

УДК 621.001.2:658.512.4

С. Г. СЕЛИВАНОВ, С. П. ПАВЛИНИЧ, В. В. НИКИТИН

МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Разработаны методы технологической подготовки технического перевооружения машиностроительного производства. Их основой является математическое моделирование с использованием интегрального и дифференциального исчисления и применения системы MATLAB. *Машиностроение; технологическая подготовка производства; техническое перевооружение; математическое моделирование; программное обеспечение*

Основными средствами развития предприятий в настоящее время являются инвестиционное и инновационное проектирование с целью обеспечения технического перевооружения производства для производства новой конкурентоспособной продукции.

Для разработки план-графиков технологической подготовки технического перевооружения производства с целью постановки на производство новой техники, необходимо исходить из следующих предпосылок развивающегося маркетинга, рис. 1.

Из этого графика видна динамика изменения платежеспособного спроса — $Z(t)$ в соотношении с объемами выпуска продукции на предприятии — $V(t)$. Анализ приведенного на рис. 1 графика показывает, что предприятие, которое не развивает производство¹ в условиях постоянного роста условно-постоянных затрат и возрастающей в этой связи критической программы выпуска продукции — $V_{кр}(t)$, со временем обязательно оказывается в ситуации выхода к «зоне банкротства» (на рис. 1 — это точка пересечения функций $V(t)$ и $V_{кр}(t)$ в колонке 7). Названная зона банкротства находится на диаграмме ниже линии критической программы — $V_{кр}(t)$, определяемой по точкам безубыточности. Менеджмент предприятия в этой связи вынужден организовывать работы либо по увеличению объемов выпуска продукции и соответствующего ему объема продаж (объемов реализации), либо сконцентрировать свои усилия на инновационном менеджменте для постановки на производство новой продукции и/или диверсификации производства. В противном случае предприятие

рискует оказаться в зоне банкротства и заниматься инновационным менеджментом при отягчающих обстоятельствах решения задач реструктуризации производства, которое стало убыточным.

В настоящее время у многих предприятий машиностроительного комплекса наблюдается следующий вид диаграммы загрузки производственных мощностей предприятия, где изменения объемов выпуска продукции ($V(t)$) показаны в сравнении с производственной мощностью (M), рис. 2.

Для выхода из этой зоны профилактики банкротства необходимо проводить комплексную реконструкцию путем реструктуризации (на рис. 2 — это фрагмент после участка линии, отмеченного ромбиками — \diamond) и технического перевооружения производства (на рис. 2 этот участок отмечен звездочками — *).

Реструктуризация производства — управляемый процесс изменения производственной и организационной структуры предприятия за счет применения более прогрессивных форм организации производства, труда и управления, реорганизации цеховых, бессеховых и корпусных организационных структур, а также основных производственных участков и вспомогательных отделений. Реструктуризация производства предусматривает не только изменения организационной и производственной структуры, но также техническое перевооружение производства в целях обеспечения ресурсосбережения и поста-

¹ Не увеличивает объемы $V(t)$ и не ставит на производство новую продукцию на фоне увеличения платежеспособного спроса — $Z(t)$.

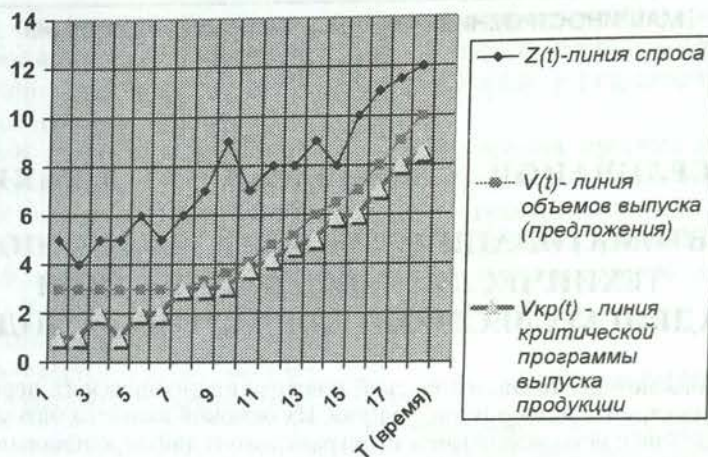


Рис. 1. Динамика изменения объемов выпуска — $V(t)$ — в соотношении со спросом — $Z(t)$ — и критической программой выпуска продукции — $V_{кр}(t)$ по кварталам

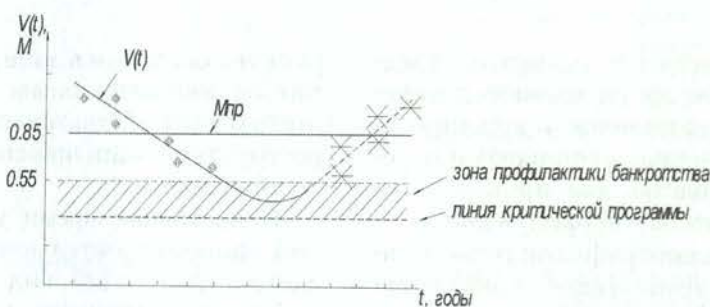


Рис. 2. Схема анализа загрузки производственных мощностей для решения задач управления проектами развития производства

новки на производство новой конкурентоспособной продукции.

Основными проектными документами постановки на производство новой техники, обеспечения готовности предприятия к выпуску новой конкурентоспособной продукции являются: проектная документация на новые изделия, проектно-сметная документация по техническому перевооружению производственных подразделений (объектам подготовки производственных мощностей), целевые программы или план-графики работ, бизнес-планы и обоснования эффективности мероприятий таких проектов.

Исходным документом для разработки целевых программ и план-графиков технологической подготовки технического перевооружения производства в условиях реструктуризации является чертеж технологической компоновки корпуса (рис. 3) или цеха, намеченного к реконструкции или техническому перевооружению. Технологическая компоновка позволяет:

- определить пусковые комплексы проекта технического перевооружения;

- выполнить общие для всех проектов технического перевооружения цехов работы по реконструкции зданий, инженерных сетей, приобретению нового технологического оборудования;

- выполнить работы по завершению проекта технического перевооружения в целом.

Сводный план-график работ составляют из локальных план-графиков технического перевооружения цехов, рис. 4.

Для разработки рассматриваемых графиков работ принципиальное значение имеет разработка норм технологического проектирования не только в виде нормативов удельной площади, расстояний между оборудованием, запасов технологической оснастки, норм расходов материалов, но и нормы времени на разработку проектно-технологической документации. Часть эмпирических зависимостей для определения таких нормативов представлена на рис. 5, 6.

Технологическая компоновка производственных корпусов №№75, 175

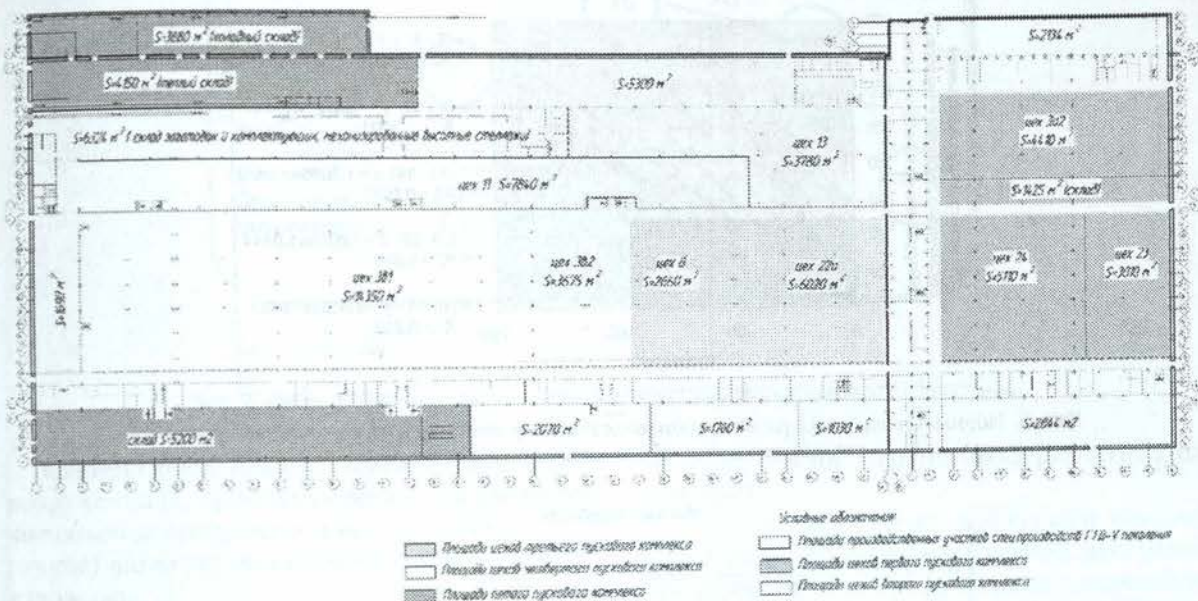


Рис. 3. Технологическая компоновка производственных корпусов

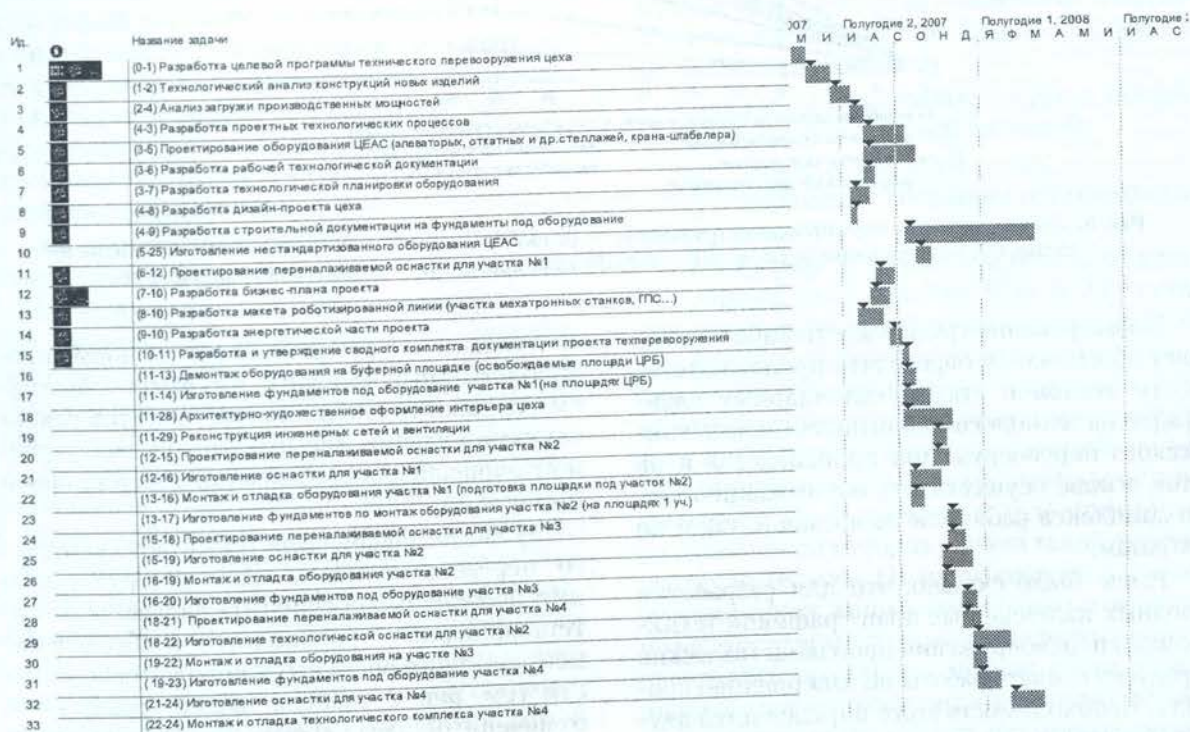


Рис. 4. Календарный план-график технического перевооружения цеха, выполненный в системе MS-Project

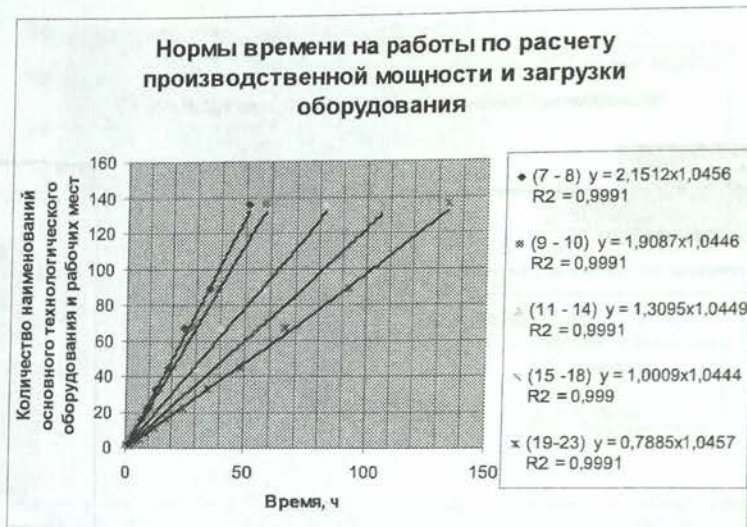


Рис. 5. Нормы времени для расчета производственной мощности от количества основного технологического оборудования и рабочих мест

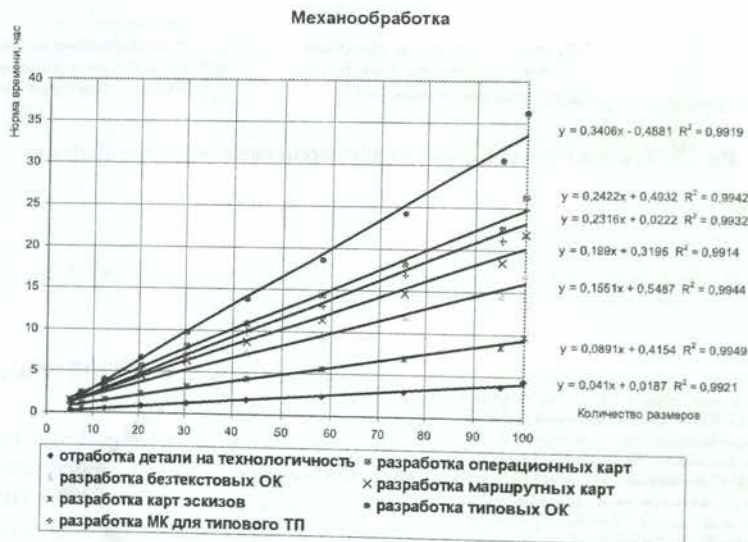


Рис. 6. Зависимости для нормирования трудоемкости разработки проектной технологической документации: ОК — операционная карта; МК — маршрутная карта; ТП — технологический процесс

Нормирование трудоемкости работ позволяет обоснованно определять продолжительности этапов и стадий календарных план-графиков технологической подготовки технического перевооружения производства и на этой основе осуществлять оптимизацию всего комплекса работ как по времени, так и по затратам.

Выше было сказано, что для разработки сводных календарных план-графиков технического перевооружения производства важно предусматривать работы по завершению проекта. Необходимость этого определяется двумя обстоятельствами:

1) техническое перевооружение производства в условиях реструктуризации неред-

ко связано с переводом цехов на новые производственные площади, что имеет следствием разработку специальных проектов реконструкции зданий, где имеются высвободившиеся площади для организации выпуска новой продукции;

2) после завершения проекта технического перевооружения в фазе реструктуризации необходимо обеспечить дальнейшую интенсификацию производства в обеспечение непрерывного роста его конкурентоспособности (см. рис. 2 участок линии тренда - - - -, отмеченный звездочками — *) средствами системы непрерывного технического перевооружения производства.

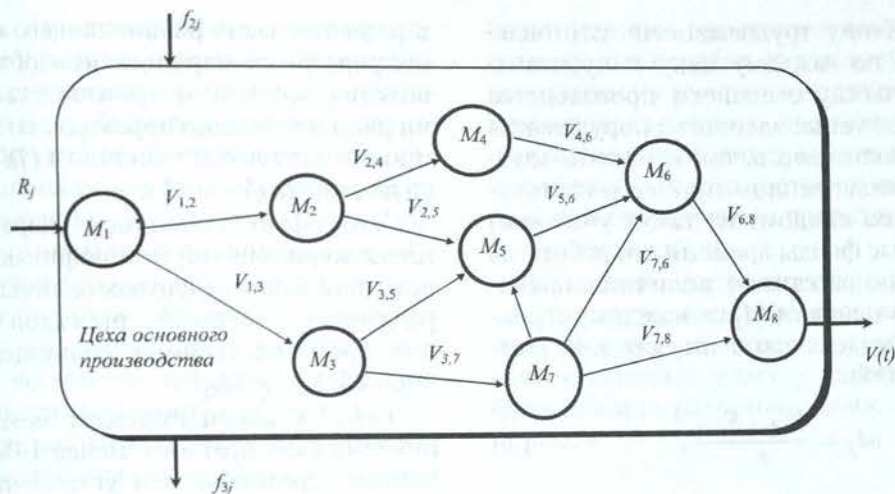


Рис. 7. Граф структуры производственных мощностей основного производства

Система непрерывного технического перевооружения [1, 2] ориентирована на увеличение объемов продукции и интенсивное (ускоренное) развитие машиностроительного производства.

Для структурного анализа интенсифицируемого материального потока на рис. 7 схематично изобразим сетевой граф структуры производственных мощностей основного производства предприятия по данным производственной структуры объекта управления.

Производственная структура включает состав и формы связей подразделений и служб в виде цехов, производственных участков, отделений, производственных групп оборудования. На рис. 7 показана модель только части производственных подразделений основного производства. На схеме приняты следующие условные обозначения:

M_j — производственная мощность i -го структурного подразделения;

V_{ij} — материальный поток заготовок, сырья, материалов, комплектующих, полуфабрикатов, деталей, комплектов, комплексов, сборочных единиц, готовых изделий на маршруте ($i - j$);

R_j — вектор производственных ресурсов, потребляемых производственной системой;

$V(t)$ — объем выпуска готовой продукции или производственная программа предприятия, т. е. номенклатурный перечень изготавливаемых изделий с указанием их количества.

После построения модели объекта технологического проектирования перед процедурой анализа необходим расчет параметров. В приложении к задаче проектирования объектов основного производства (см. рис. 7) мож-

но выделить пять групп таких расчетных параметров:

$V(t)$ — объем выпуска продукции, который определяют по производственной программе предприятия и его структурных подразделений в виде технико-экономических показателей (в рублях, тоннах, норма-часах);

M_j — производственная мощность, т. е. расчетный, максимально возможный объем выпуска продукции в единицу времени, который определяют для условий наиболее полного использования производственного оборудования и площадей, применения прогрессивных норм времени, технологии и форм организации производства;

R_j — производственные ресурсы, потребляемые производственной системой;

f_{2j} — факторы внешней среды;

f_{3j} — параметры состояния организационной системы.

Рассмотрим в начале анализа соотношение первых двух величин $V(t)$ и M_j , которые предопределяют главные исходные данные последующего технологического проектирования. Объем выпуска продукции $V(t)$ в большинстве случаев организации дискретного производства штучных изделий принято рассчитывать по величине суммарной трудоемкости T_n . В проектом деле применяют большое число методов расчета такой величины трудоемкости. На их основании с учетом эмпирических данных по типовым изделиям-представителям (изделиям-аналогам) можно определить локальные объемы работ в различных структурных подразделениях основного производства (V_{ij}) на различных технологических маршрутах движения изделий по цехам и службам предприятия.

Зная величину трудоемкости изготовления изделий по каждому цеху и производственному участку основного производства $t_{ед}$, количество установленного оборудования $S_{уст}$ (как используемого, так и неиспользуемого в производственном процессе на текущий момент по каждому из таких участков) и эффективные фонды времени его работы за год $F_{эф}$, можно рассчитать величины производственной мощности M_j по каждому структурному подразделению в штуках или комплектах изделий:

$$M_j = \frac{F_{эф} \cdot S_{уст}}{t_{ед}}, \quad (1)$$

Такой расчет позволяет выполнить сравнение величины производственной программы или объемов с производственной мощностью по каждому цеху и производственному участку и построить на этой основе сопоставительные диаграммы для дальнейшего анализа загрузки производственных мощностей, рис. 8.

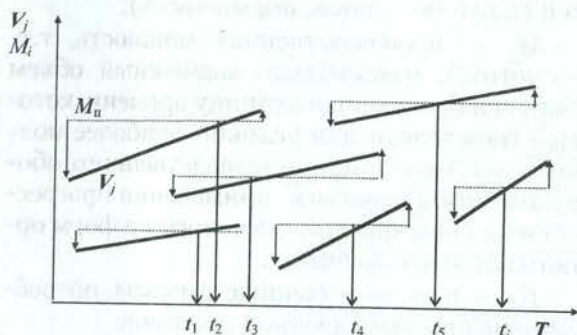


Рис. 8. График сопоставительного анализа загрузки производственных мощностей

Для упрощения расчетов иногда вместо величины производственной мощности в штуках используют ее аналог — величину пропускной способности, которая измеряется в тех же единицах размерности, что и объем выпуска (нормо-час):

$$M_j = F_{эфф} \cdot S_{уст}. \quad (2)$$

На рис. 8 по вертикальной оси ординат отложена и величина производственной мощности M (в значениях пропускной способности цеха), и величина объема выпуска V (в нормо-часах) в том же структурном подразделении, так как они имеют одинаковые размерности анализируемых величин. Если по оси абсцисс отложить текущее время, то несложно сделать главный вывод. При интенсификации материального потока в сети цехов и производственных участков, которое имеет место

в решении задач развивающего маркетинга и непрерывного наращивания объемов производства, все цехи и производственные участки рано или поздно переходят из зоны резерва производственной мощности ($M > V$) в зону ее дефицита ($V > M$).

Этот факт позволяет разработать комплекс мероприятий по профилактике несоответствий анализируемых величин с помощью различного масштаба проектов реконструкции производственных подразделений, в которых $V_{расч} > M_{пр}$.

Если в анализируемом цехе дисбаланс невелик (как правило, менее 10%), то проверенным средством его устранения является проведение традиционных организационно-технических мероприятий по «расширке узких мест» в виде рабочих мест или отдельных производственных групп оборудования, которые лимитируют производственную мощность участка или цеха.

В случае более существенных дисбалансов (~ от 10 до 20%) реорганизацию уже осуществляют на уровне технического перевооружения «ведущего» участка цеха, из числа тех, которые сдерживают наращивание производственных мощностей. При этом в ходе разработки проекта технического перевооружения такого участка может быть выбран другой, более совершенный, проектный технологический процесс, изменена форма организации данного участка, например, путем замены поточного производства на групповое, изменена структура парка технологического оборудования. Могут быть выполнены и другие инновации, которые обеспечивают устранение дисбаланса производственной мощности и заданного объема выпуска продукции или производственной программы. Еще более значительные дисбалансы (в укрупненных пределах в ~20–40%) могут быть устранены средствами комплексной реконструкции цеха, т. е. реорганизации системы его производственных участков. Более существенное превышение объемов выпуска продукции над производственной мощностью цеха устраняется уже на уровне реорганизации производственного корпуса (группы цехов) путем расширения цеха или создания нового структурного подразделения аналогичного назначения.

Практика показывает, что точки возникновения дисбалансов, в которых $V_{расч} > M_{пр}$ (см. рис. 8) не совпадают по времени. Этот факт позволяет осуществлять реконструкционные работы в цехах основного

производства не одновременно, а рассредоточить их во времени в целях обеспечения профилактических мер по заблаговременному устранению дисбалансов производственных мощностей для решения задачи интенсификации материального потока в сети цехов и производственных участков. В плане сказанного можно построить график технического перевооружения (реконструкции) цехов и участков предприятия. Вспомогательные цехи предприятия также могут включаться в этот график по тем же правилам, так как их производственная мощность и объемы выпуска продукции полностью зависят от изменения производственных мощностей и объемов выпуска продукции цехов основного производства.

Анализируя график технического (реконструкции) перевооружения цехов и участков предприятия, а так же диаграмму рис. 8, следует отметить, что на схеме они носят качественный, а не количественный характер, так как не содержат конкретных численных данных об изменениях $V(t)$ и $M_{пр}$.

Управление материальным потоком в сети цехов и производственных участков предприятия возможно не только средствами реконструкции и технического перевооружения. В тех же целях применяют изменение расцевок (технологических маршрутов движения изделий по цехам и службам предприятия), профилактику реконструкции механических цехов, например, коренным пересмотром конструкций заготовок, применяют и другие мероприятия, направленные на устранение дисбалансов производственных мощностей и объемов выпускаемой товарной продукции. Вместе с тем работы по техническому перевооружению являются в данном персисе мер основным профилактическим средством комплексной реконструкции производства.

Сопоставляя рассмотренный метод непрерывного технического перевооружения производства, следует подчеркнуть, что он имеет существенные преимущества перед проведением традиционных организационно-технических мероприятий. Данная система организации работ обеспечивает профилактику несоответствия заданных объемов производства и величин производственных мощностей в условиях высокой интенсификации производства и в полном соответствии с заданным темпом роста объемов выпуска продукции.

Для определения сроков и разработки графиков технического перевооружения (реконструкции), расчета опережений начала разра-

ботки целевых программ и выполнения других проектных работ по каждому цеху, производственному участку или другому структурному подразделению предприятия (рис. 8), необходимо выполнить анализ загрузки производственных мощностей по каждому из названных структурных подразделений основного производства.

Исходной системотехнической моделью анализа загрузки производственных мощностей по каждому цеху или «ведущему» производственному участку такого цеха может быть принята расчетная схема, изображенная на рис. 9.



Рис. 9. Исходная модель для системного анализа загрузки производственной мощности объекта реконструкции

Условные обозначения, которые использованы на рис. 9, имеют следующее смысловое содержание:

$M_{пр}$ — производственная мощность объекта анализа (цеха, участка, производственной группы оборудования);

S — количество единиц установленного технологического оборудования (это производственные ресурсы, поступающие в систему);

$F_{эф}$ — эффективный (действительный) годовой фонд времени работы единицы оборудования (фактор внешней среды);

$t_{ед}$ — трудоемкость изготовления единицы продукции;

Π_T — технологическая производительность (параметр состояния объекта проектирования);

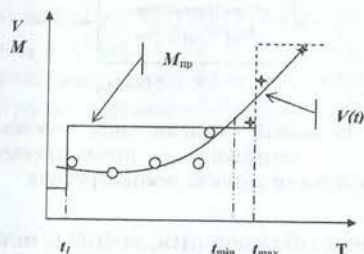
V — объем производства продукции (целевая функция системы, значение которой предопределяет рост объемов выпуска, производственной программы и прибыли предприятия).

Как видно из схемы анализа, производственная мощность — это основная анализируемая в данном случае величина. Она характеризует расчетный, максимально возможный в данных условиях объем выпуска изделий в единицу времени (обычно за год).

Чаще всего производственную мощность определяют в штуках, т.е. в натуральном

измерении. Если в анализируемом производственном подразделении изготавливают несколько видов изделий, или если нельзя найти единый измеритель для всей номенклатуры изделий, то характеристикой производственной мощности может быть пропускная способность производственных подразделений.

Сроки возникновения таких «узких мест» позволяют выполнить расчет как наиболее раннего срока реконструкции и технического перевооружения (t_{\min}), так и наиболее позднего, т. е. максимального срока реконструкции и технического перевооружения (t_{\max}). Для такого расчета можно воспользоваться следующей схемой анализа по каждому «ведущему» цеху или участку (рис. 10).



Условные обозначения:

○ — отчетные данные по объемам производства;

+ — расчетные данные по объемам производства на перспективу.

Рис. 10. Изменение соотношений объемов производства изделий и проектной производственной мощности. Условные обозначения: ○ — отчетные данные по объемам производства; + — расчетные данные по объемам производства на перспективу

Рассредоточенные во времени точки перехода из зоны резерва в зону дефицита производственных мощностей (t_1, t_2, \dots, t_i на рис. 8) можно уточнить в численном виде для определения значений интервалов сроков проведения реконструкции (t_{\min}, t_{\max}) с помощью схемы (рис. 10) следующим образом:

$$k \int_{t_1}^{t_{\min}} v(t) dt = \int_{t_1}^{t_{\text{ок}}} M_{\text{пр}} dt, \quad (3)$$

$$V(t_{\max}) = S_{\max} F, \quad (4)$$

где t_{\min} — наиболее ранний срок реконструкции;

t_{\max} — наиболее поздний срок реконструкции;

$t_{\text{ок}}$ — 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 ;

$M_{\text{пр}}$ — 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 того чтобы решать эти уравнения в численном виде, необходимо знать зависимости изменения функции $V(t)$. Другие величины можно определить из акта о вводе в действие производственных мощностей в момент t_1 , а величину k обосновывают либо статистически на основе данных по результатам реконструкции (технического перевооружения, расширения) других аналогичных цехов, либо рассчитывается по величине дефлирующего множителя, применяемого в бизнес-планировании или в инвестиционных проектах реконструкции.

Для определения функции $V(t)$ был выполнен анализ данных за ряд лет по многим реконструированным объектам [1, 2]. Наиболее общие зависимости могут быть представлены линейными, полиномиальными и показательными регрессиями.

Для автоматизации решения уравнений (3, 4), т. е. определения сроков технического перевооружения и (или) реконструкции использована математическая система MATLAB 7.2. Новым здесь является:

- автоматизация расчетов сроков реконструкции и технического перевооружения машиностроительного предприятия;

- применение математического пакета MATLAB 7.2 для решения задач технического перевооружения предприятий, в данном случае для определения сроков технического перевооружения (реконструкции).

Математический пакет MATLAB 7.2 при помощи встроенных функций позволяет получать линии регрессии изменения объемов производства $V(t)$ для всех степеней полинома, а также графическое изображение полученного полинома вместе с эмпирическими точками (рис. 11).

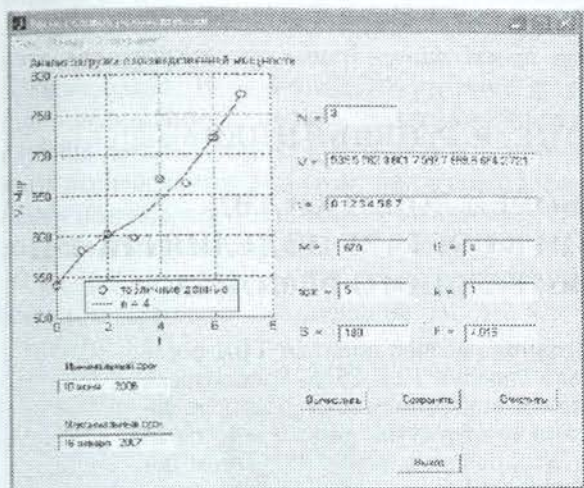


Рис. 11. Пример расчета сроков технического перевооружения

Программа рассчитывает сроки технического перевооружения и реконструкции для полиномиальной зависимости функции изменения объемов производства $V(t)$

$$V(t) = a_n \cdot t^n + a_{n-1} \cdot t^{n-1} + \dots + a_0, \quad (5)$$

где a — параметры полинома; n — степень полинома.

При построении математических моделей (3, 4) функции изменения объемов производства $V(t)$ для оценки достоверности расчетов программа рассчитывает критерий согласия Пирсона для полиномов степени $n \leq 4$, которые позволяют определить линии регрессии $V(t)$.

Далее при помощи встроенных функций MATLAB 7.2 (*polyfit*, *polyval*, *roots*) определяются сроки технического перевооружения и/или реконструкции цехов и участков предприятия. Программа расчета сроков технического перевооружения и/или реконструкции производственных подразделений предприятия (рис. 11) позволяет переводить полученные данные в календарные дни.

Для работы программы вначале необходимо запустить MATLAB 7.2 и открыть программу расчета сроков технического перевооружения и реконструкции (рис. 11). В появившееся окно программы необходимо ввести данные, запрашиваемые системой автоматизированного проектирования, и затем нажать

кнопку «вычислить». В результате появится график для анализа загрузки производственной мощностей, а также минимальный и максимальный сроки технического перевооружения и/или реконструкции анализируемого производственного подразделения. Полученные результаты автоматически сохраняются в файле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные в данной публикации методы использованы для разработки проектов технического перевооружения авиадвигателестроительного производства.

Автоматизация управления проектами технического перевооружения производства обеспечивает решение задач технического развития предприятия как в условиях реструктуризации, так и интенсификации процесса постановки на производство техники нового поколения.

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.

ОБ АВТОРАХ



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

Павлинич Сергей Петрович, техни. директор ОАО УМПО. Канд. техн. наук.

Никитин Виталий Викторович, инженер ОАО УМПО.