



УДК 65.01; 658.6

**И.В. Гадолина<sup>1</sup>, А.А. Монахова<sup>2</sup>, Л. Папич<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук (ИМАШ РАН)  
г. Москва, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный  
технический университет  
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский  
университет)» (МГТУ им. Баумана)  
г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Технический факультет, University of Kragujevac  
г. Чачак, Сербия

E-mail: gadolina@mail.ru

Дата поступления 10.11.2017

## ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОЙ ПЕРЕНАЛАДКИ SMED ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

### Аннотация

Для оптимизации металлургического производства предлагается применять систему быстрой переналадки, SMED. Внедрение данного подхода позволит повысить (в частности) коэффициент технического использования оборудования за счет сокращения времени непроизводственных простоев. В данном случае коэффициент технического использования используется как оптимизационный параметр.

**Ключевые слова:** быстрая переналадка, техническое обслуживание и ремонт, коэффициент технического использования, размер партии.

### Введение

Повышение надежности работы механического оборудования металлургических заводов может осуществляться по нескольким направлениям. Наверно, в первую очередь следует обратить внимание на повышение прочности и долговечности изделий [1], что непосредственно связано с качеством изготовления и контроля. Но нельзя обойти вниманием такую важную составляющую, как организация производства.

Работы ТОиР (Техническое Обслуживание и Ремонт) обеспечивают поддержание оборудования в работоспособном состоянии [2]. Работы ТОиР обеспечивают реализацию некоторых важнейших этапов жизненного цикла изделия.

В работе [3] показано, как менялись стратегии технического обслуживания за последние полвека в связи с существующими реалиями и теми задачами, которые была призвана выполнять техника соответствующего этапа развития. Рассмотрен по-

следовательный переход от стратегий «ремонт по отказу» к «обслуживанию по состоянию» и далее к автоматизированным системам ТОиР, «CMMS – Computer Maintenance Management System. Последние предполагают использование программ построения сетевых графиков (например, PROJECT MANAGER, входящий в MICROSOFT OFFICE).

### Основная часть

Обслуживание, ориентированное на надежность, в конечном счете, призвано повысить комплексные показатели качества оборудования, а именно, коэффициент готовности  $K_T$  и коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$  [4].

$$K_T = \frac{A_p}{A_p + A_o} \quad (1)$$

$$K_{ТИ} = \frac{A_p}{A_p + A_o + A_n} \quad (2)$$

где  $A_p$  - суммарное время нахождения изделия в работоспособном состоянии;  $A_o$  - суммарное время нахождения изделия

в неисправном состоянии (отказ);  $A_n$  - время, которое потребовалось на переналадку оборудования. Показатели  $K_r$  и  $K_{ти}$  безразмерные, а величины  $A_p$ ,  $A_o$  и  $A_n$  имеют размерность времени (например, часы).

Из структур формул видно, что  $K_r < 1$ ,  $K_{ти} < 1$  и  $K_r > K_{ти}$ . Степень близости показателя  $K_r$  к единице свидетельствует о высокой надежности оборудования, а выполнение условия  $K_{ти} \rightarrow 1$  характеризует соответствие уровня организации производства современным стандартам.

Математические аспекты, связанные с интерпретацией комплексного показателя  $K_r$  рассмотрены в [5]. Ранее нами был разработан метод, позволяющий построить доверительные интервалы для случайной величины  $K_r$  [6].

Важным ресурсом повышения показателя  $K_{ти}$  является сокращение времени переналадки, в связи с чем мы предлагаем обсудить относительно новый подход, являющийся одним из методов Бережливого производства, а именно быстрая переналадка (SMED – Single Minute Exchange of Dies).

Появление и совершенствование технологии быстрой переналадки неразрывно связано с развитием концепции бережливого производства. На заводах компании Toyota в 1969 г. были предприняты первые радикальные шаги по сокращению времени переналадки оборудования, которым предшествовала 19-летняя практика, позволившая С. Синго сделать свое открытие.

Автор концепции «быстрая переналадка» Сигео Синго так описывает важнейшие принципы своего подхода [7]:

- ✓ разграничение внутренних и внешних операций;
- ✓ замена внутренних операций на внешние;
- ✓ стандартизация функций, а не форм;
- ✓ использование функциональных зажимов, по возможности отказ от крепежа;
- ✓ максимальное использование промежуточных приспособлений;
- ✓ операции проводить параллельно;

- ✓ выполнение операций без последующих корректировок;
- ✓ применение механизации.

В основу метода легло разделение операций переналадки на две категории:

1) Внутренние, которые выполняются ТОЛЬКО при остановке оборудования. Например, пресс-форму можно заменить только при выключенном прессе;

2) Внешние действия, с другой стороны, могут быть выполнены во время работы оборудования. Например, болты крепления пресс-форм можно подобрать и рассортировать и при работающем прессе.

Идея ускорения состоит в замене как можно большего числа внутренних операций на внешние. Это в несколько раз сокращает время переналадки и увеличивает  $K_{ти}$ .

На рисунке 1 показано распределение  $K_{ти}$  для одной из подсистем угольно-добывающего экскаватора [6]: (а) – исходный; (б) после гипотетического проведения мероприятий SMED, которые вдвое сократили непроизводительные потери времени. Распределение построено с помощью разработанного авторами метода [6], основанного на статистическом бутстреппе [8]. Данный пример носит иллюстративный характер.

В таблице 1 приведена сводка статистических характеристик (SUMMARY в R) распределений  $K_{ти}$ , показанных на рисунке 1. Данные таблицы, а также графики на рисунке 1 выполнены в среде программирования R [9].

Из рисунка 1 и таблицы 1 видно, что медианное значение показателя надежности при гипотетическом проведении операций быстрой переналадки  $K_{ти}$  смещается в сторону больших величин, а именно, увеличивается до величины 0.967.

Концепция быстрой переналадки является одним из направлений развития «бережливого производства». В рамках последнего, например, осуществляется борьба с непроизводительными запасами за счет перехода на более мелкие серии. В экономике будущего осуществляется клиентно-ориентированное производство, т. е. производится именно то, что нужно потребителю, причем в требуемом количестве.

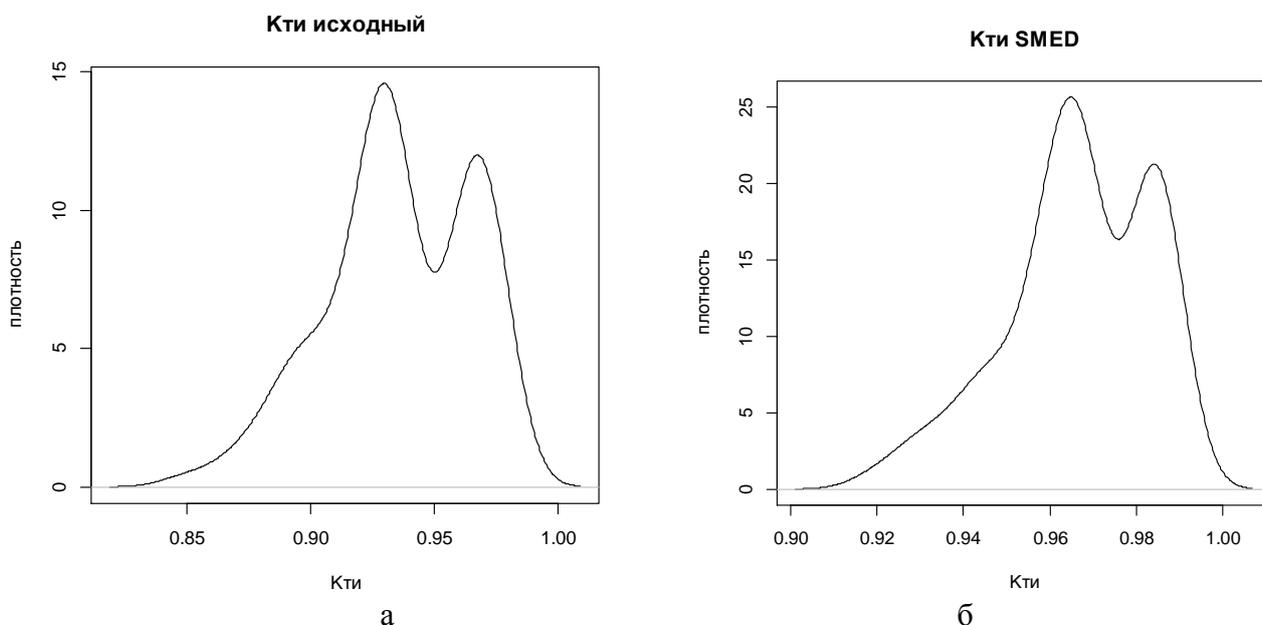


Рисунок 1. График плотности вероятности  $K_{ти}$  для подсистемы угольно-добывающего экскаватора: а- исходный; б- после проведения мероприятий SMED

Таблица 1

Статистическая сводка по коэффициентам готовности до и после SMED

	Минимальное значение $\min(K_{ти})$	Первый квантиль $Q_1$	Медиана	Среднее значение	Третий квантиль $Q_3$	Максимальное значение $\max(K_{ти})$
Исходные данные	0.7850	0.8972	0.9302	0.9244	0.9626	0.9776
С применением SMED	0.9191	0.9591	0.9670	0.9665	0.9828	0.9889

Для того, чтобы малые партии стали экономически оправданными, необходимо сокращать время на переналадку, о чем было сказано выше. В работе [10] приведены формулы, позволяющие оценить экономическую целесообразность определенного размера партии.

В начале рассчитывается удельное время изготовления детали с учетом времени наладки:

$$t = (p \cdot K_1 + S_1) / K_1, \quad (3)$$

где  $p$  - время изготовления одной детали;  $S_1$  - время переналадки до проведения мероприятий;  $K_1$  - размер партии до проведения мероприятий.

При расчете нового размера партии надо принять во внимание, что удельное время изготовления остается неизменным:

$$K_2 = S_2 / (t - p), \quad (4)$$

где  $S_2$  – время переналадки после проведенных мероприятий.

Отношение  $K_1/K_2$  показывает, во сколько раз можно сократить партию запуска и оно зависит от отношения  $S_1/S_2$ .

Средний уровень запаса готовых изделий

$$C = (K + d) / 2 \quad (5)$$

где  $d$  – минимальный запас готовых изделий.

Так как размер партии зависит от времени переналадки, то и запас будет зависеть от времени переналадки. Проведя необходимые преобразования, авторами работы [10] была получена зависимость снижения уровня запасов, полученная в результате снижения времени переналадки:

$$\Delta C = (S_2 + d_2s + 2Ds)/(S_1 + d_1s + 2Ds) \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что при уменьшении времени переналадки повышается оборачиваемость запасов и материалов. При этом сокращается потребность в складских помещениях и снижается уровень затрат на хранение.

На рисунке 2 схематически показано как влияют затраты на переналадку на экономически обоснованный размер партии. Видно, что при снижении времени на переналадку значительно снижается экономически обоснованный размер партии.

### Примеры применения

Приемы быстрой переналадки SMED применяются в разных областях промышленности (не только в машиностроении). В [7] описаны, в частности, примеры применения для оптимизации смены патронов в полуавтоматическом токарном станке, на токарно-винторезном станке, при установке сменных шестерен. Известны примеры применения при нанесении шаговой метки на универсальной гравировальной машине.

Технические приемы для внедрения быстрой переналадки, сложны и требуют

специальных знаний. Приступать к ним надо исходя из особенностей конкретного оборудования и процессов его переналадки. Например, для точного станочного оборудования наиболее сложным становится устранение регулировки, без чего при дефиците квалифицированных наладчиков невозможно радикально сократить переналадку. Для предприятий, связанных с изготовлением проволоки или кабельной продукции, наиболее важные и весомые технические решения лежат в области соединения концов и заправки проволоки. На очень многих производственных предприятиях решаются задачи установки прессовых и литейных форм (обеспечение быстроты и точности позиционирования). В случаях, когда переналадка ведется не на отдельных единицах оборудования, а на всей автоматизированной производственной линии на первый план выдвигается решение задач командной работы операторов, наладчиков-механиков и наладчиков оборудования промышленной автоматики. Только за счет грамотной организации их переходов с одного оборудования на другое иногда удается сократить время переналадки в 3-4 раза, а это обеспечивает солидный выигрыш в доступном времени работы линии.

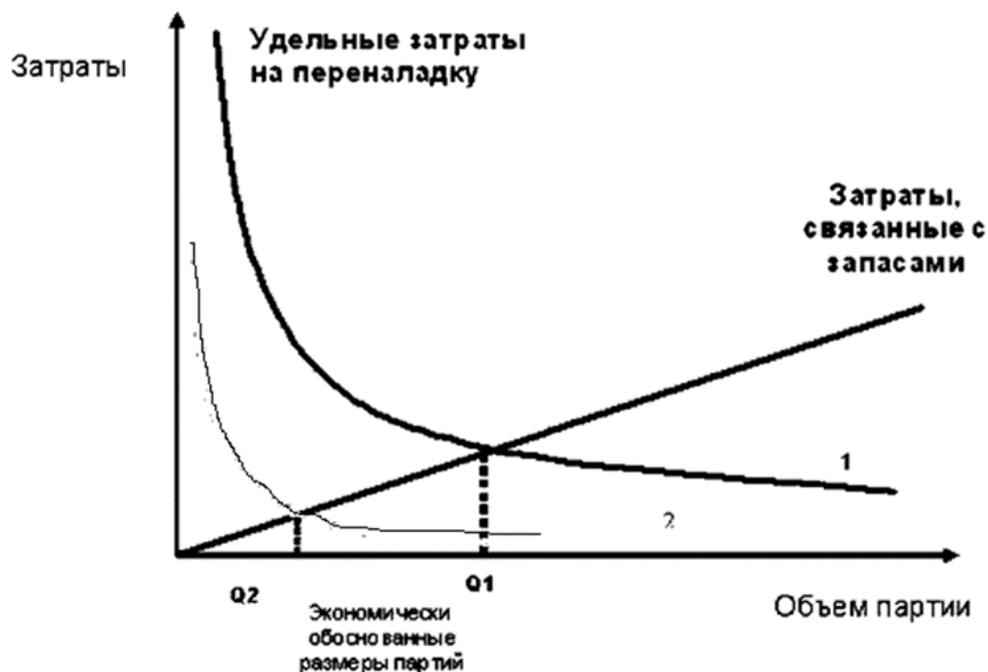


Рисунок 2. Схематическое изображение зависимости экономически обоснованного размера партии при сокращении времени на переналадку (тонкой линией показан график после перехода на SMED) [11]

На рисунке 3 приведены две схемы, иллюстрирующие техническое решение для внедрения быстрой переналадки штампов [7]. На практике часто встает вопрос о дошлифовке штампов. При этом надо вставлять прокладки и корректировать высоту штампов. Один из способов решения этой проблемы – это замена блока на более толстый, как раз на ту величину, которая со-

шлифована. Блоки, используемые при таком способе корректировки, обычно крепятся к нижней поверхности нижней половины штампа. В некоторых случаях они могут крепиться к верху верхней половины штампа (рисунок 3). Данный способ может рассматриваться как одно из применений перевода внутренней функции во внешние.

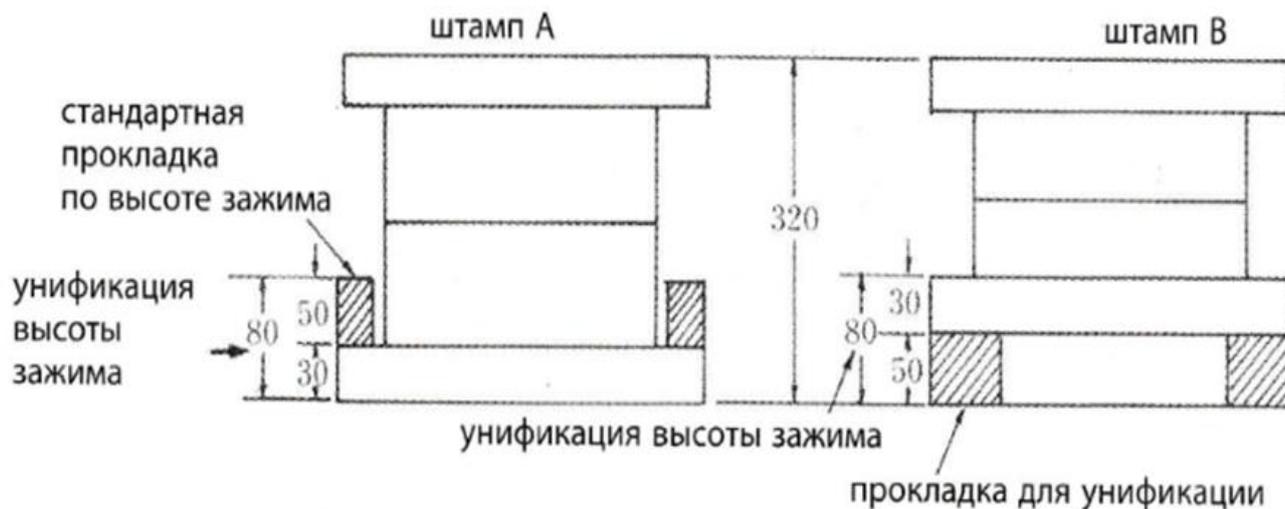


Рисунок 3. Стандартизация высоты зажима штампа

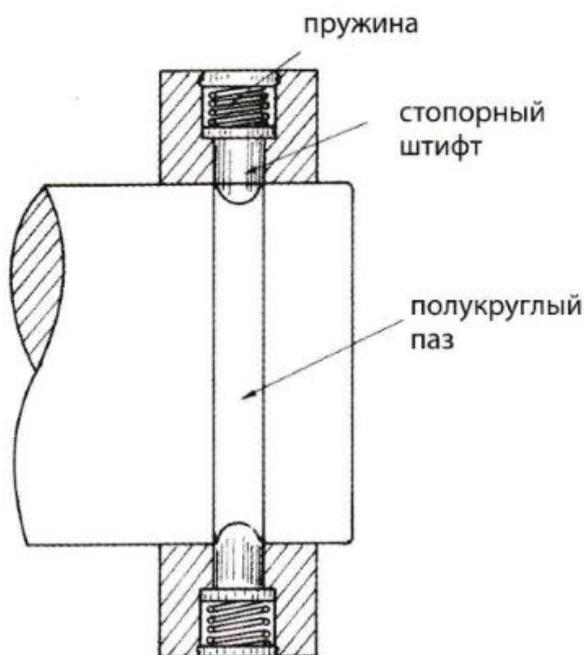


Рисунок 4. Пружинный зажим для установки сменной шестерни

Существенный резерв времени кроется в замене резьбового крепежа на зажимы. Метод прямого крепления требует большого числа оборотов винта. Ключом к разработке метода в соответствии со SMED является понимание роли числа витков резьбы, обеспечивающих необходимую силу трения для надежной работы механизма. Необходимо пересмотреть подход, основанный применении исключительно резьбовых соединений. На рисунке 4 показан пример пружинного зажима для закрепления шестерни на валу. Упругая энергия пружины обеспечивает смену шестерен «в одно касание». К механизмам подобного назначения также относятся кулачки, клинья, конусные штифты, выталкиватели. Перспективными являются также вакуумные и магнитные методы для установки деталей.

### Заключение

Рассмотрены основные принципы одного из инструментов «бережливого производства», а именно, быстрой переналадки,

SMED. Показана важность данного подхода на современном этапе развития технологий. Приведены примеры инженерных решений. В качестве оптимизационного параметра предложено использовать комплексный показатель надежности, а именно: коэффициент технического использования  $K_{ти}$ .

### Библиографический список

1. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М. Машиностроение. 1993. 364с.
2. Ченцов Н.А., Седуш В.Я. Сущности технического менеджмента системы ТОиР промышленного предприятия// Механическое оборудование металлургических заводов. 2014. №2. С. 25-35.
3. Антоненко И. Н., Крюков И. Э. Информационные системы и практики тоир: этапы развития // Главный энергетик. 2011. №10. С.37-44.
4. Зайнетдинов Р.И., Плохих И.В. Уточненная оценка и прогнозирование функции готовности поезда «Сапсан» на основе имитационного моделирования процесса эксплуатации // Транспорт: наука, техника, управление. 2012. № 12. С.11-19.
5. Беврани Х., Королев В.Ю. Несколько замечаний об асимптотическом поведении выборочного коэффициента готовности// Теория вероятности и ее применения. 2016. том. 61. №2. С.384-394.
6. Папич Л., Гадолина И.В., Зайнетдинов Р.И. Интервальная оценка коэффициента готовности роторного экскаватора на основе БУТСТРЕП-моделирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. №6 С. 55-62.
7. С. Синго. Быстрая переналадка. Революционная технология оптимизации производства. Серия «Модели менеджмента ведущих корпораций». Перевод с английского под ред. Ю.Адлера. Москва, ЦентрОргПром. 2006. 343 с.
8. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.
9. R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
10. Мартынов Р.С. Сокращение времени переналадки оборудования как фактор повышения эффективности использования материальных ресурсов на предприятии//Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2011. С. 87-90.
11. Куприянова Т.М., Растишин В.Е. Реализация технологии быстрой переналадки: российский опыт [info@tpm-center.ru](mailto:info@tpm-center.ru)

---

### Information about the paper in English

I.V. Gadolina<sup>1</sup>, A.A. Monakhova<sup>2</sup>, L. Papich<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Federal budget - funded research Institute of Machines Science named after A.A.Blagonravov of the Russian Academy of Sciences  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal state budgetary institution of higher professional education  
Bauman Moscow state technical university  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Faculty of Technical Sciences  
Čačak, Serbia

E-mail: [gadolina@mail.ru](mailto:gadolina@mail.ru)

Received 10.11.2017

### THE USE OF SMED FOR PRODUCTION OPTIMIZATION

#### Abstract

The use of the Single-Minute Exchange of Dies (or, SMED) technology is proposed for steel production optimization. The introduction of this technology can help increase the equipment availability ( $K_{ti}$ ) due to reduced downtime. In this particular case the  $K_{ti}$  ratio is used as an optimization parameter.

**Keywords:** Single-Minute Exchange of Dies, maintenance and repairs, availability, batch size.

---