

УДК 658.562.5

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Каляшина А.В.*ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ», Казань, e-mail: kai@kai.ru*

В данной статье проведена оценка способов повышения эффективности оборудования. Основным показателем оценки эффективности – ООЕ, для его определения разработан стандарт. ООЕ определяет эффективность с учетом внешних условий. Тем не менее, обзор научных статей указывает на недостатки в применении ООЕ, прежде всего в отношении временной базы и определения условий работы оборудования. Предлагается использовать показатель оценки эффективности Е, который учитывает эффективность оборудования, как автономной системы. Основное различие между ООЕ и Е касается выбора временной базы. Оценки ООЕ измеряют эффективность оборудования, включая воздействия производственной системы – в начале и в конце производственного цикла. Это означает, что ООЕ отслеживает не состояние оборудования как такового, а эффекты от воздействия другого оборудования. Е отслеживает эффективность автономного оборудования, чтобы контролировать именно его состояние. В результате, базовое время при расчете эффективности является и эффективным временем. Как следствие, показатель Е не зависит от процесса эксплуатации, что означает, что это реальная характеристика оборудования

Ключевые слова: эффективность работы оборудования, производительность, скорость, качество, потери времени, производственная система

GENERAL APPROACHES TO EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Kalyashina A.V.*Kazan National Research Technic University named after A.N. Tupolev, Kazan, e-mail: kai@kai.ru*

This article evaluates the ways to improve the efficiency of the equipment. The main indicator of the effectiveness is OEE. To determine it a standard is developed. An OEE determines the efficiency taking into account external conditions. However, a review of scientific articles points out the weaknesses in the application of OEE, especially in relation to the time base and determination of the equipment working conditions. It is proposed to use the indicator of assessment of efficiency E, which takes into account the efficiency of equipment as a standalone system. The main difference between an OEE and E concerns the choice of time base. OEE evaluation measures the equipment efficiency including the effects of the production system – at the beginning and at the end of the production cycle. This means that an OEE monitors the status of the equipment itself, and the effects from the impact of other equipment. E monitors the effectiveness of standalone equipment in order to control namely its condition. As a result, when calculating the efficiency, the base time is the effective time as well. As a consequence, the index of E does not depend on exploitation process, which means that this is a real feature of the equipment.

Keywords: effectiveness of equipment operation, performance, speed, quality, loss of time, production system

На сегодняшний день не вызывает сомнения важность контроля времени выполнения производственных процессов, так как от этого зависит повышение эффективности производства в целом. В литературе существует множество различных определений показателей эффективности и производительности работы оборудования, но для реальных условий производства важна четкость этих понятий и однозначность методик повышения эффективности, так как только в этом случае можно добиться реального результата [1]. То есть дальнейшее развитие показателей эффективности требует создания единой терминологической основы. Об этом говорят многие российские и зарубежные исследователи.

Традиционные способы оценки эффективности оперируют в основном двумя показателями, которые позволяют оценить

эффективность работы оборудования, но не позволяют выявить проблемы и возможности скрытых улучшений, необходимых для повышения производительности: пропускная способность и – скорость обработки.

В 1980 году был предложен количественный подход для оценки любого производственного оборудования: всеобщая эффективность оборудования (ОЕЕ). [2] ОЕЕ позволяет количественно оценить все временные потери, которые влияют на работу оборудования. ОЕЕ является отправной точкой для других методик анализа эффективности производственных процессов.

Обзор состояния проблемы оценки эффективности оборудования

На основе концепции общей эффективности оборудования, разработан стандарт, [8] который предлагает использовать

базовый показатель – общий коэффициент полезного действия оборудования – overall equipment efficiency (*OEE*) [7, 8]. Этот показатель выражается в единицах времени. Показатель *OEE* является простым и интуитивно понятным и широко распространен на многих производственных предприятиях. Показатель *OEE* используется в качестве количественной меры оценки эффективности.

Опубликованы тематические исследования [4], в которых иллюстрируется использование *OEE* в промышленности. В этих работах [3, 4] отмечено, что эффективность измеряется со ссылкой на фактическую и оптимальную скорость работы оборудования. Оптимальную скорость достаточно сложно определять, так как она отличается при каждом рабочем ходе инструмента. Авторы отмечают, что важно использовать одну и ту же скорость для конкретного рабочего хода в каждом отдельном измерении. В противном случае невозможно сравнивать измерения. Также авторы исследования обращают внимание на такой показатель, как «незначительные перерывы». Полученные фактические данные показывают, что эти простои составляют от 20 до 49% общего времени простоев оборудования. Отмечается, что довольно трудно оценить продолжительность времени простоев и что не существует никаких четких границ между «короткими остановками» и «незначительными перерывами».

В статье [5] утверждается, что существуют положительные потери времени, что означает, что процесс проводят при более коротком времени цикла (или с более высокой скоростью), чем номинальные показатели. Это часто связано со слишком заниженной изначально номинальной скоростью. Таким образом, некоторые незначительные перерывы скрыты в более коротком времени цикла.

В других работах [4, 6] предлагается оценивать эффективность как отношение теоретического времени выполнения заявленных работ и отчетного производственного времени. Также отмечается, что скорость работы оборудования может отличаться в одной и той же рабочей операции, например, из-за различной квалификации оператора. При этом подготовительное время или время коротких остановов оборудования не позиционируется как время простоя, а рассматривается как производственное время. Далее говорится о том, что даже при отсутствии отличий в скорости работы оборудования, оценка всех затрат времени на простои зависит от организации производства в целом.

В некоторых источниках указывается на использование показателя *OEE* не только в качестве оперативной меры оценки эффективности, но и как индикатора процесса деятельности по улучшению [7]. При этом отмечается, что *OEE* обеспечивает перспективы для улучшения процесса производства, но применение этого показателя должно быть сбалансировано другими, более традиционными показателями. Авторы также утверждают, что применение *OEE* более оправдано в производственных процессах с большими объемами, где эффективность использования оборудования является крайне важной, а остановки являются дорогостоящими.

R.C. Leachman отмечает [6], что знание только показателя *OEE* недостаточно для выявления направления для улучшения производственного процесса. Необходимо оценивать многочисленные компоненты *OEE* по отдельности, только в этом случае возможно определить направление возможных улучшений. При более детальном рассмотрении показателя *OEE* выясняется, что некоторые компоненты являются взаимозависимыми, например, операционная эффективность и эффективность скорости: при повышении эффективности скорости, снижается эффективность операционная и наоборот.

Анализ литературы показывает, что основная доля исследований направлена на определение компонентов *OEE*. Можно сделать вывод, что необходимо дальнейшее уточнение для применения *OEE* и его компонентов.

Проблемы применения показателя *OEE*

В классическом определении *OEE* [2] существуют явные проблемы в определении временной базы, для решения которых предлагается новая методика оценки показателя эффективности *E*. Основное отличие между *OEE* и *E* заключается в выборе базового времени. При расчете эффективности работы оборудования по *OEE* учитываются условия, не связанные напрямую с самим оборудованием, например, отсутствие условий, позволяющих начать технологический процесс (входные условия) – это обстоятельство связано не с самим оборудованием, а с производственной средой. Методика *E* оценивает эффективность оборудования, которая связана только с потерями, зависимыми от работы оборудования – состояние производства и запланированные и незапланированные потери. Таким образом, показатель *E* выражает внутренние потери, в то время как, показатель *OEE* выражает также внешние потери, связанные с производственной средой.

Итак, проблемы применения *OEE*:

– определение теоретического времени цикла. Что означает это время? То, что указано в документации на оборудование или планируемое время? Большинство исследователей сходятся во мнении, что это запланированное время цикла;

– фактическая и оптимальная скорость работы оборудования;

– отсутствие четких границ между «короткими остановками» и «незначительными перерывами»: некоторые незначительные перерывы скрыты в более коротком времени цикла;

– оценка всех затрат времени на простой зависит от организации производства в целом.

В Стандарте [8] определены 6 этапов состояния технологического оборудования:

1. Нерегламентированное состояние: использование оборудования не запланировано в производственном процессе, например, выходные и праздничные дни, запуск и завершение производственного цикла.

2. Внеплановые простои оборудования. Оборудование не может выполнять свои функции из-за незапланированных простоев, например ремонт, ожидание персонала или запчастей, изменение типа расходных материалов или химических веществ.

3. Запланированные простои оборудования. Оборудование не может выполнять свои функции из-за запланированных простоев. Это состояние включает в себя следующие виды деятельности: профилактика, настройка, тестирование и т.д.

4. Состояние инжиниринга. Оборудование может выполнять свои функции, но работает для проведения инженерных экспериментов, например, разработка и отладка технологических процессов, инжиниринг оборудования и разработка ПО.

5. Состояние ожидания. Оборудование может выполнять свои функции, но не работает, например, операторы находятся на обеде, перерыве, нет доступных материалов, нет инструментов поддержки.

6. Состояние выпуска продукции. Оборудование выполняет свои функции – регулярное производство (включая загрузку и разгрузку изделий), переделки...

Особенности применения *OEE* в производственных условиях

Необходимо отметить, что на *OEE* оказывают влияние не только факторы, связанные с оборудованием. Но также квалификация оператора, наличие и качество исходных материалов, планирование производства и т.д. Таким образом, необходимо делать отличия между отдельно взятым (изолированным)

оборудованием и оборудованием, интегрированным в производственную среду.

В общем случае *OEE* рассчитывается с учетом факторов окружающей среды. Но для решения частной задачи можно рассматривать автономное оборудование.

Для определения эффективности самого оборудования без учета внешних факторов предлагается рассматривать оборудование в качестве системы, состоящей из собственно оборудования и системного окружения. Система выполняет производственную функцию. Для того чтобы оборудование выполняло функцию изготовления годных деталей, должны быть выполнены дополнительные условия, не связанные непосредственно с оборудованием. Например, квалифицированные операторы, качественные заготовки и т.д.

Производственные потери можно разделить на:

– связанные с оборудованием (например, отсутствие оператора);

– независимые от оборудования (например, отсутствие входных материалов).

Определим состояния оборудования следующим образом:

1. Нерабочее состояние – оборудование не выполняет свои функции. Это состояние включает в себя нерабочие смены, выходные и праздничные дни, периоды завершения работы и ввода в эксплуатацию и инженерная деятельность: инжиниринг оборудования, разработка программного обеспечения и т.д.

2. Отсутствие необходимых входных условий, оборудование может выполнять свои функции, но не работает из-за отсутствия входных условий.

3. Отсутствие необходимых выходных условий. Оборудование находится в состоянии выполнять свои функции, но не в состоянии выпускать детали из-за отсутствия выходных условий.

4. Внеплановые остановки. Оборудование не в состоянии выполнять свои функции, из-за незапланированных простоев. Это состояние включает в себя ремонт и проверку работоспособности, нет свободных операторов.

5. Плановые остановки. Оборудование не может выполнять свои функции из-за запланированных простоев. Возможные причины: профилактика оборудования, изменение расходных материалов и т.д.

6. Состояние – выпуск продукции. Оборудование выполняет свои функции. Это состояние включает регулярное производство продукции, переделки.

Математическая модель определения показателя эффективности

Соотношение числа годных изделий N_Q и эффективного времени работы T_e – это

фактическая пропускная способность производства годных изделий:

$$\delta_Q = \frac{N_Q}{T_e}. \quad (1)$$

Для оценки эффективности различают три вида потерь: непроизводственные потери, потери скорости и потери качества.

Непроизводственные потери времени простоя приводят к уменьшению времени, в течение которого оборудование может выполнять свои функции. Причины таких простоев следует искать в самом оборудовании. Время, в течение которого оборудование действительно выполняет свои функции – производственное время T_0 , представляет собой часть эффективного времени T_e . Это доля времени A , которая приходится на тот период, когда оборудование не работает по причине ремонта:

$$\frac{T_0}{T_e} = A. \quad (2)$$

Идеальный переход не имеет потерь времени, таких как неэффективные простои, потери скорости и потери качества. Результаты этого перехода в максимальном числе изделий $N_{\max}$ обработанных за основное время T_0 . Эти результаты отражены в максимальной пропускной способности δ_0 :

$$\frac{N_{\max}}{T_0} = \delta_0. \quad (3)$$

Нормирование скорости оборудования проводится в соответствии с максимальной пропускной способностью. Если оборудование производит изделия в соответствии с нормированной, но более низкой скоростью, состояние оборудования – рабочее. Для получения более низкой скорости на выходе должно быть N деталей за производственное время T_0 . N есть доля максимально возможного числа деталей. Эта доля называется фактором скорости R :

$$\frac{N}{N_{\max}} = R. \quad (4)$$

Выходные параметры процесса могут дополнительно снижаться за счет потерь качества изделий, не соответствующих техническим требованиям. Доля общего числа произведенных качественных изделий известна как выработка (выход) Y . Выработка включает в себя переделки и брак (лом). Доля выработки есть процент брака в технологическом процессе. Этот процент называется эффективностью качества. Выработка выражается

$$\frac{N_Q}{N} = Y. \quad (5)$$

Отношение между реальной пропускной способностью δ_Q и максимальной δ_0 может быть получено с применением предыдущих выражений:

$$\begin{aligned} \delta_Q &= \frac{N_Q}{T_e} = \frac{N_Q}{N} * \frac{N}{N_{\max}} * \frac{N_{\max}}{T_0} * \frac{T_0}{T_e} = \\ &= Y * R * \delta_0 * A. \end{aligned} \quad (6)$$

Эффективность есть доля максимальной производительности оборудования при выполнении запланированных функций, то есть производство качественных изделий. Полученная эффективность оборудования (E) можно определить

$$E = \frac{\delta_Q}{\delta_0} = Y * R * A.$$

Если измерения недоступны, эффективность оборудования можно оценить с помощью запланированного значения

$$\delta_Q = \frac{N_Q}{T_e}.$$

Выводы: сходство и различие показателей OEE и E

Главное отличие между OEE и E – разный подход к оценке состояния оборудования: встроенное в производственную систему или автономное. Оценка OEE измеряет эффективность оборудования, с учетом воздействия производственной системы – в начале и в конце производственного цикла. Это означает, что OEE отслеживает не состояние оборудования как такового, а эффекты от воздействия другого оборудования. Показатель E отслеживает эффективность автономного оборудования, чтобы контролировать именно его состояние.

Различие OEE и E также может быть выражено в разных подходах к выбору базового времени. В стандарте [7] общий объем времени определяется как базовое время, которое определено как все время (24 часа в сутки, 7 дней в неделю) во время всего периода измерений. В общем случае, базовое время – это период времени, когда оборудование способно выполнять свои функции, без каких-либо ограничений извне. Это означает, что должны учитываться только те простои, которые связаны с самим оборудованием. Оборудование не несет ответственности за внешние обстоятельства. Если например, заготовки не доставляются вовремя из-за проблем планирования, это не связано с оборудованием. Таким образом, при использовании показателя E базовое время не должно включать в себя простои вызванные отказами, не

связанными с оборудованием. Тогда базовое время и будет эффективным.

С другой стороны, E не зависит от эксплуатации, как OEE , но измеряет непосредственно производственное время и эффективное время. Эксплуатация определяется, как доля времени, в течение которого окружающая система позволяет оборудованию выполнять свои функции. Использование эффективного времени в качестве базового означает, что данная мера включает все потери времени из-за простоев, настройки или переделок.

Таким образом, если различные типы оборудования сравниваются с использованием показателя OEE , они могут иметь одинаковые значения, хотя значения их эффективности E будут различаться. С другой стороны, два станка, имеющие одинаковую эффективность E , могут иметь различные значения показателя OEE . Показатель E является более подходящим для сравнения типов оборудования.

Список литературы

1. Волчкевич И.Л. Исследование фактической работоспособности современного высокопроизводительного оборудования с ЧПУ // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник докладов XVII международной научно-технической конференции. – Донецк, 2011. – С. 144–145.
2. Общая эффективность оборудования/ Группа разработчиков Productivity Press / Перевод с англ. В. Болтрукевича, И. Попеско. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. – 120 с.
3. Dal B., Tugwell P., and Greatbanks R. «Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement,» Int. J. Operations Prod. Manage., 2000. – vol. 20, № 12. – P. 1488–1502.
4. Jonsson P. and Lesshammar M., «Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems—The role of OEE,» Int. J. Operations Prod. Manage. 1999. vol. 19, no. 1. pp. 55–78.
5. Ljungberg O. «Measurement of overall equipment effectiveness for TPM activities,» Int. J. Operations Prod. Manage., 1998. vol. 18. no. 5.
6. Leachman R. «Closed-loop measurement of equipment efficiency and equipment capacity,» IEEE Trans. Semiconduct. Manufact., 1997.vol. 10, Feb.
7. Standard for Definition and Measurement of Equipment Productivity, Semiconductor Equipment and Material International (SEMI) E79-0200, 2000.
8. Standard for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability, SEMI E10-0701, 2001.
9. Volchkevich I.L. Issledovanie fakticheskoy rabotosposobnosti sovremennogo vysokoproizvoditelnogo oborudovaniya s ChPU // Mashinostroyeniye i tehnosfera XXI veka: Sbornik dokladov XVII mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferencii. Doneck, 2011. pp. 144–145.
10. Obshchaya jeffektivnost oborudovaniya/ Gruppya razrabotchnikov Productivity Press / Perevod s angl. V. Boltrukevicha, I. Popesko. M.: Institut kompleksnyh strategicheskikh issledovaniy, 2007. 120 p.
11. Dal B., Tugwell P., and Greatbanks R. «Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement,» Int. J. Operations Prod. Manage., 2000. vol. 20, no. 12. pp. 1488–1502.
12. Jonsson P. and Lesshammar M., «Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems—The role of OEE,» Int. J. Operations Prod. Manage. 1999. vol. 19, no. 1. pp. 55–78.
13. Ljungberg O. «Measurement of overall equipment effectiveness for TPM activities,» Int. J. Operations Prod. Manage., 1998. vol. 18. no. 5.
14. Leachman R. «Closed-loop measurement of equipment efficiency and equipment capacity,» IEEE Trans. Semiconduct. Manufact., 1997.vol. 10, Feb.
15. Standard for Definition and Measurement of Equipment Productivity, Semiconductor Equipment and Material International (SEMI) E79-0200, 2000.
16. Standard for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability, SEMI E10-0701, 2001.

References