

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ — НОВЫЙ ПОДХОД

**Постановка проблемы.** В последнее время наиболее часто звучащей причиной неудач в хозяйственной деятельности предприятий было словосочетание „мировой экономический кризис”. Но для Украины состояние кризиса — нормальное явление, другого в нашей стране еще пока не было. Однако сложившаяся ситуация в мире создает благоприятные условия для „экономического рывка” Украины на мировой арене. В данный период субъекты хозяйствования решают множество вопросов по поводу мобилизации внутреннего экономического потенциала для преодоления финансовых проблем, а также трудностей, связанных с оптимизацией собственного капитала, необходимостью уменьшения количества работников, переходом на сокращенный рабочий день, нехваткой собственных оборотных средств и многими другими проблемами. Особую проблему представляет в настоящее время состояние используемого оборудования, 80% которого отработало срок своей службы.

Эффективность использования оборудования связана с качеством выпускаемой продукции, бесперебойной работой оборудования, его качественным и постоянным обслуживанием, совершенством технологического обеспечения. Достичь повышения этих показателей эффективности производства можно путем внедрения современных систем, таких как Total Productive Maintenance (TPM), которая родилась в 60-е гг. в Японии. Словосочетание TPM можно перевести как обслуживание оборудования, позволяющее обеспечить его наивысшую эффективность на протяжении всего жизненного цикла с участием всего персонала [1; 2].

Система TPM позволяет обеспечить наивысшую эффективность работы оборудования. Но достичь одного и того же числового значения показателя эффективности можно разными путями, и реализацией абсолютно разных алгоритмов достижения запланированной цели, поэтому на стадии постановки задач для повышения эффективности необходимо установить приоритеты (весомость) факторов, которые определяют эффективность работы оборудования.

**Использование данной проблемы в публикациях.** Вопросами повышения эффективности работы оборудования использованием системы Total Productive Maintenance занимались как отечественные и зарубеж-

ные такие как: Р. Кеннеди, Л. Мацца, С. Федина, А. Бурашников, В. Пшенников и многие другие.

Так, Р. Кеннеди, Л. Мацца предлагают рассматривать TPM в качестве интегрированного подхода к повышению эффективности производственного оборудования и компании в целом [1]. Следовательно, эффективность использования оборудования они рассматривают как неотъемлемую часть эффективности предприятия.

Для достижения максимального уровня эффективности необходимо перестроение общепринятого уклада с организацией работы оборудования. На этом акцентируют внимание С. Федина, А. Бурашников. Они говорят, что „TPM — система постоянного действия, предназначенная для измерения качества работы и принятия мер по совершенствованию процессов. Она направлена на обеспечение непрерывного улучшения качества продукции, состояния оборудования и развития персонала” [3]. В. Пшенников в своих статьях определяет цель TPM, как создание предприятия, которое постоянно стремится к предельному и комплексному повышению эффективности производственной системы. Средством достижения цели служит создание механизма, который, охватывая непосредственно рабочие места, ориентирован на предотвращение всех видов потерь („нуль несчастных случаев”, „нуль поломок”, „нуль брака”) на протяжении всего жизненного цикла производственной системы. Для достижения цели используются все подразделения: конструкторские, коммерческие, управленческие, но, прежде всего, производственные. В достижении цели участвует весь персонал — от высшего руководителя до работника „первой линии”. Стремление к достижению „нуля потерь” реализуется в рамках деятельности иерархически связанных малых групп, в которые объединены все работники [4].

Одной из основных предпосылок повышения эффективности использования оборудования является нахождение оптимальных значений составляющих комплексного показателя эффективности.

**Цель статьи** — предложить метод оптимизации достижения максимальной эффективности использования оборудования, и соответствующий математический аппарат для оценки.

**Изложение основного материала.** Эффективность использования оборудования в общем случае можно представить в следующем виде:

$$\mathcal{E} = f(\Gamma, \Pi, K, C) \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  — эффективность использования оборудования;

$\Gamma$  — готовность оборудования к выпуску продукции;

$\Pi$  — производительность выпуска продукции;

$K$  — качество выпущенной продукции;

$C$  — себестоимость продукции, сформированная под влиянием работы оборудования.

Для достижения оптимальных значений эффективности использования оборудования необходимо воспользоваться аппаратом математического программирования. Варианты проведения оптимизации представлены в работах Акулича И.Л., Карманова В.Г., Плотнокова А.Д. [5,6,7].

Наиболее полно отражающим картину оценки использования оборудования может быть метод многокритериальной оптимизации.

В качестве целевой функции оптимизации работы оборудования можно воспользоваться комплексным критерием [8]:

$$Q = \prod_{i=1}^n q_i^{\alpha_i} \quad (2)$$

$q_i$  — относительные единичные показатели эффективности работы оборудования;

$n$  — количество показателей эффективности работы оборудования;

$\alpha$  — коэффициенты весомости единичных показателей эффективности работы оборудования;

$i$  — порядковый номер показателя эффективности работы оборудования

Относительные единичные показатели эффективности оборудования, определяются из условия, что их изменение по  $i$ -му свойству при изменении абсолютного значения показателей  $p_i$  пропорционально его отклонению от базового  $p_{i0}$ .

$$\frac{dq_i}{dp_i} = r \cdot (p_{i0} - p_i) \quad (3)$$

где  $r$  — коэффициент пропорциональности.

Относительные единичные показатели могут изменяться в интервале от нуля до единицы.

Тогда граничные условия:

$$q_i(p_i = p_{i0}) = 1 \quad (4)$$

$$q_i(p_i = p_{inn}) = 0 \quad (5)$$

$p_{inn}$  — предельное (критическое) значение единичного показателя, под которым понимается наименее желательное значение.

Интегрируя выражение (3) с учетом (4) и (5) получим:

$$q_i = 1 - \left( \frac{p_{i0} - p_i}{p_{i0} - p_{inn}} \right) \quad (6)$$

Для оптимизации работы оборудования комплексный критерий (2) принимается в виде:

$$Q = q_{\Gamma}^{\alpha_{\Gamma}} \cdot q_{\Pi}^{\alpha_{\Pi}} \cdot q_K^{\alpha_K} \cdot q_C^{\alpha_C} \quad (7)$$

где  $\alpha_{\Gamma}, \alpha_{\Pi}, \alpha_K, \alpha_C$  — коэффициенты весомости

$$\alpha_{\Gamma} + \alpha_{\Pi} + \alpha_K + \alpha_C = 1.$$

Преимуществом предлагаемой функции является, то что она учитывает показатели эффективности работы оборудования, такие как:  $\Gamma$  — готовность,  $\Pi$  — производительность,  $K$  — качество выпускаемых изделий,  $C$  — себестоимость, сформированная под влиянием работы оборудования.

Приоритет показателей учитывается введением параметров весомости  $\alpha_i$ .

$$\alpha_i = \frac{1}{\lambda} \cdot \left( \frac{p_{i33a} - p_{inn}}{p_{i0} - p_{inn}} \right) \quad (8)$$

где  $p_{i33a}$  — заданное абсолютное значение для каждого показателя (задается при планировании).

Значение  $\lambda$ , отражающее состояние эффективности оборудования:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \left( \frac{p_{i33a} - p_{inn}}{p_{i0} - p_{inn}} \right) \quad (9)$$

Требуется найти вектор управления:

$$\varpi \approx \langle x_1, x_2 \dots x_i \rangle \quad (10)$$

который приводит к максимуму значения целевой функции (7):

$$\langle x_{i\min} \leq x_i \leq x_{i\max} \rangle_{i=1..m} \quad (11)$$

Для решения задачи оптимизации необходимо иметь математические зависимости, учитывающие связь между показателями эффективности работы оборудования и управляющими факторами процесса.

На управляющие параметры накладываются параметрические ограничения типа:

$$\Omega_{\min} \leq \Omega_i \leq \Omega_{\max} \quad (12)$$

Кроме того, на показатели эффективности работы оборудования накладываются функции ограничения:

$$q_i = [q_i] \quad (13)$$

где  $[q_i]$  — допускаемые значения показателей эффективности работы оборудования.

Для учета ограничений и неоднозначностей взаимосвязей введены операции масштабирования и штрафных функций:

$$Q(X) = f(X, \Phi) \cdot Q \quad (14)$$

где  $Q(X)$  — масштабированная целевая функция;

$Q$  — комплексная оценка по формуле (6);

$f(X, \Phi)$  — штрафная функция;

$\Phi$  — множество допустимых значений управляющих параметров

$$f(X, \Phi) = \begin{cases} 0, & \text{если } X \notin \Phi \\ 1, & \text{если } X \in \Phi \end{cases} \quad (15)$$

Требуется найти значения, удовлетворяющие условиям (12) и (13), при которых приводится к максимуму выражение целевой функции (7).

На рис. 1 представлен пример влияния одного из заданных единичных показателей  $\Gamma$  (готовность) на весовые коэффициенты и целевую функцию (рис. 2).

Кривая 1 на рис. 1 — это расчетное значение коэффициента  $\alpha_\Gamma$ , а кривая 2 — значение других коэффициентов весомости, определенных для простоты анализа из условия:

$$\alpha_\Pi = \alpha_K = \alpha_C = \frac{1 - \alpha_\Gamma}{3}.$$

Из рисунка видно, что чем больше заданное значение готовности при постоянном значении других по-

казателей эффективности, тем больше коэффициент весомости  $\alpha_\Gamma$  (кривая 1) и тем меньше будет коэффициент весомости по другим показателям (кривая 2).

Если уменьшить заданное значение  $\Pi$  (производительности) и оставить без изменений значения  $K$  (количества качественных изделий) и  $C$  (себестоимости, формируемой работой оборудования), приняв  $\alpha_K = \alpha_C$ . То при измерении заданных значений  $\Gamma$  получим кривые 3 ( $\alpha_\Gamma$ ), 4 ( $\alpha_K = \alpha_C$ ), 5 ( $\alpha_\Pi$ ) (рис. 1). Таким образом чем выше значение производительности, тем больше коэффициент весомости рассматриваемого параметра и тем меньше коэффициенты весомости других параметров.

Варьируя заданные значения показателей эффективности работы оборудования, можно получить развернутую картину их влияния на коэффициенты весомости.

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод о том, что чем ближе стремятся заданные значения любого показателя к базовому значению, тем больше будет коэффициент весомости такого показателя и тем меньше будут коэффициенты весомости остальных показателей. И наоборот, чем ближе стремится заданное значение к предельному значению, тем меньше будет значение коэффициента весомости такого показателя и тем больше будут коэффициенты весомости остальных показателей.

Влияние заданных значений показателей эффективности на целевую функцию иллюстрируются на рис. 2.

Целевая функция учитывает все основные показатели эффективности работы оборудования и приоритет каждого единичного показателя введением параметров весомости.

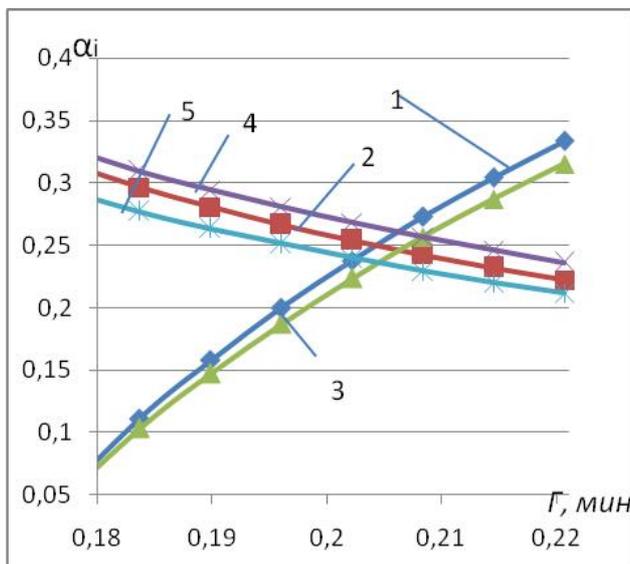


Рис. 1. Влияние заданного значения готовности на показатели весомости

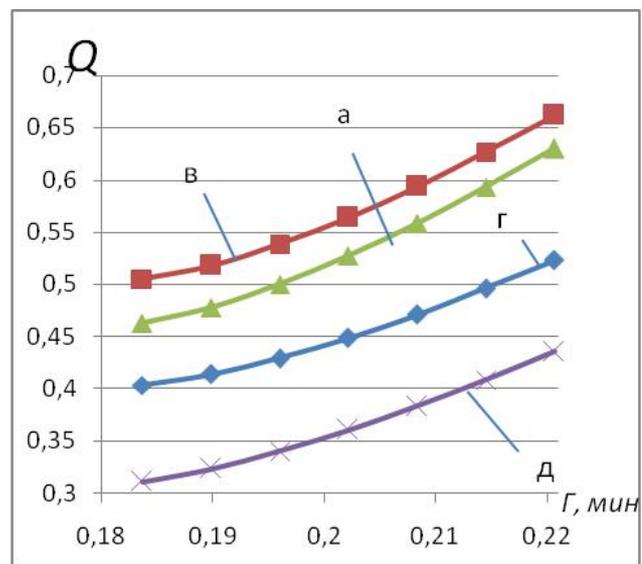


Рис. 2. Влияние заданного значения готовности на целевую функцию

На рис. 2 в качестве примера показано влияние заданного значения показателя готовности на целевую функцию при различных заданных значениях остальных показателей. Кривая *a* построена при средних между базовыми и предельными значениями параметров производительности, количества качественных изделий, себестоимости изделий формируемой работой оборудования.

Кривые *b*, *c* построены при увеличении заданного значения производительности или количества качественных изделий соответственно, и неизменности остальных параметров. Эти кривые лежат выше кривой *a*, а это означает: чем выше значения производительности (количества качественных изделий), тем больше целевая функция.

Кривая *г* построена при увеличении заданного значения себестоимости, сформированная под влиянием работы оборудования, и неизменности остальных параметров. Эта кривая лежит ниже кривой *a*, а это значит: чем выше значения себестоимости, формируемой работой оборудования, тем меньше целевая функция.

Проведя анализ рис. 2, можно сделать вывод, что чем ближе стремятся заданные значения любого показателя к базовому значению, тем больше будет значение целевой функции, следовательно и значение эффективности использования оборудования. И наоборот, чем ближе стремится заданное значение к предельному значению, тем меньше будет значение целевой функции.

Существуют следующие способы оптимизации с применением комплексного критерия представлены в работах И. Акулича, В. Карманова, А. Плотникова [5; 6; 7]:

1. Слепой поиск.
2. Однокритериальная оптимизация.
3. Целевое программирование

Способ слепого поиска заключается в определении значения целевой функции при поочередно изменяемых управляющих факторов. При этом для каждого изменения значения показателей получается одно значение целевой функции. Из этих значений выбирается *max* и *min* значения. Управляющие факторы, в которых целевая функция принимает *max* значения, и является решением задачи оптимизации. Особенностью этого метода является дискретное значение целевой функции. Чем меньше шаг расчета, тем точнее будет решение и тем больше времени для нахождения решения. Большое время и большие массивы распечатанных результатов являются основным недостатком метода слепого поиска.

Однокритериальная оптимизация обычно применяется в тех случаях, когда в целевой функции удается выделить наиболее важный единичный показатель эффективности работы оборудования, а остальные используются в качестве ограничения.

Сущность метода целевого программирования заключается в нахождении такого варианта, при кото-

ром суммарное отклонение единичных показателей будет минимальным, т. е.:

$$\sum_{i=1}^n |p_i - p_{i33a}| \rightarrow \min \quad (16)$$

Так как единичные показатели имеют разную размерность, то выражение (16) нужно привести к безразмерному виду:

$$\sum_{i=1}^n \left| \frac{p_i - p_{i33a}}{p_{i33a}} \right| \rightarrow \min \quad (17)$$

Выражение (17) является частным случаем метода, основанного на применении комплексного критерия, в котором не учитываются весовые коэффициенты. Это снижает эффективность целевого программирования, при котором должен учитываться приоритет единичных показателей в зависимости от целей.

Рассмотрим варианты расчета показателя эффективности использования оборудования на одном из предприятий Донецкой области (табл. 1).

Если анализировать полученные значения при равной весомости показателей, то эффективность использования оборудования будет составлять 79,58%, так как при расчете используются только абсолютные и базовые значения. Этот вариант расчета не учитывает задачи, которые предприятие ставило перед собой при планировании на определенный период. Такими задачами, применительно к использованию оборудования могут быть: достижение максимальной производительности; достижение максимального уровня готовности; снижение себестоимости; повышение качества продукции. Одновременно достичь желаемых значений всех показателей сложно, а порой и невозможно. Для этого необходимо расстановка коэффициентов весомости показателей (в зависимости от задач), что позволит адекватно оценить уровень использования оборудования.

При применении предложенного математического метода по отношению к данным табл. 1 эффективность использования оборудования, при тех же равных коэффициентах весомости, составляет 50%. Полученное значение можно объяснить тем, что абсолютные значения показателей лежат в середине предельных и базовых значениях единичного показателя. Это свидетельствует о том, что предприятие избежало нежелательных для себя значений, но в тоже время и о том, что оно не достигло желаемых.

На основе вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- 1) Для повышения степени эффективности использования имеющегося оборудования может быть применен предложенный математический метод оптимизации.
- 2) В целях комплексной оценки работы оборудования разработанная целевая функция позволит учесть такие показатели использования как, готов-

## Исходные данные

Наименование	Производительность, шт./год	Готовность, мин.	Себестоимость, грн.	Количество качественных деталей, шт.
Предельное значение единичного показателя	1000	0,17	7,21	970
Базовое значение единичного показателя	1224	0,22	9,03	1212
Абсолютное значение показателя	1112	0,195	8,12	1091

ность, производительность, качество выпускаемых изделий, себестоимость.

3) Дана оценка влияния коэффициентов весомотности заданных параметров эффективности использования оборудования на целевую функцию.

## Литература

1. **Кеннеди Р.** Взаимодействие 5S и TPM в системе TPM / Р. Кеннеди, Л. Мацца // Методы менеджмента качества. — 2004. — №8. — С. 9 — 15.
2. **Момот А. И.** Экономический механизм управления качеством / А. И. Момот // Министерство образования и науки Украины. ДонНТУ. — Донецк : Норд-Пресс, 2005. — 383 с.
3. **Федина С. Ю.** Внедрение системы TPM: продолжение следует / С. Ю. Федина, А. Ю. Бурашников // Методы менеджмента качества. — 2006. — №2. — С. 12 — 16.
4. **Пшеничников В. В.** Качество через TPM, или О предельной эффективности промышленного оборудования / В. В. Пшеничников // Методы менеджмента качества. — 2001. — № 10. — С. 10 — 15.
5. **Плотников А. Д.** Математическое программирование / А. Д. Плотников. — 2006. — с. 171.
6. **Карманов В. Г.** Математическое программирование / В. Г. Карманов. — М. : Изд-во физ.-мат. литературы, 2004. — 264 с.
7. **Акулич И. Л.** Математическое программирование в примерах и задачах / И. Л. Акулич. — М. : Высшая школа, 1986. — 319 с.
8. **Погожев И. В.** Методы оптимизации системы показателей при управлении качеством продукции / И. В. Погожев. — М. : Знание, 1972. — 59 с.

### Момот О. И., Самойлов П. И. Эффективність використання устаткування — новий підхід

У статті проведено дослідження особливостей оцінки ефективності використання устаткування. Для підвищення міри ефективності використання наявного устаткування запропонований математичний метод оптимізації. З метою комплексної оцінки роботи устаткування розроблена цільова функція, в якій враховуються такі показники використання, як: готовність, продуктивність, якість виробів, що випускаються,

собівартість. Оцінено вплив коефіцієнтів ваговитості заданих параметрів ефективності використання устаткування на цільову функцію.

*Ключові слова:* ефективність, оптимізація, використання устаткування, показники використання, цільова функція.

### Момот А. И., Самойлов П. И. Эффективность использования оборудования — новый подход

В статье проведено исследование особенностей оценки эффективности использования оборудования. Для повышения степени эффективности использования имеющегося оборудования предложен математический метод оптимизации. В целях комплексной оценки работы оборудования разработана целевая функция, в которой учитываются такие показатели использования как, готовность, производительность, качество выпускаемых изделий, себестоимость. Оценено влияние коэффициентов весомотности заданных параметров эффективности использования оборудования на целевую функцию.

*Ключевые слова:* эффективность, оптимизация, использование оборудования, показатели использования, целевая функция.

### Momot A. I., Samoylov P. I. Efficiency of using equipment — new approach

The research of using equipment efficiency estimation was conducted. Mathematical method of optimization was offered for increasing the efficiency degree of using equipment. Criterion function, which is taken into account such indexes as readiness, productivity, quality of let out products, cost price, was developed for the complex estimation of equipment work. Influence of weightiness factors of the using equipment efficiency set parameters on criterion function was estimated.

*Key words:* efficiency, optimization, equipment use, use indicators, criterion function.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2011  
Прийнято до друку 27.05.2011