

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ОБЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Е.А. Шаданова, А.А. Мицель (Томск)

Прогнозирование показателя общей эффективности оборудования (overall equipment effectiveness, OEE) позволяет повысить эффективность производства путем своевременного предупреждения профилактического обслуживания оборудования, выявить первопричины возникновения всех видов простоев и потерь. Расчёт показателя OEE основан на измерении конкретных производственных показателей, характеризующих: доступность (Availability, A) оборудования, его производительность (Performance, P) и качество (Quality, Q) выпускаемой продукции, например, [1–7]:

$$OEE = A \times P \times Q \quad (1)$$

Показатель доступности анализирует потери на остановки (Down Time Loss, DTL), включающие в себя любые внеплановые остановки из-за отказа оборудования, а также остановки из-за дефицита сырья или отсутствия места его складирования:

$$A = OT / PPT, \quad (2)$$

где

OT – операционное время;

PPT – планируемое производственное время.

Производительность P учитывает потери в скорости (Speed Loss, SL), которые включают в себя все факторы, вызывающие снижение рабочей скорости оборудования по сравнению с максимально возможной:

$$P = ICT / (OT / TP) = (TP / OT) / IRR, \quad (3)$$

где

ICT – идеальное время цикла (Ideal Cycle Time) – теоретическое минимальное время, необходимое для выпуска единицы продукции;

TP – выпуск продукции (Total Pieces) – фактическое количество единиц продукции, выпущенное за операционное время OT (Operation Time);

IRR – идеальная норма производства (Ideal Run Rate) – теоретически максимальное количество продукции, производимое в единицу времени (величина обратная ICT).

Качество Q учитывает потери при производстве несоответствующей стандартам продукции:

$$Q = GP / TP, \quad (4)$$

где GP – фактическое количество единиц годной продукции (Good Pieces).

Возможность оценки показателя OEE очень важна в любом производственном процессе, так как сразу обнаруживает любые потери. На сегодняшний день показатель OEE остается стандартом для устранения потерь и сравнительного анализа производственного процесса с целью постоянного повышения эффективности.

В данной работе предполагается, что показатели A , P и Q являются случайными величинами, распределёнными по известным вероятностным законам. Обозначим буквами a , b , c и d следующие функции распределения:

a – равномерное,

b – нормальное усеченное,

c – перевёрнутое усечённое показательное распределение и

d – усечённое распределение Лапласа (рис. 1).

С учётом (1) итоговый показатель OEE также является случайной величиной, закон распределения которой будет проанализирован ниже на конкретных примерах.

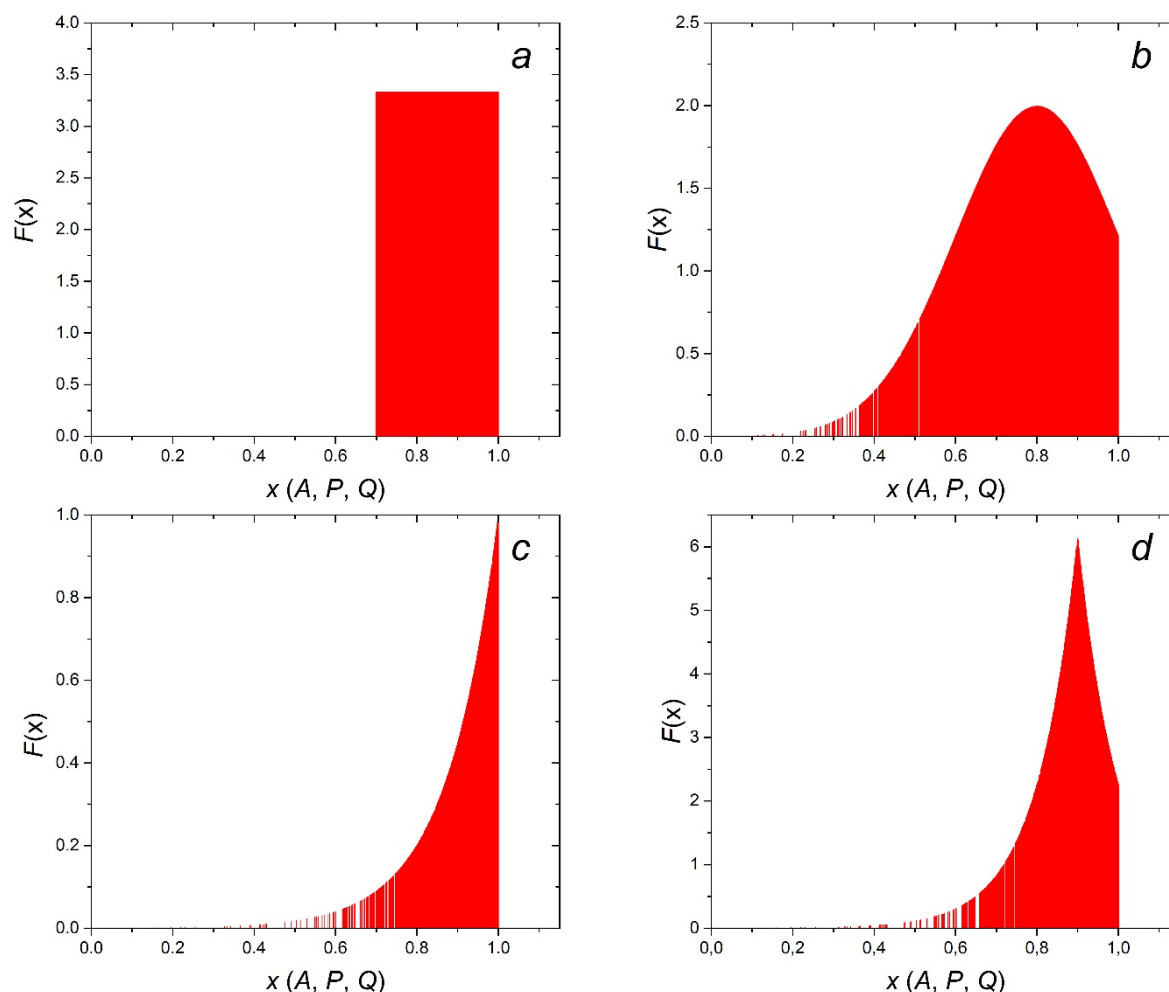


Рис. 1. Плотность вероятности случайной величины x (показатели A , P и Q)

(в соответствии с распределениями:

a – равномерное, $0.7 \leq x \leq 1.0$;

b – нормальное усеченное, $\mu=0.8$, $\sigma=0.2$;

c – перевёрнутое усечённое показательное, $\lambda_x=8$;

d - усечённое распределение Лапласа, $\lambda_x=10$, $\beta_x=0.9$)

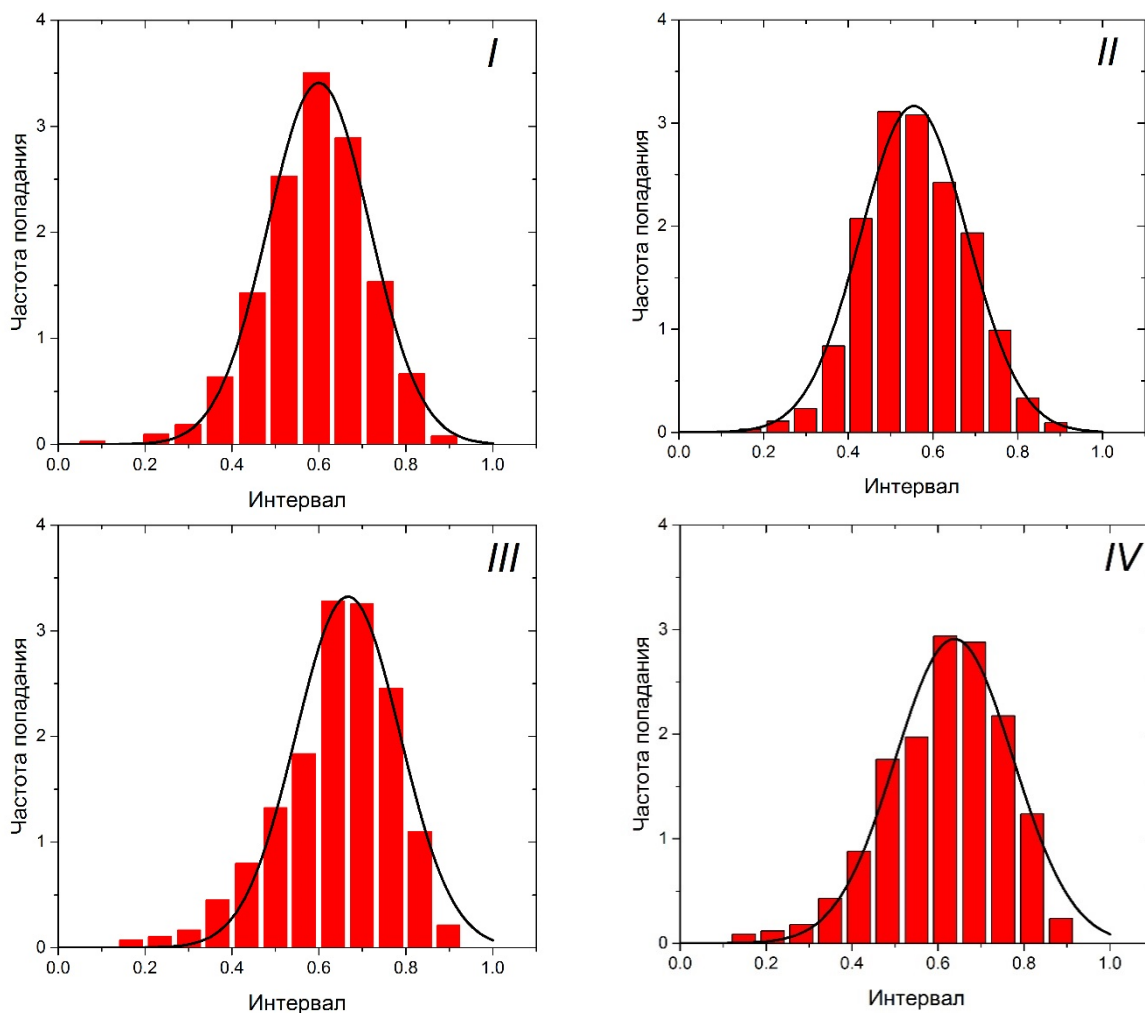
Рассмотрены следующие комбинации для произведения (1):

$$\begin{aligned}
 I &- A(a) \times P(b) \times Q(c) \\
 II &- A(a) \times P(b) \times Q(d) \\
 III &- A(a) \times P(c) \times Q(d) \\
 IV &- A(b) \times P(c) \times Q(d) ,
 \end{aligned} \tag{5}$$

где аргумент в скобках указывает на функцию плотности вероятности каждого из трёх показателей (рис. 1). Использование различных законов распределения для A , P и Q повышает достоверность и практическую значимость получаемых результатов по сравнению с предыдущим исследованием [8, 9].

При генерации случайных чисел для показателей A , P и Q объём выборки составлял не менее 3000 значений. При расчёте произведения (1) в рассмотрение включены только те случайные значения показателя ОЕЕ, которые укладывались в интервал допустимых значений – $[0, 1]$. Итоговое число случайных значений показателя ОЕЕ было не менее 1000 в каждом из четырёх рассмотренных случаев (5).

Рассчитанные случайные значения показателя ОЕЕ далее обрабатывались посредством построения гистограмм в интервале $[0, 1]$ с шагом 0.077. Высота столбцов гистограммы отражает частоту попадания случайной величины в один из десяти участков из интервала $[0, 1]$. Как видно из рис. 2 по своему внешнему виду полученные гистограммы оказались схожи с нормальным законом распределения.



Найденные параметры нормального распределения приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Параметры нормального распределения (математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение), определённые методом наименьших квадратов из гистограмм, приведённых на рис. 2

Вариант	μ	σ
$I - A(a) \times P(b) \times Q(c)$	0,600	0,117
$II - A(a) \times P(b) \times Q(d)$	0,555	0,126
$III - A(a) \times P(c) \times Q(d)$	0,667	0,120
$IV - A(b) \times P(c) \times Q(d)$	0,638	0,137

Проведена количественная оценка гистограмм с помощью критерия согласия Пирсона, в предположении, что случайные значения показателя ОЕЕ имеют нормальный закон распределения с параметрами, вычисленными по выборочным

данным. Критическое значение критерия хи-квадрат равнялось 18.307, для заданного уровня значимости, $\alpha = 0.05$ и числа степеней свободы, $k = 10$. Для рассмотренных четырёх случаев (5) получены следующие значения критерия хи-квадрат: *I*–17.614; *II*–16.864; *III*–18.0; *IV*–14.742, что ниже критического значения. Таким образом, гипотеза о нормальном законе распределении имеет численное подтверждение.

Для более точного нахождения параметров нормального закона распределения (μ – математическое ожидание и σ – среднеквадратическое отклонение), гистограммы *I*–*IV* (рис. 2) были обработаны методом наименьших квадратов. В результате были определены μ и σ , дающие минимальное отклонение нормального распределения от значений гистограмм. Как следует из рис. 2, вычисленные в данной работе параметры нормального распределения (таблица 1) позволяют повысить точность аппроксимации эмпирических гистограмм (черная кривая). Таким образом, для моделирования плотности вероятности показателя ОЕЕ можно с достаточной точностью использовать нормальный закон распределения.

Таблица 2. Результаты оценки вероятности того, что показатель ОЕЕ равен не менее значения *max*

Вариант	<i>P</i>			
	<i>max</i> =0,3	<i>max</i> =0,5	<i>max</i> =0,7	<i>max</i> =0,9
<i>I</i> – $A(a) \times P(b) \times Q(c)$	0,995	0,803	0,196	0,005
<i>II</i> – $A(a) \times P(b) \times Q(d)$	0,975	0,665	0,133	0,003
<i>III</i> – $A(a) \times P(c) \times Q(d)$	0,999	0,917	0,390	0,026
<i>IV</i> – $A(b) \times P(c) \times Q(d)$	0,993	0,843	0,325	0,028

Используя найденные параметры нормального распределения, рассчитаем вероятность *P* того, что эффективность использования оборудования будет не менее заданного значения *max*:

$$P = 1 - \int_0^{max} f_r(r) \cdot dr, \quad (6)$$

где $f_r(r)$ – функция плотности распределения показателя ОЕЕ.

Из таблицы 2 следует, что вероятность того, что показатель ОЕЕ равен не менее 0.9 пренебрежимо мала. В тоже время, вероятность достижения 0.5 довольно высока – не менее 66 %. Отметим, что найденные четыре функции плотности распределения дают разный прогноз значений показателя ОЕЕ, что позволяет использовать данный подход на практике.

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы. Предполагая, что показатели *A*, *P* и *Q* являются случайными величинами, распределёнными по известным функциям плотности вероятности, итоговая плотность показателя ОЕЕ имела нормальный закон распределения. При этом различия в законах распределения исходных показателей мало влияли на итоговой вид гистограммы. Показано, что параметры нормального закона распределения могут быть найдены методом наименьших квадратов. Вероятность достижения заданного показателя ОЕЕ может быть далее оценена по известному закону плотности распределения случайной величины.

Литература

1. Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/maintenance Tool for Increased Profits / Hansen R.C. – NY.: Industrial Press Inc., 2001. 278 p.
2. **Хисамова Э.Д.** Влияние всеобщего обслуживания оборудования на эффективность его работы в системе бережливого производства // Материалы международной научной конференции VIII международный молодежный симпозиум по управлению, экономике и финансам. 2019. Том 1. С. 280-283; URL: https://dspace.kpfu.ru/xmlui/viewer?file=158567;F_ISMEF2019_Vol1__280_283.pdf&sequence=-1&isAllowed=y
3. **Каляшина А.В.** Общие подходы к оценке эффективности промышленного оборудования / ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»: FUNDAMENTAL RESEARCH №12, 2016. С. 980-986.
4. **Абрамова И.Г.** Анализ показателя общей эффективности технологического оборудования «ОЕЕ» на основе показателей оценки рабочего времени, используемых в российской практике // Сборник трудов X Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2019. С.279-284.
5. **Muchiri P.** Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion / P. Muchiri, L. Pintelon // International Journal of Production Research. 2008. Vol. 46, No 13. P. 3517-3535.
6. **Singh R.K.** Measurement of overall equipment effectiveness to improve operational efficiency / R. K Singh., E. J. Clements, V. Sonwaney // International Journal of Process Management and Benchmarking. 2018. Vol. 8, No 2. P. 246-261.
7. OEE (Overall Equipment Effectiveness). [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.oee.com>
8. **Дунаева Т.Ю.** Сокращение времени работ на критическом пути и оценка вероятности выполнения проекта // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сборник научных статей X международной научной конференции. Часть 3. – Казань: ООО «Конверт», 2019. С. 95-99.
9. **Мицель А.А., Вельш Н.В.** Оценка эффективности работы оборудования производственных предприятий // Наука и технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник научных трудов по материалам XVIII Международной научно-практической конференции. – Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2021. С. 59-65.