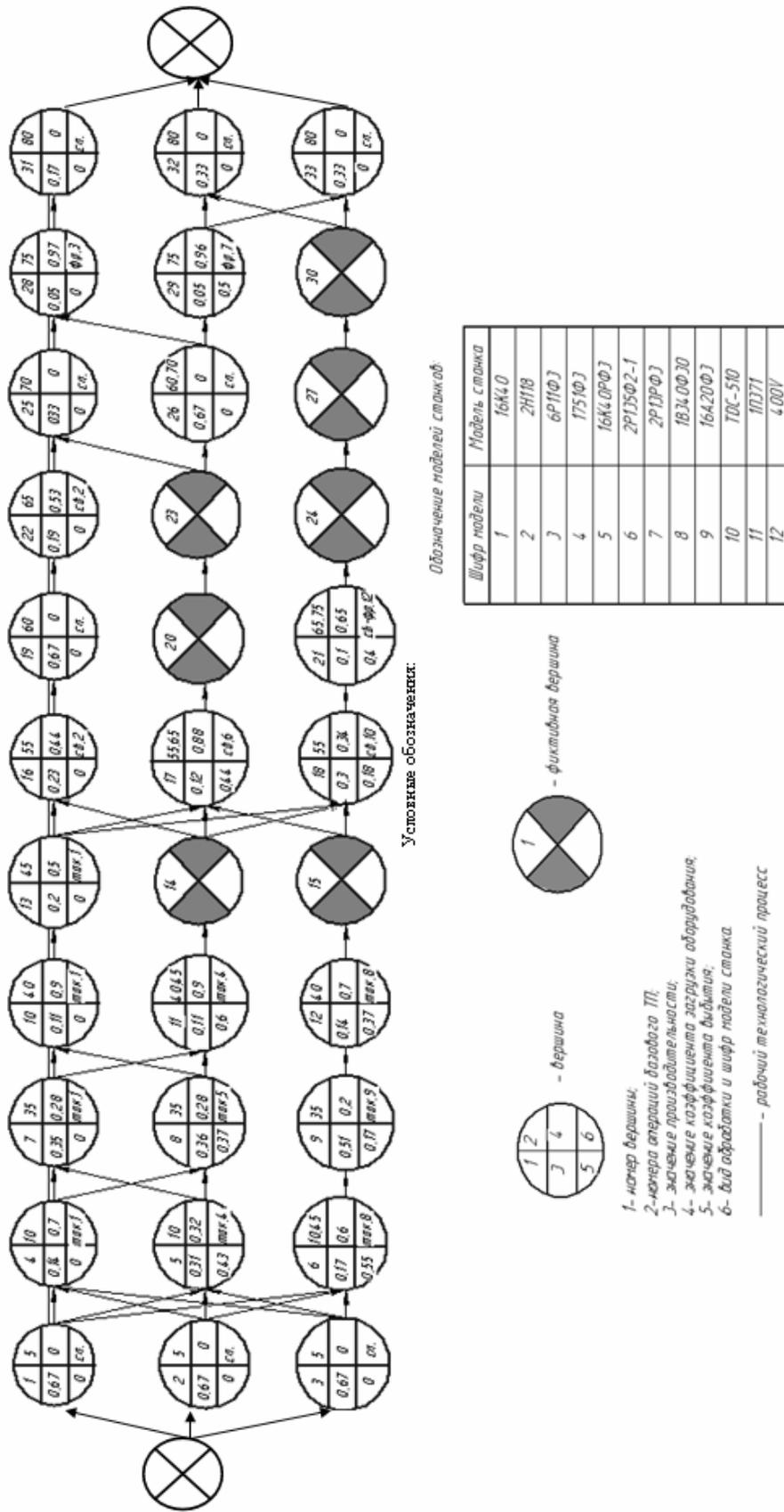


Рис. 2. Структурная многовариантная модель перспективных технологических процессов изготовления детали типа «Крышка»

Генетические алгоритмы (ГА) – это стохастические, эвристические оптимизационные методы, впервые предложенные Холландом (1975) [3]. Они основываются на идее эволюции развивающихся систем с помощью естественного отбора. Генетические алгоритмы обеспечивают более высокую производительность вычислений по сравнению с методами динамического программирования за счет максимального распараллеливания вычислительного процесса. Кроме того, метод генетических алгоритмов относится к так называемым «мягким вычислениям», которые в ряде областей компьютерного моделирования более эффективны, чем классические методы оптимизации, так как приспособлены для решения задач, в которых сложно получить однозначный ответ. Поэтому генетические алгоритмы применяются для решения *NP*-полных задач, к каким относится задача многокритериальной оптимизации технологических процессов.

Для автоматизации решения задачи многокритериальной оптимизации фондосберегающего технологического процесса использована система математического моделирования MatLab 7.3.0, в частности, специализированный пакет Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox.

Генетические алгоритмы работают с совокупностью особей (хромосом) – популяцией, каждая из которых представляет возможное решение данной проблемы.

Работа метода многокритериальной оптимизации технологических процессов на основе генетического алгоритма состоит из следующих процедур:

1. Создания популяции. В качестве начальной популяции создается возможный путь на исходной математической модели в виде сетевого графа (рис. 2), который далее представлен в виде матрицы смежности, в каждой ячейке которой записывается число, определяющее наличие связи от вершины-строки к вершине-столбцу (либо наоборот), где i – число вершин, а j – число слоев технологического графа.

2. Селекции. Селекция хромосом производится методом рулетки (рис. 3). Суть данного метода заключается в следующем: каждой хромосоме сопоставляется сектор колеса рулетки, величина которого устанавливается пропорционально значению функции приспособленности данной хромосомы.

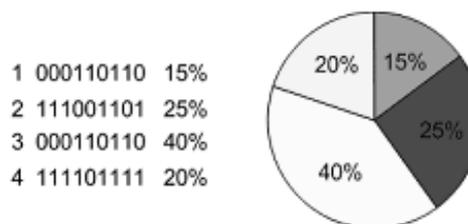


Рис. 3. Оператор селекции типа колеса рулетки с пропорциональными функциями приспособленности секторами

Оценивание функции приспособленности состоит в расчете целевой функции, которая рассчитывается по методу результирующего показателя качества. Суть данного метода заключается в том, что частные критерии объединяются в один обобщенный критерий, а затем находится минимум данного критерия.

Обобщенный критерий найдем с помощью применения аддитивного критерия, целевую функцию которого получают путем сложения нормированных значений частных критериев. Для i -ой технологической операции величина аддитивного критерия определяется по формуле:

$$f_i = \mu_1 \cdot K_i^* r + \mu_2 \cdot \Pi_i^* + \mu_3 \cdot K_{\text{выб}_i}^* + \mu_4 \cdot K_{\text{з}_i}^* r \rightarrow \min,$$

где Π_i^* , $K_{\text{выб}_i}^*$, $K_{\text{з}_i}^* r$ – нормализованные приведенные значения: капиталовложений в оборудование ($K_i^* r$), производительности технологических операций (Π_i^*), коэффициентов выбытия морально устаревших и физически изношенных основных фондов ($K_{\text{выб}_i}^*$) и загрузки оборудования ($K_{\text{з}_i}^* r$) на i -ой технологической операции, выполняемой на r -ой модели технологического оборудования. Так как значения капиталовложений стремятся к минимуму, в то время как значения критериев показателей технического уровня должны стремиться к максимуму, то для минимизации целевой функции их нужно привести к виду:

$$F'(x) = 1 - F_i(x).$$

Нормализация критериев, т. е. приведение их к безразмерному виду, осуществляется по формуле [4]:

$$u_i^* = \frac{u_i}{u_{\max}},$$

где u_{\max} – максимальное значение критерия u на множестве решений; u_i и u_i^* – текущее и нормализованное значения критерия u на i -ой опера-

ции; μ – положительные числа, характеризующие относительную важность критериев:

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1.$$

Поэтому чем больше значение функции приспособленности, тем больше сектор на колесе рулетки и вероятность выбора данной хромосомы в качестве родителя.

3. Скрещивания. В данном алгоритме используется одноточечный кроссовер, суть которого заключается в случайном выборе точки скрещивания или точки разрыва, в которой обе хромосомы делятся на две части и обмениваются ими (рис. 4).

4. Мутации. Процедура предназначена для того, чтобы поддерживать разнообразие особей в популяции. При прохождении мутации с определенной вероятностью изменяются гены в хромосоме, которыми являются вершины графа различных вариантов технологического процесса (рис. 2). В данном случае гены могут заменяться только на вершины соответствующего слоя графа.

Также в рассматриваемом генетическом алгоритме многокритериальной оптимизации применяется принцип элитизма: в новое поко-

ление включаются только лучшие особи предыдущего поколения.

Условием остановки алгоритма является либо достижение Парето-оптимального значения, или выполнение заданного количества итераций (шагов расчета).

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОГИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФОНДОСБЕРЕГАЮЩЕГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРИМЕРЕ ДЕТАЛИ ТИПА «КРЫШКА»

Работа программно-методического комплекса данного метода была проверена на примере математического моделирования и оптимизации фондосберегающего технологического процесса изготовления деталей типа «Крышка». В результате проведения серии компьютерных экспериментов в системе Matlab 7.3.0 с помощью данного метода было перебрано около 10830 возможных вариантов путей технологического процесса и получено множество значений целевой функции, которые подчиняются закону усеченного нормального распределения (рис. 5).

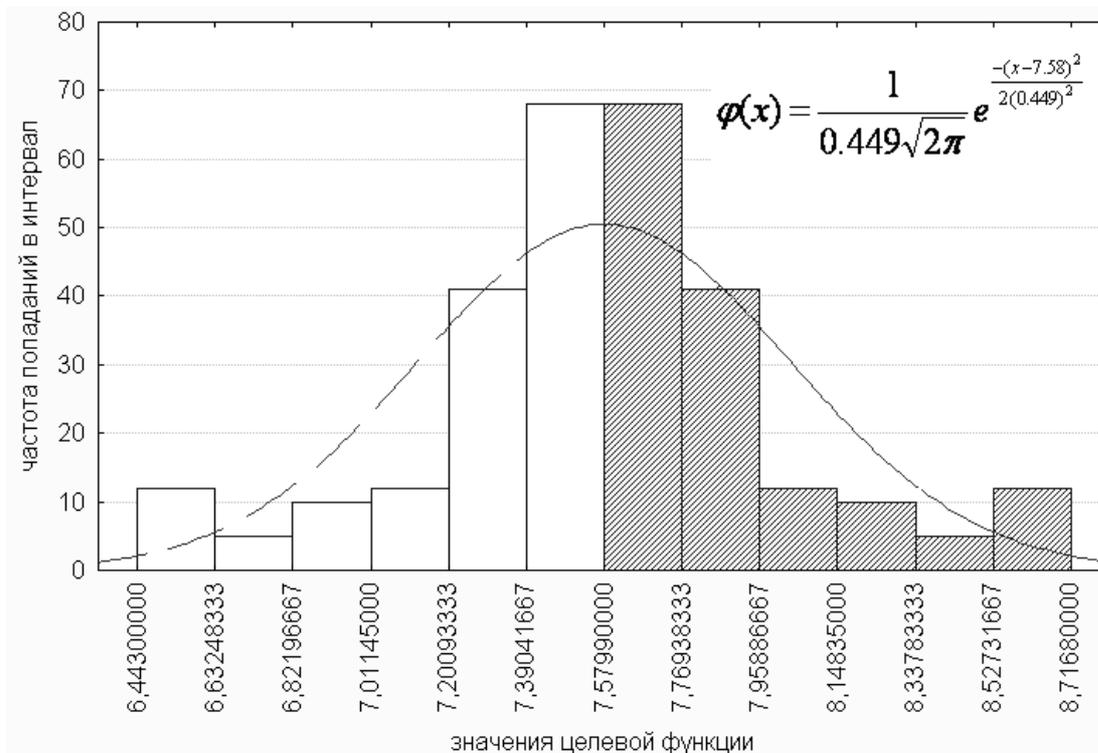


Рис. 5. Кривая усеченного нормального распределения значений целевой функции многокритериальной оптимизации технологического процесса (где x – значения целевой функции многокритериальной оптимизации, $\varphi(x)$ – частота попаданий в интервал)

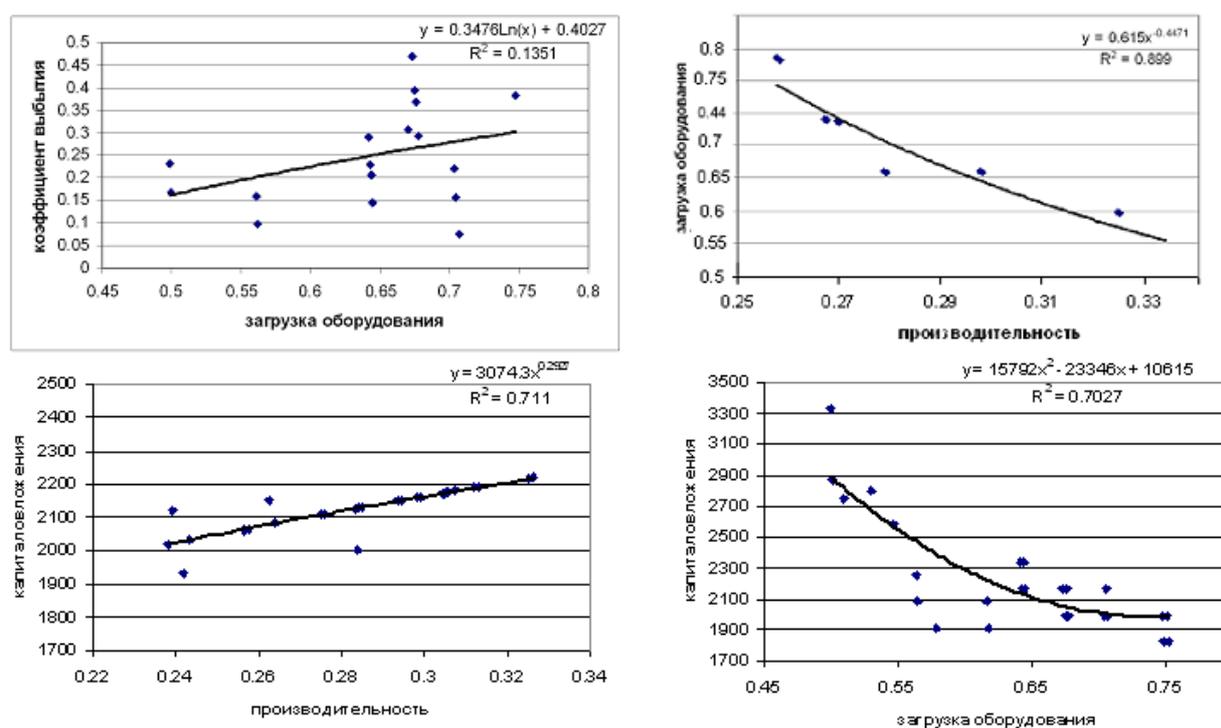


Рис. 6. Линии регрессии взаимосвязей анализируемых технико-экономических показателей технологических процессов

При этом действительные значения целевой функции находятся в интервале [7,58; 8,716].

Из рис. 5 видно, что максимальную вероятность появления имеет минимальное (7, 58) значение целевой функции f , которой соответствует оптимальный путь (2-5-7-10-13-17-20-23-26-29-33) на графе (рис. 2). Остальные решения имеют существенно меньшую вероятность появления. Для численного решения задачи многокритериальной оптимизации фондосберегающего технологического процесса были использованы следующие данные.

Наиболее приоритетным был назначен критерий максимума производительности технологических операций ($\mu = 0,5$), который обеспечивает наибольшую экономию действительных фондов времени работы оборудования и максимальную экономическую эффективность технологии.

По полученным результатам выявлен ряд зависимостей между критериями оптимизации фондосберегающего технологического процесса (рис. 6). Из рисунка видно, что производительность и коэффициент выбытия слабо коррелируют между собой, из чего следует, что эти критерии являются независимыми по предпочтению.

Эти взаимосвязи позволяют определить Парето-оптимальные фондосберегающие техно-

логические процессы для анализа возможностей применения высоких технологий в проектах цехов бережливого производства, а также на уровне создания производственных участков и производственных корпусов машиностроительных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что разработка и внедрение автоматизированных систем технологической подготовки бережливого производства (АСТПП-LP) позволяет оптимизировать решение важнейших задач ресурсосбережения на машиностроительных предприятиях.

Задачи главных специалистов (главного технолога, главного металлурга, главного сварщика) при внедрении системы бережливого производства в рамках АСТПП-LP предусматривают не только разработку и внедрение ресурсосберегающих технологических процессов, но также унификацию технологических процессов (типовых, групповых, стандартных), разработку и внедрение перспективных и директивных технологических процессов, технологических процессов переработки отходов, разработку и внедрение прогрессивных материальных норм (нормативов) и технически обоснованных норм времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вумек Джеймс П., Джонс Дэниел Т. Бережливое производство: Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 473 с. (Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций»).

2. Селиванов С. Г., Иванова М. В. Теоретические основы реконструкции машиностроительного производства. Уфа: Гилем, 2001. 310 с.

3. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.

4. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 344 с.

ОБ АВТОРАХ



Селиванов Сергей Григорьевич, проф. каф. технол. машиностр. Дипл. инж. по автоматиз. и компл. механиз. машиностр. (УАИ, 1970). Д-р техн. наук по технол. машиностр. (Мосстанкин, 1991). Иссл. в обл. технол. подг., реконстр., организ. пр-ва.



Никитин Виталий Викторович, асп. той же каф. Дипл. спец. (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. технологическ. подготовки, реконструкции производства.



Шпилова Влада Георгиевна, магистрант. Дипл. спец. в обл. технол. машиностр. (УГАТУ, 2008).