

# МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА

КАК БЫСТРО И ТОЧНО РАССЧИТАТЬ ОПТИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ОБОРУДОВАНИЯ? КАК ОБЕСПЕЧИТЬ ОПТИМАЛЬНУЮ СЕБЕСТОИМОСТЬ И ПРИЕМЛЕМЫЙ СРОК ОКУПАЕМОСТИ ЗАТРАТ? ЕДИНСТВЕННЫЙ СПОСОБ — ЭТО ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА. В КАЧЕСТВЕ ПРИМЕРА — МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЛИСТА.

## ВВЕДЕНИЕ

Проектирование производств — это поэтапный процесс, включающий прогноз программы производства на несколько лет, определение состава и количества оборудования на основе нормирования операций и оптимизации партий запуска деталей, выбор технологии и оборудования из условий минимальной себестоимости производства.

Предлагаемая методика проектирования производства, основанная на опыте Группы компаний «Вебер Комеханикс», обеспечивает минимально возможную себестоимость нового или модернизированного производства, снижение издержек незавершенного производства и приемлемый срок окупаемости затрат на приобретение технологического оснащения.

Основой успешного проекта производства является обоснованный выбор технологического оборудования и расчет его оптимального количества. Например, в условиях единичного и мелкосерийного производства деталей из листовых материалов (листовая штамповка) выполняется большое количество переналадок оборудования. Общее время переналадок на годовую программу деталей (подготовительно-заключительное время на годовую программу деталей становится соизмеримым со станкоемкостью (основное и вспомогательное время изготовления годовой программы деталей) и определяет расчетное количество оборудования. Если изготавливать годовую программу каждой детали за одну наладку оборудования, то подготовительно-заключительное время уменьшится, однако, при этом значительно возрастают затраты на хранение деталей (площадь складов, автоматизация учета производственных заделов, транспортирование партий деталей от склада на другие операции технологического процесса и т. д.).

Когда назначены наиболее технологичные способы изготовления деталей, но количества оборудования недостаточно для работы в одну смену, вводят вторую и третью смены. Это увеличивает затраты на оплату труда рабочих, электроэнергию и др. С другой стороны, избыточное количество оборудования увеличивает себестоимость производства. В обоих случаях издержки выше, чем объективно необходимые. Поэтому, при проектировании производства важно выполнить следующее:

1. Определить перспективную программу производства деталей;
2. Рассчитать подготовительно-заключительное время и технологическую станкоемкость;
3. Рассчитать оптимальное количество оборудования и коэффициенты его загрузки.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ

Прогноз или прогнозирование — это расчет неизвестных показателей перспективной производственной программы по заданным показателям на основании модели. Исходя из статистических, вероятностных и эмпирических принципов, прогнозирование с вероятностью 100 % невозможно.

Точность прогноза обусловлена истинными (верифицированными) значениями производственной программы за прошлый период, ее не верифицированными плановыми значениями на текущий год, направлением тренда производственной программы каждой детали и методиками прогнозирования.

Для статистического прогнозирования производственной программы может быть использован Microsoft Excel, который содержит следующие методы: «Прогнозирование линейной зависимостью», «Прогнозирование экспоненциальной зависимостью» и «Предсказание».

ГК «Вебер Комеханикс» для решения задач прогнозирования разработан метод аппроксимации данных дробно-степенным рядом на основе комбинированных генетических алгоритмов [1] при минимизации степенной функции.

Погрешность прогнозирования рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{P_{\text{расчет}} - P_{\text{факт}}}{P_{\text{факт}}}$$

где  $P_{\text{расчет}}$  и  $P_{\text{факт}}$  — рассчитанные и фактические значения производственной программы за прошлые годы или плановые значения на текущий год.

Аргументами модели статистического прогнозирования ( $X_{i,j}$ ) принята производственная программа каждой из  $n$  деталей ( $i = 0, \dots, n$ ) за  $m$  прошедших лет ( $j = 0, \dots, m$ ). Исследуемый отклик модели ( $Y_T$ ) — проект производственной программы на текущий год  $Y_T = Y(X_{i,j})$ . В качестве целевой функции принята разность фактического и расчетного значений производственной программы  $Y_{\text{Трасчет}} - Y_{\text{Тфакт}} \rightarrow \min$ .

Результаты расчета погрешности методов статистического прогнозирования показывают (рис. 1), что минимальная погрешность прогнозирования получена методом, разработанным ГК «Вебер Комеханикс»: погрешность прогноза производственной программы 45 из 46 рассмотренных деталей не превышает 70 %. Погрешность прогноза меньше 70 % методом прогнозирования линейной и экспоненциальной зависимостями получена для 5 из 46 деталей, предсказанием — для 7 из 46 деталей.

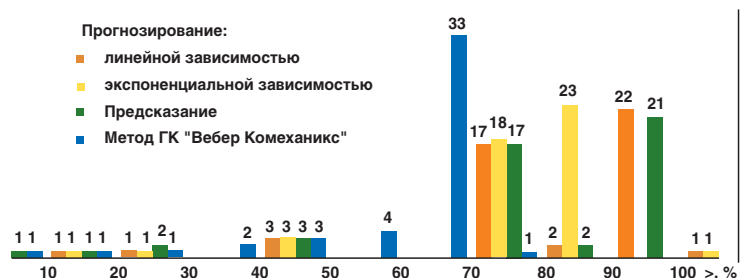


Рис. 1. Распределение погрешности прогнозирования производственной программы 46 деталей одного изделия, полученной различными методами.

## МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА И НОРМИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Наиболее распространенная методика проектирования производства (рис. 2) основана на формировании из всей

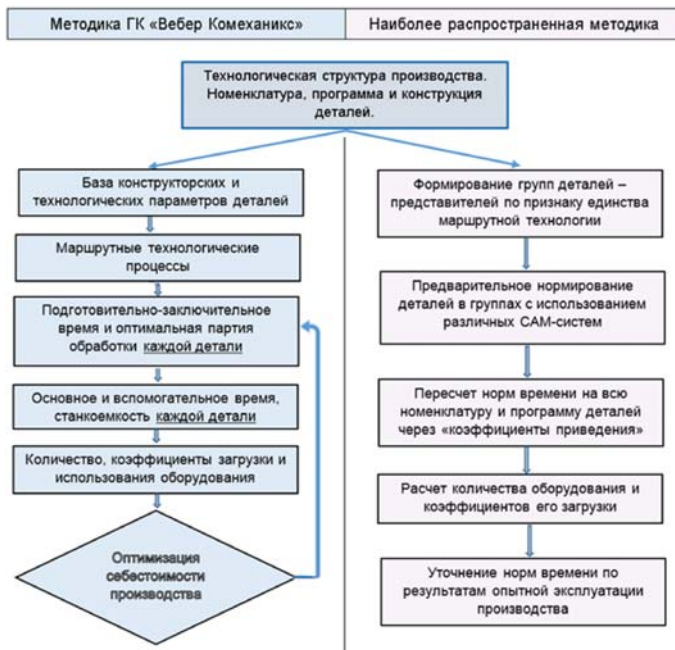


Рис. 2. Методика проектирования производств ГК «Вебер Комеханикс» и наиболее распространенная методика, используемая большинством инженеринговых компаний.

номенклатуры деталей отдельных групп деталей-представителей, для которых выполняется предварительное нормирование. Затем, через «коэффициенты приведения» проводится пересчет норм времени на всю номенклатуру и программу деталей и выполняется расчет количества оборудования. В дальнейшем, на этапе опытной эксплуатации спроектированного производства результаты нормирования могут уточняться.

Основное отличие методики проектирования производств, используемой ГК «Вебер Комеханикс» заключается в том, что расчет основного, вспомогательного и подготовительно-заключительного времени выполняется для всех

деталей заданной номенклатуры. Для этого формируют специальную Базу конструкторских и технологических параметров деталей. Используя разработанные компанией методики [2], для каждой детали рассчитывают подготовительно-заключительное, основное и вспомогательное время выполнения технологических операций.

Высокая точность нормирования и оценка себестоимости производства обеспечивают выбор наиболее рационального способа изготовления деталей и расчет оптимального количества оборудования.

### РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОБОРУДОВАНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ЕГО ЗАГРУЗКИ

По каждой модели оборудования, рассчитываются показатели, характеризующие эффективность использования оборудования в сложившихся производственных условиях:

Годовая общая станкоемкость, станко-часы

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{oi} + t_{bi}) \Pi_i + k_n t_n$$

Годовая технологическая (расчетная) станкоемкость, станко-часы

$$T_{\text{техн}} = \sum_{i=1}^n (t_{oi} + t_{bi}) \Pi_i$$

Количество оборудования (детальный расчет)

$$C_T = \frac{T}{\Phi_{об}}$$

Коэффициент переналадки оборудования в рабочие смены

$$K_n = \frac{k_n t_n}{C \Phi_{об}}$$

Коэффициент загрузки оборудования

$$K_3 = \frac{T_{\text{техн}}}{C \Phi_{об}}$$

Коэффициент использования оборудования

$$K_{и} = \frac{T}{C \Phi_{об}}$$



### КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА:

- Технологический аудит
- Разработка технического задания
- Проектирование
- Управление проектами
- Авторский надзор

#### ООО "Вебер Инжиниринг"

г. Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4  
 здание ЦНИИТМАШ  
 +7 (495) 221-12-36, факс +7 (495) 229-28-96  
 project@weber.ru, www.weber-engineering.ru

Обозначения:  $t_o$  — основное время,  $t_b$  — вспомогательное время и  $t_n$  — время переналадки оборудования, час;  $n$  — номенклатура;  $P_i$  — годовая программа производства каждой детали из закрепленной за оборудованием номенклатуры;  $k_n$  — количество переналадок на годовую программу деталей;  $\Phi_{об}$  — эффективный годовой фонд времени единицы оборудования при принятой сменности работы;  $C$  — принятое количество оборудования (количество оборудования, полученное из детального расчета  $C_r$  и округленное до ближайшего большего целого значения).

При расчете количества оборудования необходимо различать годовую общую и годовую расчетную станкоемкость чтобы исключить ситуацию, когда рассчитанное на основе годовой общей станкоемкости количество оборудования превышает оптимально необходимое и приводит к завышенным инвестициям. Порядок расчета должен быть следующий:

- рассчитать количество оборудования с использованием годовой расчетной станкоемкости, т. е. без учета подготовительно-заключительного времени, затрачиваемого на изготовление годовой программы деталей (как правило, в результате расчета получается дробное число);
- округлить расчетное количество оборудования, до ближайшего большего значения;
- используя годовую общую станкоемкость, учитывающую подготовительно-заключительное время, рассчитать коэффициент использования оборудования;
- если коэффициент использования оборудования больше 0,85 — увеличить количество оборудования, в противном случае принять расчетное количество оборудования.

Количество переналадок оборудования, выполняемое для изготовления годовой программы деталей определяет расчетное количество оборудования и коэффициенты его загрузки (**таблица 1**). В условиях массового производства (10 переналадок в год) достаточно 4 прессы, тогда как в условиях мелкосерийного и единичного производства (3790 переналадок в год) для изготовления той — же программы деталей требуется 6 прессов.

**Таблица 1.**

**Расчетное количество оборудования и коэффициенты его загрузки:  $T = 5850$  станко-час,  $t_n = 0,8$  часа**

Количество переналадок на годовую программу деталей, $k_n$	Расчетное количество прессов, усилием до 25 тонн при односменной работе, $C$	Коэффициент использования прессов, $K_i$ (%)	Коэффициент переналадки прессов в рабочие смены, $K_n$ (%)
10	4	71,0	0,1
1630	5	69,0	12,6
3790	6	72,0	24,4

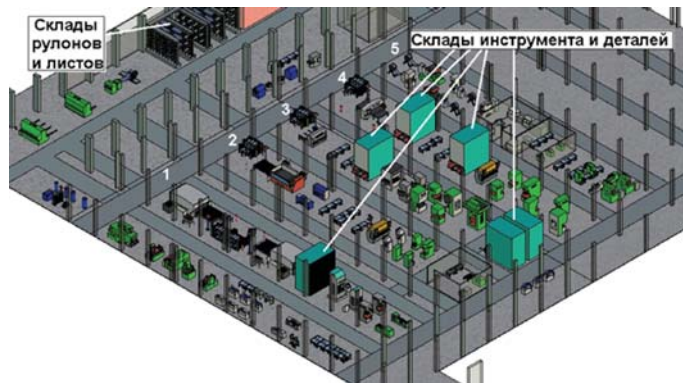
## ПРОЕКТ ЦЕХА ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Пример проекта цеха для изготовления деталей из листа, в котором реализованы процессы единичного, мелкосерийного и массового производства (**рис. 3**) содержит пять технологических пролетов. Материал, из которого изготавливаются детали, поставляется в рулонах ленты и листах стандартных размеров и помещается на хранение на автоматизированный склад.

В пролетах № 1 и № 2 изготовление заготовок из листа выполняется на машинах для лазерной резки, в пролете № 3 — на гильотинных ножницах, в пролете № 4 — на координатно-револьверном прессе. Заготовки, которые требуют дальнейшей обработки подаются на прессы для свободной

гибки листа, кривошипные прессы, гидравлические прессы (вытяжка, формовка), механическую обработку (сверление отверстий, нарезание резьбы, фрезерование пазов и т. п.), очистку от заусенцев. Такое построение производственного процесса, когда в одном технологическом пролете сосредоточено оборудование, позволяющее изготовить деталь в практически законченном виде (остаются, при необходимости операции термообработки и нанесения покрытий), позволяет значительно сократить перемещения заготовок, уменьшает складские заделы и, тем самым обеспечивает снижение незавершенного производства.

Размещение автоматизированных складов в пролетах по ходу технологического процесса позволяет оперативно найти и доставить к оборудованию, штампы, металлорежущий инструмент, приспособления и другую оснастку. При необходимости на складах осуществляется межоперационное хранение деталей. Автоматизация процесса поиска на складе увеличивает гибкость производства.



**Рис. 3.** Эскизная планировка цеха изготовления деталей единичного, мелкосерийного и массового производства из листа.

Наряду с деталями, величина производственной программы которых требует построения технологических процессов, реализующих единичное и мелкосерийное производство, цехом могут изготавливаться детали массового производства, например пластины роторов и статоров электродвигателей, трансформаторов, наконечники, клеммы и т. д. Детали массового производства изготавливаются из ленты на прессах, установленных в пролете № 5. Прессы оснащены механизмами, подающими ленту на шаг штамповки, устройствами для размотки рулонов ленты и правки остаточной кривизны ленты.

Использованная в ряде проектов методика проектирования производств обеспечивает расчет оптимального количества машин для лазерной резки листа и координатно-револьверных прессов. Это оборудование позволяет производить обработку листа в состоянии поставки, с наиболее оптимальным раскроем, без разрезки на полосы и без использования штампов. В результате достигается минимально возможная себестоимость производства. Оперативный поиск нужного штампа, инструмента или заготовок на автоматизированных складах позволяет снизить размеры незавершенного производства и обеспечивает приемлемый срок окупаемости затрат на приобретение технологического оснащения.

**А. Х. Тлибеков**

главный инженер проектов, ООО «Вебер Инжиниринг»  
tlibekov@weber.ru, www.weber-engineering.ru

### Литература

1. Тлибеков А. Х. Моделирование времени обработки деталей из листа с использованием дробно-степенных рядов и генетического алгоритма. // Металлообработка. 2013 № 1. С. 27–32.
2. Тлибеков А. Х. Выбор оборудования и расчет его количества для производства деталей из листа. // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация / февраль, 2014. С. 10–15.