

УДК 338.2.65.290-2

Д.В. Божко

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЕКТНОЙ МОЩНОСТИ СОЗДАНИЯ ПРОДУКТА

Предложен метод выбора технологического оборудования и соответствующей технологической оснастки с учетом стоимости приобретения и эксплуатации. Применение разработанного метода позволит существенно сократить время принятия решения по выбору режущего и вспомогательного инструмента, выбору и оценке подходящего оборудования. Для преодоления неопределенности выбора критерия оптимальности в различных производственных ситуациях предложена байесовская схема логического вывода-вывода для выбора технологического оборудования в условиях неопределенности исходных данных, по типу экспертных систем. При этом лицо, принимающее решение, получает возможность с большей вероятностью выполнять оценку прямых затрат высокотехнологичного проекта.

Ключевые слова: высокотехнологичные проекты, мощность производственной единицы, технологическая оснастка, байесова сеть.

Введение

На сегодняшний день на рынке имеется достаточно большой выбор технологического оборудования различного назначения и соответствующей технологической оснастки и эта номенклатура продолжает расти. В данных условиях перед руководителями высокотехнологичных проектов встает вопрос об оптимальном выборе оборудования с технологической и экономической точек зрения. При выборе оборудования в первую очередь учитывают его стоимость и в большинстве случаев не задаются вопросом расчета экономической эффективности, а это приводит к тому, что стоимость эксплуатации средств технологического оснащения зачастую составляет существенную статью затрат проекта, снижая его рентабельность для организации. Эта проблема связана с тем, что пока не разработан четкий механизм для решения данной задачи.

Сейчас все больше предприятий подбирают технологическое оборудование под конкретный технологический проект либо программу. На данном уровне перед руководителями стоит задача оценить величину возможных инвестиций, сделать правильный выбор при подборе оборудования, исходя из особенностей предлагаемого технологического решения конкретной задачи, из организационных условий конкретного предприятия. Таким образом, актуальными являются задачи планирования мощности проекта и обоснование выбора вида и количества технологического оборудования с учетом стоимости приобретения и стоимости эксплуатации.

1. Планирование мощности

Понятие мощность производственной единицы – важная часть информации для планирования. Зная верхний предел нагрузки производственной единицы можно составлять проектные планы. Существует несколько понятий мощности:

– проектная мощность (ПМ): максимальный объем выпуска, которого необходимо добиться;

– эффективная мощность (ЭМ): максимально возможный объем выпуска с учетом видов продукции, рабочих графиков, эксплуатации оборудования, факторов качества и т.д.;

– реальный выпуск (РВ): действительный объем выпуска, который не может превышать эффективную мощность, из-за поломок оборудования, брака, нехватки материалов и подобных факторов.

Различные единицы измерения мощности полезны при определении двух показателей эффективности производственной системы: эффективность (Э) и нагрузка (Н):

$$\Theta = \frac{PB}{ЭМ}; \quad H = \frac{PB}{ПМ} \cdot e^{i\theta}. \quad (1)$$

Планирование производственных мощностей включает краткосрочные и долгосрочные факторы. Долгосрочные факторы – это общий уровень производственных возможностей предприятия, например, объем мощностей (их величина); краткосрочные учитывают возможные изменения в требованиях по мощности, которые могут быть вызваны сезонными, случайными и нерегулярными колебаниями спроса.

Для сравнения альтернативных вариантов спроса используется анализ «затраты — объем», при этом определяются все виды затрат с дифференциацией их на постоянные и переменные [1].

Суммарные затраты TC для данного объема выпуска складываются из постоянных затрат FC и произведения переменных затрат VC на объем Q:

$$TC = FC + VC \times Q. \quad (2)$$

В случае, если весь выпуск продукции будет реализован, суммарный доход для данного объема выпуска будет равен:

$$TR = R \times Q, \quad (3)$$

где R – доход на единицу продукции, а суммарная

прибыль рассчитывается по формуле:

$$P = TR - TC = R \times Q - (FC + VC \times Q). \quad (4)$$

Объем выпуска для получения заданной прибыли равен:

$$V = \frac{P + FC}{R - VC}. \quad (5)$$

Объем, при котором суммарный доход равен суммарным затратам (точка безубыточности) рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{ТБ} = \frac{FC}{R - VC}. \quad (6)$$

Альтернативы по мощности могут включать ступенчатые затраты. Например, компания имеет

возможность приобрести один, два или три станка, при этом каждый станок увеличивает постоянные затраты, хотя и не по линейному закону. В этом случае постоянные затраты и потенциальный объем выпуска зависят от числа закупленных станков. При этом возникает несколько точек безубыточности, одна для каждого диапазона выпуска. Линия общего дохода может не пересекать линию постоянных затрат в определенном диапазоне. Чтобы определить, сколько необходимо приобретать оборудования, необходимо соотнести ожидаемый уровень спроса (объем) с точками безубыточности и выбрать наиболее подходящее число станков, как показано на рис. 1.

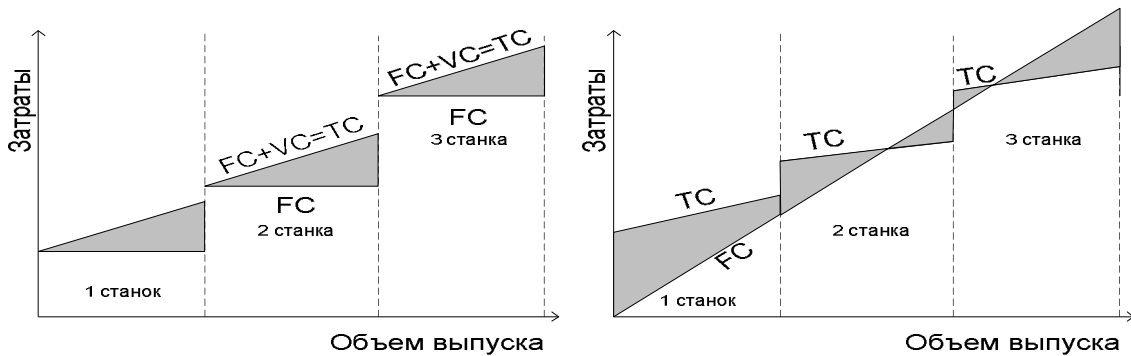


Рис. 1. Точки безубыточности при ступенчатых изменениях постоянных затрат

Рассмотрим последовательность определения затрат, на эксплуатацию станка за определенный промежуток времени t_i .

Шаг 1. Рассчитываем количество станков, необходимых для выполнения программы. В серийном производстве расчетное количество станков находят по формуле:

$$P_{T_a} = \frac{T_a \times P_s}{F_{pt} \times 60 \times K_{pr}}, \quad (7)$$

где P_{T_a} – расчетное количество станков выбранной работы, шт.; T_a – калькуляционное время на операцию, которая выполняется на станке, мин.; P_s – количество изготавливаемых деталей за t_i , шт.; F_{pt} – эффективный фонд рабочего времени оборудования за t_i , часы; K_{pr} – коэффициент выполнения норм времени (1 – 1,2).

Шаг 2. Определяем стоимость приобретения оборудования.

$$C_{eq} = C_s + C_{tr} + C_{bceq}, \quad (8)$$

где C_{bceq} – балансовая стоимость оборудования; C_{tr} – стоимость транспортировки и других подготовительных работ (1 – 2% от C_{bceq}) C_s – стоимость помещения в котором установлен станок, если помещение покупается, либо стоимость оформления аренды:

$$C_s = Pr_s \times V_s, \quad (9)$$

где Pr_s – цена за 1 м^3 производственного помещения, V_s – объем помещения, занимаемый станком.

Шаг 3. Определение количества рабочих для данной операции:

$$W_{eq} = \frac{T_{wa} \times P_s}{F_{wpt} \times 60 \times K_{wpr}}, \quad (10)$$

где W_{eq} – расчетное количество рабочих, чел.; T_{wa} – калькуляционное время затрачиваемое рабочим на операцию, которая выполняется на станке, мин.; F_{wpt} – эффективный фонд рабочего времени сотрудника за количество изготавливаемых деталей за t_i , часы; K_{wpr} – коэффициент выполнения норм рабочими (1 – 1,2).

Шаг 4. Определение затрат, связанных с выплатой заработной платы сотрудникам:

$$C_w = \frac{T_{wa} \times P_s}{60} C_{rate} (1 + D_{FS}), \quad (11)$$

где C_{rate} – среднечасовая тарифная ставка сотрудников D_{FS} – отчисления в фонды страхования.

Шаг 5. Определение затрат на оснастку и инструмент для выбранного оборудования. Расчет затрат зависит от вида инструмента, например для режущего инструмента количество рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$I = \frac{T_{m\Sigma} \times 60 \times P_s}{T_i(1 - K_{pr})}, \quad (12)$$

где $T_{m\Sigma}$ – суммарное машинное время на обработку всех операций данным инструментом в часах;

T_i – время работы данного инструмента (суммарная стойкость), мин.; K_{pr} – коэффициент вероятной поломки инструмента (0,05 – 0,3).

Шаг 6. Определение затрат на эксплуатацию выбранного оборудования:

$$CPUT = \sum_{i=1}^{T_1} \frac{P_{eq} \times C^s}{(1-d)^i} - \sum_{j=1}^{T_2} \frac{I \times C^I}{(1-d)^j} - \sum_{k=1}^{T_3} \frac{W_{eq} \times C_w}{(1-d)^k} - \sum_{l=1}^{T_4} \frac{PT_a \times C_{eq}}{(1-d)^l}, \quad (13)$$

где d – ставка дисконтирования, выраженная десятичной дробью; P_{eq} – количество деталей, изготовленных на станке выбранного вида; C^s – цена изготавливаемых деталей; C^I – цена оснастки и инструмента. Слагаемое $\sum_{l=1}^{T_4} \frac{PT_a \times C_{eq}}{(1-d)^l}$ используется в случае, если в программе выпуска деталей планируется постепенное увеличение станков данного типа.

Данный расчет применим в том случае, когда станок куплен из собственных средств предприятия. Если на приобретения станка берется кредит, то в этом случае необходимо учитывать сумму процентов по кредиту, пересчитанную на один период эксплуатации станка.

2. Расчет мощности проекта в условиях неопределенности

В условиях конкуренции выбирать критерий оптимальности и назначать режимы обработки приходится в условиях неопределенности информации о количестве изготавливаемых деталей. Программа выпуска задается из прогнозируемых значений спроса на определенный вид деталей, поэтому на практике лицо, принимающее решение (технолог, оператор станка, рабочий и т.д.) делает свой выбор на основе личного опыта, однако сегодня на отечественных предприятиях не хватает специалистов, способных квалифицированно принимать подобные решения.

Один из возможных путей для преодоления таких трудностей является использование экспертных систем.

Для решения задачи выбора критерия оптимальности предлагается использовать байесовскую схему логического вывода [3]. Подобные схемы (с различными модификациями) нашли применение в современных экспертных системах, использующих теорию вероятностей.

Правила в экспертной системе отражаем в следующей форме: Если $\langle K_i \text{ является истиной} \rangle$, то $\langle P_j \text{ будет наблюдаться с вероятностью } p_{ij} \rangle$. Если K_i – событие, заключающееся в том, что данный критерий выбран верно является истиной, то P_j – событие, заключающееся в том, что наступило определенное доказательство (или свидетельство), которое может подтвердить правильность выбранного критерия K_i , будет наблюдаться с некоторой вероятностью p_{ij} . Результатом логического вывода является выбор наиболее вероятного критерия оптимальности для рассматриваемой производственной ситуации. Вероятности, требуемые для решения данной задачи, задаются экспертами [4].

Построение любой модели байесовой сети начинается с выделения основных объектов и событий предметной области, анализа возможных состояний каждого из событий и установления причинно-следственных связей между ними. Так, в нашем примере, исходя из мнения экспертов, можно заключить, что на суммарные производственные затраты оказывают влияние следующие факторы (рис. 2.)



Рис. 2. Байесова сеть расчета производственных затрат

Одинарные овалы соответствуют дискретным событиям, а двойные овалы – непрерывным событиям (гауссовским переменным). Для того чтобы данную качественную модель преобразовать в полную байесову сеть необходимо определить ее количественные характеристики. Для этого необходимо тщательно проанализировать каждое из событий.

Приведем пример, задания характеристик сети. Допустим получены от экспертов знания о том, что прогнозируемая величина спроса составляет 10000 ед. и колеблется в пределах $\pm 20\%$. Вершины количество оборудования, количество сотрудников и количество инструментов соответствуют дискретным событиям. Так, вершина “Количество оборудования” соответствует дискретному событию, которое характеризуется тремя возможными состояниями. Вероятность пребывания в каждом из них определяется количеством оборудования, при условии, что суммарная вероятность наличия разного

количества оборудования равна единице. Например, для количества изготавливаемых деталей, равном 10000 ед., по методу расчета оборудования определено, что необходимо 2 станка (табл. 1).

Таблица 1
Количество оборудования для программы выпуска 10000 ед.

P(PTa)=1	P(PTa)=2	P(PTa)=3
0,01	0,99	0,1

Аналогично задаются значения «Количество сотрудников» и «Количество инструментов».

Если считать, что все оборудование загружено равномерно, то распределение вероятности для этой вершины будет иметь вид:

- P(Загрузка оборудования – 1) = 0,5;
- P(Загрузка оборудования – 2) = 0,5;
- P(Загрузка оборудования – 3) = 0.

При этом следует отметить, что возможны и любые другие исходные распределения вероятностей, учитывающие различные варианты загрузки оборудования. Полученные от экспертов знания о том, что ставка аренды 1 м² в среднем составляет 250 грн. и колеблется в пределах ± 10%, т.е. принимает значения 250 ± 25 грн., а норма амортизации может находиться в пределах 5 – 10 % от балансовой стоимости, т.е. принимать значения 7,5 ± 2,5% (или 0,075 ± 0,025 относительных единиц) позволяют определить параметры ещё двух вершин – «Ставка арендной платы» и «Норма амортизации». Предполагая, что эти вершины являются непрерывными случайными переменными с гауссовским законом распределения, необходимо задать параметры этих законов для каждой из вершин, которые будут иметь вид (табл. 2).

Что касается вершины «Производственные затраты», то она характеризуется случайной переменной, условно нормальной на значениях родителей

(т.е. на значениях пяти других вершин примера). Следует отметить, что в общем случае распределение вероятностей для вершин, аналогичных вершине «Производственные затраты» является не просто нормальным, а смешанным нормальным распределением. Т.е. представляет собой весовую сумму распределений, для каждого из которых должен быть задан список его параметров: математические ожидания и дисперсии для распределений, описывающих степень влияния дискретных родителей; весовые коэффициенты, учитывающие степень влияния на математическое ожидание непрерывных родителей.

Таблица 2
Определение параметров вершин «Ставка арендной платы» и «Норма амортизации»

	«Ставка арендной платы»	«Норма амортизации»
Математическое ожидание	250	0,075
Дисперсия	625 (25 ²)	0,000625 (0,025 ²)

Используя экспертное оценивание, предполагаем, что балансовая стоимость каждого станка составит 30000 грн., а площадь арендуемых участков, закрепляемая за одним станком составляет 6 м². В случае наличия большего количества станков, площадь с учетом расстояния между станками будет равна: для двух станков — 24 м², для трех — 35 м² и т.д. База оплаты труда сотрудника составила 550 грн., стоимость одной единицы инструмента для станка 200 грн.

А оценка прямых затрат на поддержание нормальной работы оборудования составляет 300, 320 и 350 грн. в зависимости от того сколько станков используется и получена с 5% точностью. Степень влияния родительских вершин на «Производственные затраты» можно представить табл. 3.

Таблица 3
Параметры вершины «Производственные затраты»

Загрузка оборудования	1 станок	2 станок	3 станок
– математическое ожидание	300	320	350
– дисперсия	225 (=15 ²)	256 (=16 ²)	
Оплата труда персонала, грн.	550	550	550
Затраты на инструмент, грн.	200	200	200
Норма амортизации, грн.	30000	60000	90000
Площадь аренды, м ²	6	24	35

На основе проведенного экспертного оценивания предметной области, можно переходить к реализации байесовой сети в системе моделирования.

Пусть нам требуется оценить возможное изменение суммарных производственных затрат при

уменьшении спроса и при допустимом небольшом снижении норм амортизации. Для ответа на такого типа запрос, необходимо в исходную байесову сеть ввести два новых свидетельства: первым является свидетельство о том, что норма амортизации оборуду-

довання в розглянутому випадку може скласти 6% (т.е. математичне очікування даного неперервного свідчення буде рівно 0.06, а дисперсія рівно 0); другим є свідчення про використання тільки одного станка.

Проведя розповсюдження розподілу ймовірностей і параметрів гауссових законів розподілу на інші складові мережі, отримали результат, що виробничі витрати зменшилися порівняно з початковим результатом.

Висновки

В роботі проаналізовано вибір засобів технологічного оснащення створення нової техніки. Основні проблеми при виборі технологічної системи включають визначення типу виробництва, ступеня гнучкості виробництва, виробничі витрати. Одним з факторів, які впливають на вибір технологічної системи, є виробнича потужність. Необхідність визначення потужності обумовлена тим, що потужність визначає максимальні обсяги випуску і є основним детермінантом виробничих витрат. Як правило, різні супутні фактори негативно впливають на завантаження системи, і ефективна потужність зазвичай нижче проектної. В число цих факторів входять: вибір і розміщення обладнання, поломки обладнання, людський фактор і інше. В ідеальному плануванні потужність повинна відповідати запиту. Тому існує тісна зв'язь між прогнозуванням і плануванням виробничих потужностей, особливо в довготривалому періоді. Представлено метод

розрахунку кількості і вибору виду обладнання, з урахуванням економічної ефективності подальшої експлуатації станків. Застосування розробленого методу дозволить суттєво скоротити час прийняття рішення про вибір різального і допоміжного інструменту, вибору і оцінку підходящого обладнання. Для подолання невизначеності вибору критерію оптимальності в різних виробничих ситуаціях запропоновано байєсівську схему логічного висновку, по типу експертних систем. При цьому людина, яка приймає рішення, отримує можливість з більшою ймовірністю виконувати оцінку прямих витрат високотехнологічного проекту.

Список літератури

1. Клаус-Герольд Грундиг *Проектирование промышленных предприятий: Принципы, методы, практика.* – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 340 с.
2. Вильям Дж. Стивенсон. *Управление производством.* – М.: ООО «Лаборатория Базовых Знаний», 1998. – 928 с.
3. *Искусственный интеллект: в 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / Под ред. Э.В. Попова.* – М.: Радио и связь, 1990. – 464 с.
4. *Построение экспертных систем: Пер. с англ. / Под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената.* – М.: Мир, 1987. – 441 с.

Поступила в редколлегию 21.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Вартамян, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ПРОЕКТНОЇ ПОТУЖНОСТІ СТВОРЕННЯ ПРОДУКТУ

Д.В. Божко

Запропонований метод вибору технологічного устаткування і відповідного технологічного оснащення з урахуванням вартості придбання і експлуатації. Застосування розробленого методу дозволить істотно скоротити час ухвалення рішення по вибору різального і допоміжного інструменту, вибору і оцінці відповідного устаткування. Для подолання невизначеності вибору критерію оптимальності в різних виробничих ситуаціях запропонована байєсівська схема логічного висновку-висновку для вибору технологічного устаткування в умовах невизначеності початкових даних, за типом експертних систем. При цьому особа, що ухвалює рішення, дістає можливість з більшою вірогідністю виконувати оцінку прямих витрат високотехнологічного проекту.

Ключові слова: високотехнологічні проекти, потужність виробничої одиниці, технологічне оснащення, байєсова мережа.

METHOD OF PLANNING OF PROJECT POWER OF CREATION OF PRODUCT

D.V. Bozhko

The method of choice of technological equipment and proper technological rigging is offered taking into account an acquisition and exploitation cost. Application of the developed method will allow substantially to shorten time of decision-making on a choice cutting and auxiliary instrument, to the choice and estimation of suitable equipment. For overcoming the vagueness of choice of criterion of optimumness in the different situations of productions the pertaining to bayes chart of logical conclusion-conclusion is offered for the choice of technological equipment in the conditions of vagueness of basic data, on the type of consulting models. Thus a person, decisionmaking, gets possibility with greater probability to execute the estimation of direct expenses of hi-tech project.

Keywords: hi-tech projects, power of production unit, technological rigging, pertaining to bayes network.