

Вестник

Т. 18 № 4

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

**HERALD OF TECHNOLOGICAL
UNIVERSITY**



2015

УДК 676.026

Д.Н. Жирнов, Д.А. Дулькин, Е.В. Дьякова,
А.В. Канарский**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ БУМАЖНОЙ ФАБРИКИ***Ключевые слова:* эффективность оборудования, контроль процессов.

В статье представлен обзор современных подходов и методов оценки эффективности работы оборудования. На примере размольно-подготовительного отдела одной из фабрик, вырабатывающих картон из макулатуры, предложен принцип оценки эффективности работы каждой отдельной единицы оборудования и всей технологической линии в целом.

Keywords: effectiveness of equipment, process control.

This article is about reviews of modern methods of evaluation of equipment effectiveness and the analysis of the application of its methods for evaluation of equipment effectiveness of each type of equipment. The major features of evaluation of the stock preparation equipment effectiveness of typical pulp and paper mill were shown

Одним из направлений поддержания и повышения качества продукции является контроль и непрерывный рост эффективности работы каждой единицы используемого технологического оборудования и производственной линии в целом. Это в полной мере относится к производству бумаги и картона из макулатуры и остается актуальной задачей в условиях все большего вовлечения вторичных волоконистых ресурсов в сырьевой баланс отечественной целлюлозно-бумажной промышленности.

Целью настоящей работы является определение подхода и метода оценки эффективности использования существующего оборудования применительно к конкретным условиям технологического процесса типичной бумажной фабрики.

Для реализации указанной цели необходимо рассмотреть решение следующих основных задач:

1. Проанализировать составные исследуемого вопроса с позиций сопоставления существующих подходов и методов оценки функционирования и управления технологическими системами, включая эффективность использования оборудования.

2. Предложить принцип оценки эффективности использования отдельных единиц оборудования с учетом особенностей технологических линий фабрик по производству бумаги и картона.

3. Провести анализ предложенного принципа оценки эффективности использования оборудования на примере работы одного из технологических потоков бумажной фабрики, выпускающей картон из макулатуры.

Анализ научно-технических публикаций по данному вопросу [1, 2, 3, 4, 5] показал, что наиболее распространенными являются методики определения эффективности работы оборудования, которые последовательно рассматриваются далее.

OEE (overallequipmenteffectiveness) или общая эффективность оборудования [1] – система оценки способности технологического оборудования последовательно и непрерывно, с

установленной производительностью выпускать продукцию, отвечающую стандарту качества.

Показатель OEE включает три критерия эффективности – доступность (availability, A), производительность (performance, P) и качество (quality, Q).

Доступность (A) – критерий, учитывающий потери на любые внеплановые остановки оборудования (ремонт, дефицит сырья и пр.).

$$A = \frac{\text{Время полезной работы}}{\text{Общий фонд календарного времени}} \times 100 \%$$

Производительность (P) критерий, учитывающий снижение рабочей скорости оборудования по сравнению с максимально возможной по различным причинам (моральный износ оборудования, холостой ход и пр.).

$$P = \frac{\text{Валовый выпуск (с НДС)}}{\text{Время полезной работы} \times \text{Норма выпуска в час}} \times 100 \%$$

Качество (Q) критерий, отражающий все причины, вызвавшие снижение качества продукции и соответствующие переводы ее в более низкие марки.

Общий критерий эффективности OEE рассчитывается по следующей формуле:

$$OEE = A \times P \times Q.$$

Применительно к работе оборудования технологической линии по переработке макулатуры и производству тарного картона на предприятиях ООО «УК «Объединенные бумажные фабрики» определены и используются базовые значения критериев эффективности (таблица).

Таблица 1 – Целевые значения эффективности оборудования

Оценка	OEE, %	Значение критерия, %		
		A	P	Q
Плохо	< 68	< 82	< 85	< 97
Хорошо	68 - 82	82 - 89	85 - 93	97 - 99
Отлично	> 82	> 89	> 93	> 99

Таким образом, использование системы ОЕЕ позволяет проводить лишь комплексную оценку эффективности работы оборудования в составе технологической линии (например, бумагоделательной машины) на основе укрупненных критериев. Вместе с тем, зачастую необходимо оценивать эффективность работы одной или каждой единицы оборудования в технологической линии. Например, оценка эффективности работы фракционатора с позиции качества разделения макулатурной массы на отдельные фракции. Принцип оценки, заложенный в систему ОЕЕ, не позволяет проводить подобный анализ.

Таким образом, инструментарий ОЕЕ следует использовать для определения ключевых показателей эффективности работы в сочетании с другими подходами, и, в частности, с технологиями бережливого производства, например, развитыми в системе управления производством «Кайдзен» [2, 3, 4].

Система «Кайдзен» («непрерывное совершенствование» или производство без потерь) основана на японской модели управления производством и качеством продукции. Она включает в себя следующие подсистемы:

5S – применяется для организации рабочих мест и условий труда с целью повышения культуры производства и производительности. Составные элементы подсистемы – сортировка (упорядочивание), соблюдение порядка, содержание в чистоте, стандартизация, самодисциплина.

TQC (total quality control – всеобщий контроль качества) – применяется для организации проектирования, производства и продажи качественной продукции. С помощью этой системы можно повысить стабильность и уровень технических характеристик продукции и минимизировать количество окончательного и исправимого брака.

TPM (total productive maintenance – всеобщий уход за оборудованием) – применяется для организации и проведения непрерывного профилактического обслуживания и планового ремонта оборудования. Первичная цель системы – обеспечение минимальных простоев и снижение затрат на ремонт и обслуживание оборудования.

JIT (just-in-time – точно в срок) – используется для регулируемого снижения запасов сырья, незавершенного производства и готовой продукции.

Многопроцессная работа используется для повышения производительности труда и снижения затрат на оплату труда за счет сокращения простоев, лишних движений, лишней транспортировки и обработки.

Таким образом, система «Кайдзен», рассматривая производство в более широком смысле, также не содержит каких-либо локальных методов оценки эффективности работы отдельной единицы оборудования или отдельного узла технологической линии.

Отдельно следует остановиться на принципах использования ключевых показателей эффективности *KPI*.

Как известно, использование ключевых показателей эффективности *KPI* (key performance indicators – «ключевые показатели деятельности») является одним из инструментов управленческой деятельности, которое позволяет производить контроль деловой активности сотрудников, подразделений и компании в целом, и в большей степени относится к функционированию эффективной системы мотивации и стимулирования персонала [5].

KPI можно разделить на результирующие (отражают результаты деятельности по истечении планового периода) и опережающие (дают возможность управлять ситуацией в пределах отчетного периода с целью достижения заданных результатов по его истечении).

Попытка использования показателей, аналогичных *KPI*, но применительно к оценке эффективности работы оборудования предполагает поиск ключевых показателей эффективности (*KПЭ*) каждой отдельной единицы оборудования или отдельного технологического узла. В целом, *KПЭ* отражает соотношение достигнутого значения оцениваемого параметра эффективности работы к максимально достижимому или «идеальному» уровню того же параметра. Ключевые показатели эффективности работы оборудования должны иметь максимальное влияние на его целевое предназначение, причем для каждой единицы оборудования или узла технологической линии они будут индивидуальными.

Правильная методика оценки эффективности работы оборудования должна выявлять узкие места производства на основе измеряемых показателей, а также давать возможность для принятия оперативных мер по оптимизации каждой технологической операции. Результативный метод оценки эффективности работы оборудования должен учитывать его основные функциональные особенности с выявлением наиболее значимых *KПЭ*, наглядность и простоту их расчета, а также возможность on-line измерений наиболее значимых параметров работы оборудования и производства.

В качестве примера рассмотрим размольно-подготовительный отдел типичной фабрики по производству тарного картона из макулатурного сырья. Все оборудование размольно-подготовительного отдела фабрики по целевому назначению можно разделить на следующие основные операции.

1. Роспуск исходного сырья. Участок представлен в основном гидроразбивателями различного типа. Целевое предназначение гидроразбивателя – произвести разволокнение листовой макулатуры на отдельные волокна и пучки волокон. Ключевой показатель эффективности узла роспуска (*KПЭ_р*) может быть рассчитан как отношение фактической степени разволокнения к

максимальному практически возможному результату.

2. Очистка макулатурной массы. Это целевое направление представлено различными сепараторами для отделения легких включений (пенопласта, скотча, и т.д.), а также центробежными очистителями для удаления более плотных, минеральных и металлических включений (песок, скрепки, и т.п.). В данном случае ключевым показателем эффективности ($KПЭ_0$) служит отношение достигаемой степени очистки массы к максимально возможной степени очистки.

3. Сортирование макулатурной массы. Данная технологическая операция производится с целью выделения из основного потока нераспустившихся пучков волокон. Для узла сортирования массы ключевой показатель эффективности ($KПЭ_С$) может быть вычислен подобно $KПЭ_0$.

4. Фракционирование макулатурной массы. Назначение – разделение потока массы на длинно- и коротковолокнистую фракции, что позволяет снизить удельный расход электроэнергии на размол, улучшить параметры обезвоживания бумажной массы на БДМ, а также повысить показатели механической прочности готовой продукции. Ключевой показатель эффективности данного технологического узла ($KПЭ_Ф$) должен учитывать уровень фракционирования, достигаемый на данном оборудовании, по отношению к максимально возможному разделению потока на фракции.

5. Размол длиноволокнистой фракции. Процесс размола макулатурной массы является основным технологическим приемом, способствующим восстановлению и регулированию ее бумагообразующих свойств. Длинноволокнистая фракция макулатурной массы, характеризуется заметно большей средней длиной волокна, низкой степенью помола и потенциально высокими прочностными свойствами. Для наиболее полного раскрытия бумагообразующего потенциала длинных волокон без существенного их укорочения требуется обеспечение оптимальных постоянных факторов размола (вид мельниц, схема их подключения, тип и рисунок гарнитуры и др.). Ключевой показатель эффективности процесса размола ДВФ ($KПЭ_{рДВФ}$) должен базироваться на оценке отношения уровня физико-механических характеристик образцов из массы, размолотой в лабораторной мельнице и в производственных условиях при существующей настройке оборудования. При этом сопоставление свойств образцов необходимо проводить при одинаковой степени помола массы.

Примером определения ключевого показателя эффективности процесса размола $KПЭ_{рДВФ}$ служат результаты, полученные на ООО «Сухонский ЦБК» [6, 7]. В качестве базы для сравнения использовали образцы ДВФ макулатуры, размолотые в лабораторном центробежном размалывающем аппарате ЦРА, обеспечивающим преимущественное фибриллирование волокон.

Типичный уровень $KПЭ_{рДВФ}$, рассчитанный как отношение значений отдельных физико-механических показателей образцов, полученных при производственном и лабораторном размоле ДВФ, составил 0,81. Следовательно, существует определенный резерв для повышения эффективности использования размалывающего оборудования, например путем подбора специализированной гарнитуры фибриллирующего типа.

В совокупности, с учетом всех вышеперечисленных $KПЭ$ можно вычислить и оценить общий показатель эффективности работы оборудования размольно-подготовительного отдела ($KПЭ_{рПО}$):

$$KПЭ_{рПО} = KПЭ_р \times KПЭ_0 \times KПЭ_С \times KПЭ_Ф \times KПЭ_{рДВФ}$$

Следовательно, при анализе эффективности работы оборудования размольно-подготовительного отдела выделяются наиболее значимые процессы подготовки макулатурной массы [7, 8, 9]. При этом тонкая настройка отдельных единиц оборудования на данной стадии процесса может оказывать влияние на $KПЭ$ оборудования на последующих стадиях как с сохранением общего показателя $KПЭ_{рПО}$, так и с его существенным изменением в большую или меньшую сторону. Поэтому представленная выше общая формула интересна не только с точки зрения ее итогового результата, но и анализа значений отдельных составляющих ее $KПЭ$.

Выводы

1. Проанализированные подходы и методики оценки эффективности выпуска продукции не позволяют корректно определять эффективность работы отдельных единиц оборудования в технологической линии производства бумаги и картона из макулатуры.

2. В работе предложен новый подход к оценке эффективности отдельных единиц технологического оборудования, который основан на выделении и анализе значений ключевых показателей эффективности ($KПЭ$) на каждой стадии производственного процесса.

3. На примере размольно-подготовительного отдела бумажной фабрики показано, что с технологической точки зрения предложенный подход представляет интерес как с позиции оценки $KПЭ$ отдельных единиц оборудования, так и значение общего $KПЭ$ всего производственного процесса.

4. Ключевые показатели эффективности отдельных единиц технологического оборудования следует использовать для текущей настройки и оптимизации параметров их работы с учетом других влияющих факторов – качества поступающего сырья, производственной программы, требуемых свойств готовой продукции.

Литература

1. Интернет-ресурс: <http://www.oee.com/>
2. Гринин А.Ю. *Управление заводом в стиле кайдзен: Как снизить затраты и повысить прибыль*. Альпина Паблишер, М. 189 с. (2012).
3. Вумек Джеймс П., Джонс Даниел Т. *Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании*. Альпина Паблишер, М. 476 с. (2011).
4. Momot A.I., Samoilov P.I. Ways to reveal the sources of decrease in equipment use efficiency. *Economic Herald of the Donbas*. № 4. 26. P. 198 - 202. (2011).
5. Клочков А.К. *KPI и мотивация персонала. Полный сборник практических инструментов*. Эксмо. М. 160 с. (2010).
6. Синчук А.В., Спиридонов В.А., Жирнов Д.Н., Овсянникова Е.А. Целлюлоза. Бумага. Картон. № 10. М. С. 56-60. (2012).
7. Дулькин Д.А., Новожилов Е.В., Овсянникова Е.А., Спиридонов В.А., Канарский А.В. *Вест. Казан. технол. унив. Т. 17. № 7. с. 183-188. (2014).*
8. Халдыго И.А., Казаков Я.В., Новожилов Е.В., Канарский А.В. *Вест. Казан. технол. унив. Т. 17. № 13. с. 277-281. (2014).*
9. Грунин Ю.Б., Грунин Л.Ю., Таланцев В.И., Сафин Р.Г., Просвириков Д.Б. *Вест. Казан. технол. унив. Т. 17. № 1. с. 44-46. (2014).*

© **Д. Н. Жирнов** – асп. каф. технологии ЦБП, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, инженер-технолог-химик отдела технологического развития ООО «Сухонский ЦБК», d.n.zhirnov@gmail.com; **Д. А. Дулькин** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии ЦБП, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, генеральный директор ООО «УК «ОБФ»»; **Е. В. Дьякова** – канд. техн. наук, доц. той же кафедры, e.dyakova@narfu.ru; **А. В. Канарский** – д.т.н., проф., каф. пищевой биотехнологии КНИТУ, alb46@mail.ru

© **D. N. Zhirnov** – PhD student, Department of the Technology of Pulp and Paper Industry, North Arctic Federal University, technologist engineer of LLC "SuhonskyPPM", d.n.zhirnov@gmail.com; **D. A. Dulkin** – professor, Dr. Tech. Sci., Department of the Technology of Pulp and Paper Industry, North Arctic Federal University, general director of LLC "Consolidated Paper Mills"; **E.V. Dyakova** – Ph.D. (Tech.), As. Professor, Department of the Technology of Pulp and Paper Industry, North Arctic Federal University, e.dyakova@narfu.ru; **A. V. Kanarskiy** – Dr. Tech. Sci., professor, Department of Food Biotechnology, Kazan National Research Technological University, alb46@mail.ru.