

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ АГРЕГИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Е.А. ЗОРИНА¹, канд. техн. наук, В.Г. МЕШКОВ², канд. техн. наук,
М.К. СИМАНЖЕНКОВ², асп.

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт «Центр»,
123242, Москва, ул. Садовая-Кудринская, 11, стр. 1, e-mail: zorina_liza@list.ru

² Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»,
127055, Москва, пер. Вадковский, 3А, e-mail: mkt3@mail.ru

© Зорина Е.А., Мешков В.Г., Симанженков М.К., 2025

Статья посвящена исследованию воздействия частоты появления отклонений от рабочих состояний станков на значения агрегированных показателей средствами компьютерного моделирования. Подчеркнуто, что результаты расчетов показывают: даже несколько серьезных отклонений не могут существенно повлиять на точность расчета агрегированных показателей.

Ключевые слова: поток состояний, станки, компьютерное моделирование, дискретная функция, плотность распределения, вероятность, абсолютное отклонение, частота появления состояний, точность, расчет, агрегированные показатели.

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-2-87-93

Одной из важнейших задач организации серийного производства является обеспечение его ритмичности при максимально возможной загрузке оборудования. Решению этой задачи способствует применение систем сбора данных о состояниях оборудования (MDC-систем). Данные системы ведут непрерывный мониторинг состояния оборудования (работы по управляющей программе, аварийного останова, технологического останова, организационных простоев (т. е. отсутствия инструмента, задания, заготовок и т.п.)), которые группируются по степени влияния на эффективность производственных процессов. Среди простоев оборудования можно выделить хорошо прогнозируемые производственные, технические, организационные и нерегламентированные, обусловленные влиянием случайных факторов; недоступное время, непосредственно связанное с режимом функционирования агрегатов. Уменьшить воздействие разного рода простоев на выпуск продукции отчасти можно с помощью резервирования оборудования, однако в современных условиях это экономически нецелесообразно и позволяет нивелировать последствия лишь технических простоев (аварий, ремонта станка и т.д.).

Мониторинг состояний машин может вестись разными способами: автоматическим (подразумевает снятие данных о состоянии со стойки числового программного управления; интерпретацию временных параметров потребляемого оборудованием тока, поступающих с токосъемных клещей); вручную, т. е. путем самостоятельного ввода состояния агрегатов оператором в пределах предоставленных прав на терминале MDC-системы (индивидуальном или общем). Вне зависимости от способа получения информации о состоянии оборудования возможно возникновение ошибок, вызываемых несовершенством аналитического аппарата при автоматическом съеме данных, либо человеческим фактором. В то же время для принятия адекватных управленческих решений данные о состоянии работы станков чаще всего оказываются

востребованными при формировании известного набора агрегированных показателей, что в целом должно снижать чувствительность результатов расчета к возможным отдельным отклонениям от рабочих состояний станков. Справедлива постановка задачи об исследовании влияния появления отдельных отклонений от рабочих состояний на рассчитываемые значения указанных показателей с использованием практического материала, собранного благодаря показаниям станков, задействованных в выполнении реальной производственной программы.

Цель работы – определение степени воздействия некорректных значений, содержащихся в выборке производственных данных, на итоги ее анализа. Достижение цели позволит формировать адекватные управленческие решения, основанные на анализе потока информации о состоянии оборудования, поступающей в реальном времени, при наличии в ней допустимого количества ошибочных значений. В этом и заключается актуальность проводимого исследования.

АНАЛИЗ АГРЕГИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Данные из потока состояний станков информационного пространства динамичные. Условно состояния можно разделить на простые и агрегированные. Более подробная классификация приведена ниже [1]:

Простые состояния	Агрегированные состояния
Ремонт станка	Технический простой
Авария	
Техническое обслуживание	
Наладка станка	Производственный простой
Установка заготовки	
Замена инструмента	
Проверка на тех. точность детали	
Установка крупногабаритной детали	
Межоперационный/окончательный контроль	
Технологический останов	
Отладка управляющей программы	
Уборка станка	
Отсутствие заготовок/полуфабрикатов	Организационный простой
Отсутствие инструмента/оснастки	
Отсутствие управляющей программы	
Отсутствие задания	
Отсутствие материала	
Ожидание ремонта	
Простой станка	Нерегламентированный простой
Другие работы	
Станок выключен	Неиспользуемое время
Станок остановлен	
Регламентированный перерыв	

Состав перечня простых состояний определяется спецификой конкретного производства и может меняться.

Согласно приведенной классификации неизбежно влияние человеческого фактора в простых состояниях; отклонение от рабочего состояния станков может быть

обнаружено не вовремя, с опозданием, а значит, соответствующие искажения будут присутствовать в расчетных величинах агрегированных показателей. Отсюда можно сделать логичный вывод о важности исследования воздействия частоты появления отклонений от рабочих состояний на абсолютную величину отклонения основных агрегированных показателей по реальным данным, собранным в ходе снятия показаний состояний станков за некоторый отчетный период (в данном случае за три месяца). Наиболее логичным и современным способом такого изучения является компьютерное моделирование. В данной статье представлена часть результатов такого моделирования, имеющих в целом достаточно типичный вид, отражающий общую тенденцию.

В качестве исходных данных для моделирования были использованы выборки информации о наиболее полной и ритмичной загрузке оборудования за три месяца. Экспериментальная база для анализа сформирована на примере расчета значения производственного простоя, зависящего от состояния установки крупногабаритной детали, проверки на технологическую точность, уборки станка; от состояний «другие работы», «обеденный перерыв», «технологический останов», «станок выключен» и «станок остановлен»; от межоперационного/окончательного контроля; от установки заготовки; от отладки управляющей программы, замены полотна; от отрезки дефектного слоя; от организационного простоя, в свою очередь, обусловленного состояниями заготовок/полуфабрикатов, инструмента/оснастки, управляющей программы, задания, отладки указанной программы, материала.

Производственный простой $t_{пп}$ рассчитывается по формуле

$$t_{пп} = \sum_{i=1}^n t_{ппс_i},$$

где $t_{ппс_i}$ – суммарное время простых состояний, отнесенных к группе производственных простоев, за рассматриваемый период времени.

Организационный простой $t_{оп}$ определяется следующим образом:

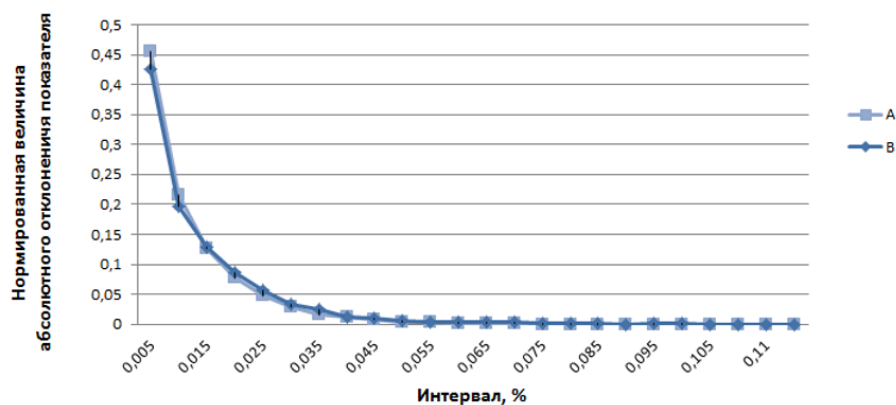
$$t_{оп} = \sum_{i=1}^m t_{опс_i},$$

где $t_{опс_i}$ – суммарное время простых состояний, отнесенных к группе организационных простоев, за рассматриваемый период времени.

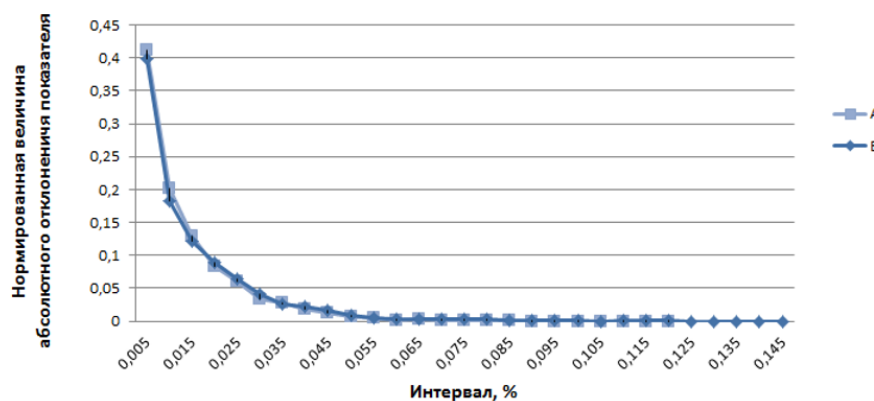
Показатель «производственный простой» для простоты обращения в дальнейшем будет обозначать латинской буквой «А», а «организационный простой» – «В».

При моделировании имеющиеся в базе данных значения частоты появления отклонений от рабочих состояний были приняты в качестве идеальных исходных данных полной и ритмичной загрузки оборудования. Моделирование состояло в том, что в исходные данные специально, намеренно вносили одно или несколько отклонений, искажающих некоторое случайно выбранное числовое поле частоты появления отклонений этих данных. Поскольку значения, существенные для эксперимента, представляют собой в основном положительные ненулевые числа, в качестве модели отклонений было выбрано искажение исходной информации в N раз. Решение о том, увеличивать или уменьшать значение поля, принималось случайно и равновероятно. Такое отклонение называли отклонением, имеющим коэффициент N. Для проведения исследования мы специально взяли несколько значений коэффициента отклонений (0,5; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0), чтобы лучше увидеть результаты их влияния на значения агрегированных показателей (в нашем случае «А» и «В»). Для численного эксперимента были намеренно созданы программные средства, позволяющие

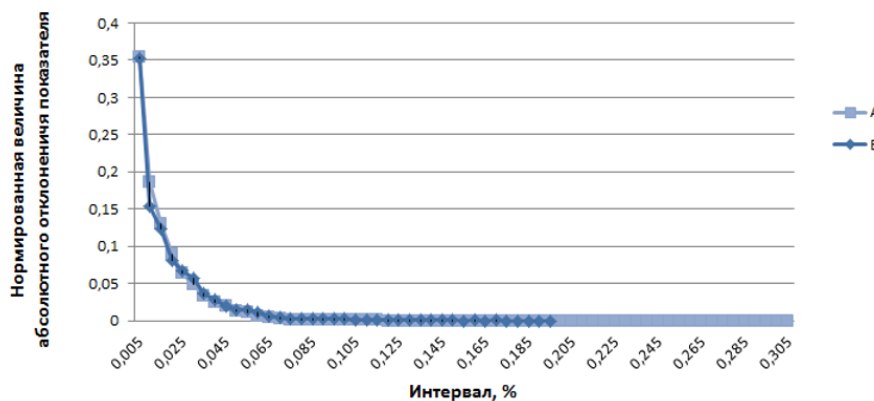
многократно моделировать возникновение случайного искажения в данных. Количество экспериментов со случайным внесением искажения в данные, имитирующих случайные отклонения, составило порядка 10000 (рисунок).



(а)

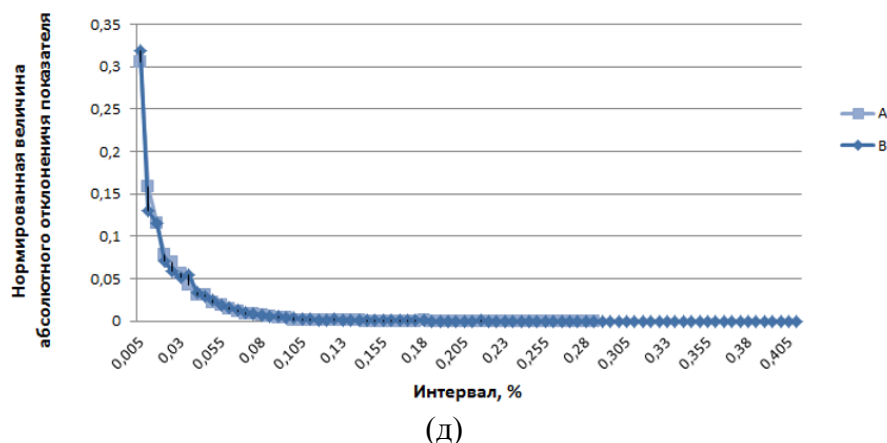
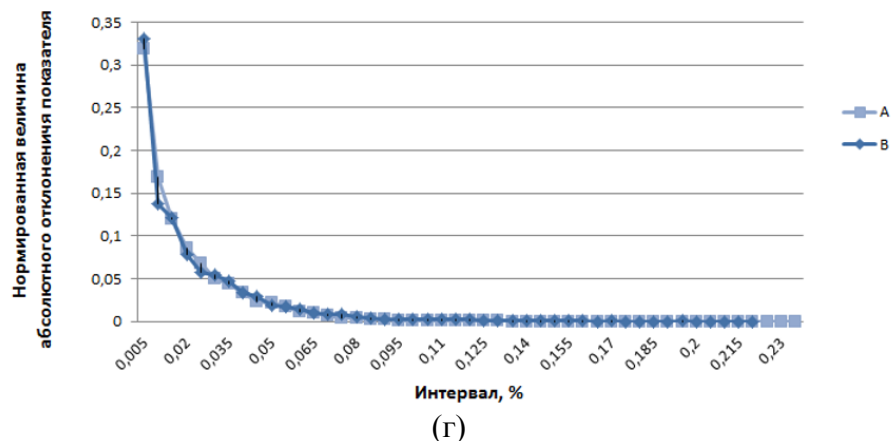


(б)



(в)

Плотность распределения величины абсолютного отклонения показателя для коэффициентов отклонения: 0,5 (а); 2,2 (б); 2,5 (в); 2,8 (г); 3,0 (д)



Окончание

В ходе интерпретации результатов эксперимента получена дискретная функция плотности распределения вероятности абсолютного отклонения выбранных показателей («А» и «В») под воздействием модели коэффициентов случайного отклонения данных от идеальных значений. Рассчитанная плотность распределения (по процентной шкале) приведена на графиках, соответствует разным значениям коэффициента отклонения (см. рисунок).

Полученные результаты оказались неочевидными. Например, выяснилось, что отклонения в 0,5 и 2,2 раза, будучи субъективно весьма ощутимыми, на значения агрегированных показателей влияют удивительно слабо. По крайней мере, для отклонения в 0,5 раз величина отклонений показателей «А» и «В» попадает в интервал 0,03 % с вероятностью 0,953 и 0,925 соответственно. Такие ошибки, по сути, почти эквивалентны величине точности округления, принятой в существующих правилах расчета показателей. Показатель «В», как и все показатели, построенные по похожим формулам, в целом оказался более чувствительным к ошибкам данных, чем «А» и его аналоги. Важным является вывод, что достаточно значимые отклонения, попадающие в интервал 0,05 и более процентов (что составляет критическую величину в рамках принятых критериев точности), характерны лишь для весьма грубых отклонений. В таблице приведена вероятность возникновения таких отклонений для каждого из смоделированных коэффициентов.

Вероятность возникновения отклонений для каждого коэффициента

Коэффициент отклонения по расчетной модели	Вероятность (расчетная) отклонения значения показателя на 0,05 и более процентов	
	Показателя «А»	Показателя «В»
0,5	0,0070	0,0205
2,2	0,0144	0,0300
2,5	0,0348	0,0634
2,8	0,0662	0,0911
3,0	0,0907	0,1129

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное моделирование заставило несколько по-новому взглянуть на появление отклонений от рабочих состояний станков. Выяснилось, что даже наличие нескольких достаточно серьезных отклонений (например, изменение частоты появления некоторого состояния вдвое) не может существенно сказаться на точности определения агрегированных показателей и не столь опасно с точки зрения адекватности расчета указанных показателей, на основе которых принимаются управленческие решения. Это, конечно же, не означает, что эти отклонения не следует выявлять: нужно прилагать максимальные усилия при поиске наиболее грубых отклонений, что в принципе делать менее сложно. Результаты расчетов согласно модели смягчают проблему наличия отклонений от рабочих состояний, снижают уровень пессимизма, возникающего из-за данной проблемы. Влияние этих отклонений на агрегированные показатели чаще всего не выходит за рамки критических допусков. Это позволяет частично пересмотреть и оптимизировать общую концепцию и стратегию контроля рабочих состояний станков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика оценки и повышения эффективности работы технологического оборудования и производственного персонала. Инструкция к применению. URL: https://intechnology.ru/files/320/2017_metodika-ocenki-effe.pdf (дата обращения: 21.02.2025).
2. Капитанов А.В. Повышение эффективности автоматизированного станочного оборудования на основе моделирования и оптимизации системы технологической подготовки производства: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2009. 195 с.
3. Мешков В.Г., Козлова А.В. Цифровые технологии как основа управления процессами в современном машиностроении // *Актуальные вопросы науки, нанотехнологий, производства: Сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции*. Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 271–273.

Для цитирования: Зорина Е.А., Мешков В.Г., Симанженков М.К. Автоматизированный анализ агрегированных показателей производственного процесса // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2025. № 2 (26). С. 87–93.

AUTOMATED ANALYSIS OF AGGREGATED PRODUCTION PROCESS INDICATORS

E.A. ZORINA¹, Cand. Sc., V.G. MESHKOV², Cand. Sc.,
M.K. SIMANZHENKOV², Postgraduate

¹ All-Russian Scientific Research Institute «Center»,
11, build. 1, Sadovaya-Kudrinskaya str., Moscow, 123242, e-mail: zorina_liza@list.ru

² Moscow State University of Technology «STANKIN»,
3A, Vadkovsky lane, Moscow, 127055, e-mail: mkt3@mail.ru

The article is devoted to the study of the effect of the frequency of deviations from the operating conditions of machines on the values of aggregated indicators by means of computer modeling. It is emphasized that the calculation results show that even a few serious deviations cannot significantly affect the accuracy of the calculation of aggregated indicators.

Keywords: flow of states, machine tools, computer modeling, discrete function, distribution density, probability, absolute deviation, frequency of occurrence of states, accuracy, calculation, aggregated indicators.

Поступила в редакцию/received: 08.02.2025; после рецензирования/revised: 09.02.2025;
принята/accepted: 17.02.2025

УДК 303.732:621.316

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ

К.Б. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук, Ю.М. ПАВЛОВА, канд.техн.наук,
М.Б. МАНЬКОВ, асп., Р. ОСЕИ-ОВУСУ, асп.

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: energy-tver@mail.ru

© Корнеев К.Б., Павлова Ю.М., Маньков М.Б., Осей-Овусу Р., 2025

Рассмотрен подход к построению оптимальной конфигурации электрических сетей, содержащих накопители мощности и объекты альтернативной энергетики. Подчеркнуто, что увеличение доли альтернативной энергетики требует интенсивного использования накопителей мощности на базе аккумуляторных батарей. Указано, что это приводит к значительному усложнению расчетов оптимального состояния энергосистемы с учетом нестационарного характера отдачи и потребления электроэнергии. Предложено применять методы оптимизационного моделирования и системного анализа с элементами прогностических моделей поведения объектов энергосистемы для построения системы управления электросетевым комплексом, что обеспечит поддержание требуемого уровня надежности отпуска электроэнергии потребителям, а также для уменьшения неоптимальных перетоков электрической энергии.