

УДК 621.757.006.3.001.66(075.8)

В. А. Т а р а с о в, Н. В. П о л у х и н,
Т. О. Б о я р с к а я

ПРИМЕНЕНИЕ СИМПЛЕКС-МЕТОДА ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РЕШЕНИЙ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ПЕРЕВООРУЖЕНИЮ СТАНОЧНОГО ПАРКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Предложен методический подход к математическому решению задачи обоснования структуры станков для технического перевооружения предприятий. Показана высокая чувствительность формируемых решений к изменению технико-экономических условий обновления станочного парка предприятий.

E-mail: tarasov@sm.bmstu.ru

Ключевые слова: станки, станочный парк, фонды времени оборудования и рабочих, трудоемкость работ, производительность станков, фонд покупки оборудования, расходы на выполнение работ.

Интенсивное техническое перевооружение промышленных предприятий при разнообразии станков, предлагаемых на рынке отечественными и зарубежными фирмами, требует разработки методического подхода для обоснования покупки оборудования, который исключит субъективность принимаемых решений. В этих условиях известные методики [1–3] определения потребности предприятий в оборудовании становятся неэффективными. Необходима методика принятия решений о приобретении предприятием нового оборудования, учитывающая большое число факторов: технические возможности станков и влияние уровня автоматизации на расходы по производству продукции, объем фонда покупки станков, их долговечность и гарантийные сроки обслуживания, особенности применяемого инструмента и др.

Обоснованию математических принципов создания такой методики посвящена настоящая статья.

В наиболее простой постановке задачу о покупке оборудования в рамках программы технического перевооружения предприятия будем рассматривать в следующих предположениях:

- для производственной системы задана годовая программа Π выпуска деталей средних и малых размеров;
- создан классификатор, который подразделяет выпускаемую продукцию на простые детали, детали средней и высокой сложности.

Простые детали могут быть обработаны на трехкоординатных станках; детали средней и высокой сложности – на четырех- и пятикоординатных станках. После этого в классификаторе выделяются детали фрезерной и токарной групп, которые, в свою очередь, разбиваются на подгруппы по таким признакам, как тип материала, геометрические особенности деталей и др.;

– на основе анализа структуры технологического оснащения в качестве типовых моделей выбраны наиболее распространенные станки, которые далее называются типовыми станками. Сюда же включены типовые модели обрабатывающих центров. Типовые станки имеют определенные жесткость, быстроходность, точность, которые обеспечивают некоторые технологические возможности, включая производительность обработки;

– на базе метода экспертной оценки определены объемы Q_i фрезерных, токарных и сверлильных работ, которые соответствуют условию выполнения заданной программы производства деталей на типовом оборудовании предприятия. При их изготовлении будет использовано имеющееся (available) в станочном парке оборудование N_i^a , а также вновь приобретаемое, прогрессивное оборудование N_i^p , где верхний индекс a (или p) указывает на то, что станки имеются в станочном парке (или приобретаются), нижний индекс i обозначает тип обработки: 1 – токарная и 2 – фрезерная, 3 – сверление, 4 – шлифование и т.д.);

– утвержден список имеющихся станков, которые будут участвовать в производственном процессе. Выбраны детали для обработки на этих станках и определены объемы выполняемых работ Q_i^a ;

– представлены результаты аттестации имеющегося оборудования на соответствие требованиям производства;

– имеется программа развития станочного парка, направленная на повышение точности, производительности, снижение дефектности деталей, улучшение условий труда. В программе определяется перечень перспективного оборудования, которое желательно приобрести.

Принятые допущения позволяют установить объемы работ $Q_i^{\min} = Q_i - Q_i^a$ и типы деталей, которые будут обрабатываться на новом оборудовании, и создать альтернативный список возможных покупок оборудования, из которого по разрабатываемой методике будут выбраны тип и число станков, удовлетворяющих условию минимальных расходов на производство продукции при заданных ограничениях на объем фонда покупок, надежности станков и инструмента.

Существует альтернатива выполнения установленных объемов работ Q_i^{\min} : либо на технологически специализированных станках (токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и др.), либо на универсальных (многофункциональных) станках – обрабатывающих центрах. Возможно комбинированное использование станков. Часть работ

требует для выполнения узкоспециализированного оборудования (например, разрезных станков). Однако и в последнем случае существует выбор: ленточные пилы, станки для гидроабразивной обработки, установки плазменного или лазерного раскроя материала и т.д.

Вновь покупаемые станки имеют определенные технологические возможности Q_i^{vs} и Q_i^{vu} (например, производительность, под которой будем понимать объем трудозатрат, выполняемый на станке в течение года). Тогда для оценки потребного числа станков можно предложить следующие соотношения:

$$N_i^s = \frac{Q_i^{\min}}{Q_i^{vs}}, \quad n_{ji}^u = \frac{Q_i^{\min}}{Q_i^{vu}}, \quad (1)$$

где N_i^s — число специализированных станков; n_{ji}^u — число частей обрабатывающего центра j -й марки, на котором выполняется i -й объем работ. Далее эта оценка служит основой для расчета численности обрабатывающих центров j -й марки:

$$N_j^u = \sum_i n_{ji}^u. \quad (2)$$

Полученная численность станков — заведомо избыточная. Поэтому главной задачей является обоснование выбора оптимальных долей β_i, δ_{ji} этой численности, которые, с одной стороны, обеспечат надежное выполнение всех видов работ, а с другой, — сократят до минимума расходы на изготовление. (Здесь β_i — доли специализированных станков N_i^s , δ_{ji} — доли частей n_{ji}^u обрабатывающего центра j -й марки, которые сравниваются между собой для определения объема покупки.) Условие выполнения работ в принятых обозначениях можно представить в виде

$$\beta_i N_i^s Q_i^{vs} + \sum_j \delta_{ji} n_{ji}^u Q_{ji}^{vu} \geq Q_i^{\min}. \quad (3)$$

Очевидным ограничением покупки нового оборудования является объем фонда покупок Φ_{Π} и цена станков:

$$\sum_i \left(\beta_i \Pi^i \frac{Q_i^{\min}}{Q_i^{vs}} + \sum_j \frac{\Pi_j^u \delta_{ji} Q_i^{\min}}{Q_{ji}^{vu}} \right) \leq \Phi_{\Pi}, \quad (4)$$

где Π^i, Π_j^u — цены специализированных станков и обрабатывающих центров.

В структуре затрат на производство продукции производительность оборудования играет важную роль. Для ее определения может быть принята следующая процедура.

1. При использовании типовых станков в течение года на каждом из них можно реализовать трудоемкость работ Q_i^t , равную действи-

тельному фонду времени работы оборудования Φ_{do} ($Q_i^{vt} = \Phi_{do}$) [1–3]. Эта трудоемкость определяет производительность типовых станков.

2. В процессе обработки деталей одновременно участвуют станок и рабочий. Обе эти составляющие нормируются и учитываются в формировании себестоимости продукции.

3. При проектировании технологического процесса эффективность использования станков характеризуется нормами времени отдельных операций, что впоследствии используется при уточнении амортизационных отчислений. В норме времени выделяется основное время, которое затрачивается на формирование поверхностей, а все остальное время (условно будем называть его вспомогательным) — это время на холостые ходы, переустановку деталей и приспособлений, транспортировку деталей, смену инструмента, настройку и наладку, уборку стружки и станка и др.

Для типовых станков на основе метода экспертных оценок определяются доли μ_i^t и η_i^t основного (Q_i^{top}) и вспомогательного (Q_i^{tnop}) времени, т.е.

$$Q_i^{top} = \mu_i^t Q_i^t, \quad Q_i^{tnop} = \eta_i^t Q_i^t \quad (\mu_i^t + \eta_i^t = 1).$$

При оценке производительности предполагается, что работа выполняется с помощью типового инструмента.

4. Для станков, которые соответствуют задаче технического развития производственной базы, по методу экспертных оценок оценивается повышение производительности выполнения основной $\mu_i = \mu_i^t \mu_i^*$ и вспомогательной долей $\eta_i = \eta_i^t \eta_i^*$ трудоемкости работ в течение года:

$$Q_i^v = (\mu_i^t \mu_i^* + \eta_i^t \eta_i^*) Q_i^t. \quad (5)$$

Коэффициенты μ_i^* , η_i^* характеризуют повышение производительности и показывают, во сколько раз на покупаемом станке основные и вспомогательные переходы выполняются быстрее в сравнении с типовыми станками.

5. Расходы на заработную плату учитывают участие рабочего в процессе обработки, что связано со степенью автоматизации оборудования. Рабочего могут обязать: наблюдать за работой станка постоянно, периодически, выборочно; измерять размеры, менять инструмент, приспособления, транспортировать детали; устанавливать, переустанавливать и снимать детали; наладивать станок и настраивать инструмент; ремонтировать станок, приспособления и т.д.

При использовании типового оборудования занятость рабочих Q_{ip}^{\min} в i -м виде обработки технологического процесса можно оценить соотношением

$$Q_{ip}^{\min} = \nu_i^t Q_i^{\min}.$$

Такие оценки определяют заработную плату рабочих и их потребное число $P_p = \sum_i Q_{ip}^{\min} / \Phi_{др}$. При этом коэффициент ν_i^t может быть больше единицы ($\nu_i^t = 1 \dots 3$).

Повышение автоматизации оборудования сокращает в ν^* раз трудозатраты рабочего при изготовлении деталей:

$$Q_{ip}^{\min} = \frac{\nu_i^t}{\nu^*} Q_i^{\min}. \quad (6)$$

Таким образом, соотношения (3)–(5) дают $2i + 1$ неравенство для определения искомых значений коэффициентов β_i, δ_{ji} , которые линейно связаны друг с другом, где i — число видов технологических работ.

После элементарных преобразований неравенства (3) и (4) с учетом уравнения (5) примут вид:

$$\begin{aligned} \beta_i &\geq 0; \\ \delta_{ji} &\geq 0; \\ \beta_i + \sum_j \delta_{ji} &\geq 1; \\ \sum_i \frac{Q_i^{\min}}{\Phi_{до}} \left(\frac{T_{ami}^{st}}{T_{am1}^{st}} \frac{\beta_i \bar{\Pi}^i}{\mu_i^t \mu^* + \eta_i^t \eta^*} + \sum_j \frac{T_{amj}^{st}}{T_{am1}^{st}} \frac{\bar{\Pi}_j^u \delta_{ji}}{\mu_{ji}^t \mu_j^* + \eta_{ji}^t \eta_j^*} \right) &\leq \bar{\Phi}_\Pi, \end{aligned} \quad (7)$$

где комплексный показатель $\bar{\Pi}^i = \frac{\Pi^i}{T_{ami}^{st} \Pi_1^t}$ характеризует цену сравнимых станков Π^i и их надежность через срок амортизации оборудования T_{ami}^{st} , который в данном исследовании принят равным времени наработки станка до предельного состояния. Здесь Π_1^t — цена типового фрезерного станка, $\bar{\Phi}_\Pi = \frac{\Phi_\Pi}{\Pi_1^t T_{am1}^{st}}$ — относительный показатель объема фонда покупки оборудования.

Требование минимума расходов R на выполнение работ, в которых учитываются амортизационные отчисления $R_{ам}$ и расходы на заработную плату, сводит задачу о поиске коэффициентов β_i, δ_{ji} к задаче линейного программирования. (В первом приближении при сравнении и выборе оборудования для его покупки затраты на обслуживание производственных площадей и зданий будем считать независимыми от структуры покупки станков.)

Амортизационные отчисления во всех случаях прямо пропорциональны цене оборудования Π^i, Π^u , числу станков N^s, N^u и обратно пропорциональны сроку амортизации станков T_{ami}^{st} в годах. Кроме того, другая составляющая амортизационных отчислений учитывает затраты на приобретение инструмента, который у различных постав-

щиков имеет разную цену, расход на единицу выполненной работы и показатели надежности.

Если годовые расходы на инструмент представить как $St_{\Phi}^{in} = = p^{in} \frac{a^*}{b^*} \frac{\Pi^i Q^{\min}}{T_{ami}^{st} Q_i^{vs}}$, вписать их в структуру амортизационных отчислений на оборудование, добавить к этим затратам расходы на заработную плату рабочих и привести анализируемые расходы к безразмерному виду, то получим выражение целевой функции:

$$\bar{R} = \frac{R}{\Pi_1^{bz}} = \sum_i \frac{Q_i^{\min}}{\Phi_{do}} \left(\bar{W}_i^{ps} \beta_i + \sum_j \bar{W}_{ji}^{up} \delta_{ji} \right) \Rightarrow \min, \quad (8)$$

где $\bar{W}_i^{ps} = \frac{\left(1 + p^{in} \frac{a^*}{b^*}\right) \bar{\Pi}^{psi}}{\mu_i^t \mu_i^{*ps} + \eta_i^t \eta_i^{*ps}} + \frac{\Phi_{do} \nu_i^{bz}}{\Phi_{dp} \nu^*} \bar{\Pi}_{\text{раб}}^{\text{год}}$, $\bar{\Pi}^{psi} = \frac{\Pi^{psi}}{\Pi_1^t T_{am}^{st}}$, $\bar{\Pi}_{\text{раб}}^{\text{год}} = = \frac{\Pi_{\text{раб}}^{\text{год}}}{\Pi_1^t}$, — средние расходы на рабочего в год (здесь не учитываются затраты на освоение нового оборудования и изменение структуры контрольно-измерительного инструмента), $p^{in} \approx 1$ — коэффициент пропорциональности, a^*, b^* — коэффициенты изменения стоимости и стойкости инструмента по отношению к инструменту российского производства.

Уравнения (7) и (8) представляют собой формулировку задачи линейного программирования:

$$\begin{aligned} X &\geq 0, \\ A_1 X + B &\geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

при

$$F = \gamma_0 + \Gamma X \Rightarrow \min, \quad (10)$$

где $A_1 = - \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1k} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{m1} & \alpha_{m2} & \dots & \alpha_{mk} \end{pmatrix}$ — матрица коэффициентов;

$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_k \end{pmatrix}$ — матрица искоемых величин, обеспечивающих ми-

нимум целевой функции F ; $\Gamma = \begin{pmatrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \\ \dots \\ \gamma_k \end{pmatrix}$ — коэффициенты в це-

левой функции (линейной форме), которая после умножения матриц

принимает вид

$$F = \gamma_0 + \gamma_1 x_1 + \gamma_2 x_2 + \dots + \gamma_k x_k.$$

Решатели многих офисных программ имеют необходимую для этого стандартную программу. Например, для решения задачи линейного программирования в Excel существует программа, реализующая симплекс-метод.

Апробацию предложенной методики выбора типажа станков для технического перевооружения проведем на базе решения тестовой задачи со следующими условиями.

Техническое перевооружение предприятия направлено на интенсификацию фрезерования и обработки отверстий, которые по объему выполнения в год на типовых станках требуют 30 фрезерных и 10 сверлильных станков $\left(\frac{Q_1^{\min}}{\Phi_{do}} = 30, \frac{Q_2^{\min}}{\Phi_{do}} = 10, \text{ где нижний индекс } 1 \text{ обозначает фрезерование, } 2 - \text{ сверление} \right)$. В табл. 1 приведены технические характеристики типового оборудования — фрезерного станка марки FGC чешского производства и вертикально-сверлильного станка марки 2С-132.

Таблица 1

Принятые параметры типовых специализированных станков

Тип станка	Средняя доля			Срок амортизации оборудования T_{ami}^{st}	Цена оборудования \bar{C}^i
	ручного труда v_i^t	основного времени μ_i^t	вспомогательного времени η_i^t		
Фрезерный	2	0,4	0,6	15	0,0662
Сверлильный	2	0,3	0,7	15	0,0222

Для выполнения работ Q_i^{\min} в приоритетном списке оборудования для технического перевооружения предприятия указаны: более прогрессивный фрезерный станок (марка С № 1), сверлильный станок (марка С № 2), а также несколько обрабатывающих центров (марки С № 3, 4, 5...), технические характеристики которых приведены в табл. 2.

По сути, при апробации предложенной методики варьируются четыре параметра:

а) три параметра обрабатывающих центров $\bar{C}^i, a^*/b^*, v^*$ варьируются в интервалах $\Delta \bar{C}^i = 0,244, \Delta v^* = 2, \Delta \frac{a^*}{b^*} = 0,3;$

Характеристика станков и инструмента перспективного ряда

Марка станка	Вид работы	\bar{C}^i	v^*	μ_i^*	η_i^*	$\frac{a^*}{b^*}$ для комплектов инструмента	
						К№ 1	К№ 2
<i>Специализированные станки</i>							
С № 1	Фрезерование	0,0867	1,5	1,3	1,6	0,8	0,5
С № 2	Сверление	0,0289	1,5	1,3	1,6	0,8	0,5
<i>Обрабатывающие центры</i>							
С № 3	Фрезерование	0,267	5	2	3	0,8	0,5
	Сверление						
С № 4	Фрезерование	0,422	7	2	3	0,8	0,5
	Сверление						
С № 5	Фрезерование	0,178	5	2	3	0,8	0,5
	Сверление						

Таблица 3

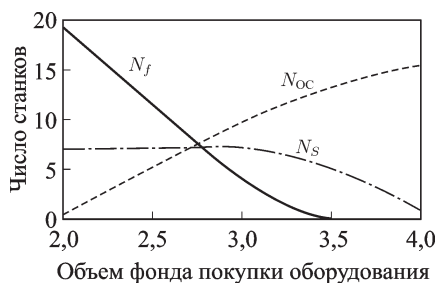
Результаты сравнения обрабатывающих центров (ОЦ) со специализированными станками по предложенной методике

Анализируемые ОЦ	\bar{C}^i	$\frac{a^*}{b^*}$	v^*	$\bar{\Phi}_n$	\bar{R}	β_1	β_2	δ_1	δ_2	Выбранное технологическое оснащение
С № 3 + К№ 1	+	+	-	-	14,1	0,96	1	0,04	0	Станки № 1 и № 2
С № 5 + К № 2	-	-	-	-	13,4	0,96	1	0,04	0	Станки № 1 и № 2
С № 5 + К № 1	-	+	+	-	9,44	0	0,12	1	0,87	Станок № 5
С № 5 + К № 2	-	-	+	+	6,56	0	0,12	1	0,87	Станок № 5
С № 4 + К № 2	+	-	+	-	13,5	0,96	1	0,04	0	Станки № 1 и № 2
С № 5 + К № 1	-	+	-	+	8,25	0	0,12	1	0,87	Станок № 5
С № 3 + К № 2	+	-	-	+	10,6	0	0,12	1	0,87	Станок № 3
С № 4 + К № 1	+	+	+	+	13,5	0	1	1	0	Станки № 2 и № 4

б) границы изменения показателя относительного объема фонда покупки оборудования $\bar{\Phi}_n = \frac{\Phi_n}{C_1^t T_{ami}^{st}}$ (верхняя 4, нижняя 2);

в) остальные параметры приняты постоянными.

Расчеты проводились в соответствии с дробным планом выбора влияния варьируемых факторов, указанным в табл. 3. Там же приведены результаты выбора оборудования и уровень расходов в каждом из вариантов расчета.



Зависимость структуры приобретаемых специализированных станков и обрабатывающих центров от объема фонда покупки оборудования:

N_f , N_s и N_{oc} — число фрезерных (марки С № 1), сверлильных станков (марки С № 2) и обрабатывающих центров (марки С № 3) соответственно

Анализ полученных результатов показывает, что предложенная методика обладает высокой чувствительностью к техническим характеристикам станочного оборудования, и позволяет анализировать корреляцию между параметрами проекта технического перевооружения предприятия.

Важно, что методика позволяет исследовать влияние ключевых параметров проекта на состав приобретаемых станков для технического перевооружения предприятий.

Так, фрезерные работы и обработку отверстий, указанные в тестовой задаче, можно выполнить на 20 специализированных фрезерных и сверлильных станках марок С № 1 и С № 2 или на 16 обрабатывающих центрах марки С № 3. Предложенная методика, минимизируя расходы на выполнение запланированных работ, определяет коэффициенты $\beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$ как функции объема фонда покупки оборудования $\bar{\Phi}_n$. В результате формируются рекомендации по числу станков различного типа в структуре приобретаемых специализированных станков и обрабатывающих центров в зависимости от объема фонда покупки оборудования $\bar{\Phi}_n$. Пример таких рекомендаций представлен на рисунке.

Таким образом, предложенный методический подход может служить основой для обоснования выбора направлений технического перевооружения производственной базы предприятий. Дальнейшее совершенствование подхода потребует разработки методики подготовки базы данных и учета затрат на освоение нового оборудования и изменение структуры контрольно-измерительного инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Т и х о м и р о в В. А. Основы проектирования самолетостроительных заводов и цехов. – М.: Машиностроение, 1975. – 471 с.
2. Е г о р о в М. Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. – М.: Машгиз, 1954. – 588 с.
3. К и с е л е в Е. С. Проектирование механосборочных цехов машиностроительных предприятий. – Ульяновск: УлГТУ, 1999. – 118 с.

Статья поступила в редакцию 4.03.2009

Владимир Алексеевич Тарасов — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Технологии ракетно-космического машиностроения” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 160 научных и учебно-методических работ в области технологии машиностроения.

V.A. Tarasov — D. Sc. (Eng.), professor, head of “Technology of Rocket and Space Mechanical Engineering” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 160 publications in the field of technology of mechanical engineering.

Николай Валерьевич Полухин — канд. техн. наук, главный инженер ОАО “Корпорация “Тактическое ракетное вооружение”. Автор 9 научных работ в области технологии машиностроения.

N.V. Polukhin — Ph. D. (Eng.), chief engineer of joint-stock company “Corporation “Tactical Rocket Armament”. Author of 9 publications in the field of technology of mechanical engineering.

Татьяна Олеговна Боярская — ассистент кафедры “Экономика и организация производства” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 7 научных работ в области экономики предприятий и организации производства.

T.O. Boyarskaya — assistant lecturer of “Economics and Management of Production” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 7 publications in the field of business economics and management of production.