

УДК 004.942:338.3:658.513

© А. М. КОВАЛЕВА, 2022

Самарский национальный исследовательский
университет им. академика С. П. Королева
(Самарский университет), Россия

E-mail: kovaleva.am@ssau.ru

ИНТЕГРАЦИЯ MDC-СИСТЕМЫ И СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦЕХА¹

Статья посвящена исследованию путей повышения эффективности работы цеха за счет интеграции MDC-системы и системы имитационного моделирования. Построена диаграмма классов для представления концепции интеграции и описаны структуры классов. Рассмотрены возможности системы класса MDC АИС «Диспетчер» для реализации интеграции.

Ключевые слова: MDC-система, имитационное моделирование, производственный участок, диаграмма классов, АИС «Диспетчер», простой оборудования, ключевые показатели эффективности.

Введение

Имитационное моделирование является актуальным инструментом для оптимизации и повышения производительности производственных участков и цехов (данной тематике исследований посвящены работы [1-5]).

Загрузка имитационной модели оперативной информацией – ключевой фактор получения релевантных результатов и успешности процесса моделирования в целом. Значения в имитационную модель могут заноситься вручную или поступать непосредственно из системы мониторинга промышленного оборудования (MDC-системы). Данная система позволяет собирать показатели, характеризующие работу всех производственных объектов для управления производством, что в свою очередь может привести к повышению производительности труда, сокращению себестоимости производимой продукции, а следовательно, к повышению прибыли и конкурентоспособности предприятия.

¹ Работа выполнена в рамках НИОКТР «Разработка концепции применения технологий интегрированной реальности для организации и оптимизации производственных процессов создания изделий аэрокосмической техники» в рамках Соглашения №ПИАШ/07-2022.

Все вышесказанное помогло определить цель данной работы — предложить концепцию интеграции MDC-системы и системы имитационного моделирования для повышения эффективности работы производственного участка (цеха), являющегося объектом исследования. Предмет исследования — эффективность работы цеха.

Для определения необходимой информации для загрузки в имитационную модель и нахождения путей ее передачи из MDC-системы предлагается построить диаграмму классов и рассмотреть возможности системы класса MDC АИС «Диспетчер».

К исходным данным для построения имитационной модели производственного участка (цеха) отнесем:

- технологические процессы изготовления деталей;
- технологические маршруты с информацией о штучно-калькуляционном времени технологических операций;
- информацию о рабочих центрах для выполнения технологических операций и определения ключевых показателей эффективности (КПЭ или KPI (Key Performance Indicators)) для процессов изготовления всей номенклатуры деталей.

Результаты исследования

Для представления концепции интеграции MDC-системы и системы имитационного моделирования будем использовать диаграмму классов (рис. 1), разработанную ПО Rational Rose, где структура класса состоит из наименования, атрибутов и операций.

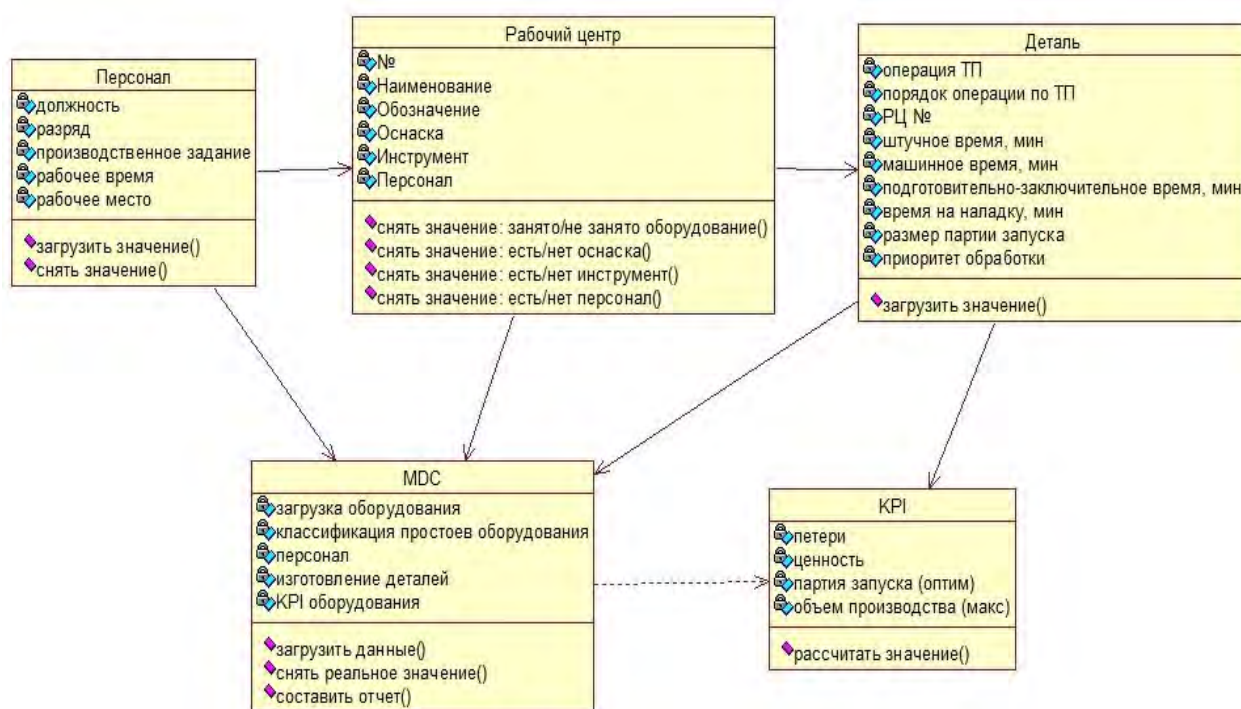


Рис. 1. Диаграмма классов

Диаграмма, представленная на рисунке 1, содержит классы персонала, рабочих центров, деталей, МДС-системы и КРІ. Атрибуты классов «персонал», «рабочий центр» и «деталь» содержат исходные данные для имитационной модели производственного участка (цеха). К операциям этих классов можно отнести: «загрузить значение», «снять значение». Атрибуты класса КРІ отражают ключевые показатели эффективности для организации оптимальной работы цеха. Операция этого класса — «рассчитать значение».

Подробнее рассмотрим структуру класса МДС. Она состоит из атрибутов: «загрузка оборудования», «классификация простоев оборудования», «персонал», «изготовление деталей», «конкретный КРІ оборудования». К операциям этого класса можно отнести следующие: «загрузить данные», «снять реальное значение», «составить отчет». Атрибуты данного класса предназначены для мониторинга оборудования и персонала и контроля производства. Эти данные можно получить автоматически из информационной системы класса МДС АИС «Диспетчер».

Рассмотрим функциональные возможности АИС «Диспетчер» [6-9]. Так, данная система состоит из следующих разделов.

1. Раздел «Загрузка оборудования» — позволяет проанализировать работу оборудования и выявить потери и причины неэффективной работы, что помогает проследить влияние производительности отдельной единицы оборудования на эффективность работы целого производства.

АИС «Диспетчер» предполагает проводить контроль следующих производственных показателей:

– $T_{\text{произ}}$ (час) — длительность времени производства продукции;

– $T_{\text{вкл}}$ (час) — длительность включенного состояния станка;

– $T_{\text{фонд}}$ (час) — фонд работы по графику предприятия или по выбранному периоду аналитики;

– K_3 (%) — коэффициент загрузки: $K_3 = T_{\text{произ}} / T_{\text{фонд}}$;

– $K_{3Э}$ (%) — коэффициент эффективной загрузки, который рассчитывается по формуле:

$$K_{3Э} = T_{\text{произ}} / T_{\text{вкл}}.$$

2. Раздел «Персонал» — предназначен для контроля показателей работы операторов оборудования. Отчет, формируемый в системе, содержит следующие значения:

– ФИО оператора (или наименование подразделения, станка);

- время работы (час) – суммарное время работы оператора;
- $T_{\text{произ}}$ (час) – время производства продукции;
- $T_{\text{прос.пр}}$ (час) – время группы «Производственный простой» за указанный период;
- $T_{\text{прос.нр}}$ (час) – время группы «Нерегламентированный простой» за указанный период;
- K_{30} (%) – коэффициент загрузки оператора, который вычисляется как отношение времени производства продукции к времени работы оператора:

$$K_{30} = T_{\text{произ}} / T_{\text{фонд.оп}} ;$$

- $K_{\text{по}}$ (%) – коэффициент потерь времени оператором, который вычисляется как отношение времени нерегламентированного простоя к времени работы оператора:

$$K_{\text{по}} = T_{\text{прос.нр}} / T_{\text{фонд.оп}} .$$

3. Раздел «Изготовление деталей» – формирует подробную картину итогов работы предприятия, подразделения, отдельных станков или операторов за интересующий пользователя период времени. В отчете отображается информация по каждой технологической операции в привязке к обрабатываемым видам деталей, сборочных единиц (ДСЕ):

- «Технология» – статистическая информация, позволяющая судить о степени соответствия фактических показателей длительности технологической операции и нормативных (идеальных) значений этих показателей;
- «Станки» – степень загруженности станков предприятия, информация о времени выполнения технологических операций и количестве изготовленных ДСЕ для каждого станка;
- «Операторы» – результат работы операторов в пределах выбранного периода времени.

4. Раздел «Простои оборудования» – рассматривает состояние объекта мониторинга, когда он не производит продукцию, соответствует состоянию простоя. Наблюдение за данными состояниями позволяет выяснить доминирующие причины простоев и использовать эти данные для улучшения работы производства на предприятии. В АИС «Диспетчер» состояния и причины простоя объединяются в группы (табл. 1) [6]. Тогда с учетом интеграции с МДС-системой в структуре класса рабочих центров могут быть учтены состояния и причины простоя оборудования (рис. 2).

Группа состояний или причин простоя

<i>Название группы</i>	<i>Назначение группы</i>	<i>Состав</i>
Производство ($T_{\text{маш}}$)	Интервал времени, когда на станке изготавливается деталь, включающий время технологических остановок	Работа по программе. Остановка в работе. Работа без нагрузки
Производственный простой ($T_{\text{прос.пр}}$)	Интервал времени, когда станочник выполняет работы, необходимые для производства детали, но при этом станок остановлен	Наладка. Замена детали. Замена инструмента. Измерение детали. Наладка станка. Замер детали в ОТК. Сдача детали. Уборка станка. Перерыв
Нерегламентированный простой ($T_{\text{прос.нер}}$)	Простой по вине оператора	Простой станка
Технический простой ($T_{\text{прос.тех}}$)	Интервал времени, когда станок остановлен по техническим причинам	Авария. Ремонт станка
Организационный простой ($T_{\text{прос.орг}}$)	Интервал времени, когда станок остановлен по организационным причинам	Нет задания. Нет заготовок. Нет инструмента. Нет программы. Нет оператора
Техническое обслуживание и плановый ремонт ($T_{\text{тоир}}$)	Интервал времени, когда на оборудовании проводятся плановое обслуживание и ремонт	Техническое обслуживание. Плановый ремонт
Неиспользованное время ($T_{\text{неисп}}$)	Интервал времени, когда станок отключен или не используется	Станок выключен. Нет заказа

Рабочий центр	Наименование	Обозначение	Оборудование	Оснастка	Инструмент	Персонал
Значение атрибутов	1-Производство, 2-Производственный простой, 3-Нерегламентированный простой, 4-Технический простой, 5-Организационный простой 6-Тех.обслуживание/ плановый ремонт 0-Станок выключен/ нет заказа			1-Производство, Организационный простой: 0-Нет задания, 2-Нет заготовок, 3-Нет инструмента, 4-Нет программы, 5-Нет оператора		1-Работа по расписанию, 2-Производственный простой, 0-Нерегламентированный простой
РЦ 1						
Состояние						
РЦ 2						
Состояние						
...						
...						

Рис. 2. Структура класса рабочих центров с добавлением состояний и причин простоя оборудования, с учетом интеграции с MDC-системой

5. Раздел «КРІ оборудования» – служит для того, чтобы в АИС «Диспетчер» для оценки эффективности работы технологического оборудования и обслуживающего персонала вводить несколько групп ключевых показателей эффективности (КПЭ) (табл. 2) [6, 7].

Таблица 2

Описание КПЭ

КПЭ	Описание показателя	Формула
Коэффициент загрузки (K_3)	Доля машинного времени по отношению к фонду работы оборудования	$K_3 = T_{маш} / T_{фонд}$
Коэффициент производственной загрузки ($K_{3П}$)	Доля времени производства и производственного простоя по отношению к фонду работы оборудования	$K_{3П} = \frac{(T_{маш} + T_{прос.пр})}{T_{фонд}}$
ОЕЕ индекс	Общая эффективность использования оборудования	$OEE = A_э \cdot P (Q=1)$
НЕЕ индекс	Чистая эффективность использования оборудования	$NEE = A_{п} \cdot P (Q=1)$
Эксплуатационная готовность ($A_э$)	Доля машинного времени по отношению ко времени, когда станок включен	$A_э = T_{маш} / T_{вкл}$
Производительность (P)	Соотношение между чистым и полным машинным временем	$P = T_{маш.ч} / T_{маш}$
Производственная готовность ($A_{п}$)	Доля времени производства и производственного простоя по отношению ко времени, когда станок включен	$A_{п} = \frac{(T_{маш} + T_{прос.пр})}{T_{вкл}}$

Окончание табл. 2

Коэффициент готовности (K_G)	Оценивает доступное время для производства продукции. Может использоваться для оценки качества работы сервисных служб	$K_G = \frac{(T_{фонд} - T_{ндв})}{T_{фонд}},$ где: $T_{ндв}$ – недоступное время
Коэффициент потерь оператора ($K_{по}$)	Потери времени, зависящие непосредственно от оператора	$K_{по} = T_{прос.нр} / T_{фонд},$ где: $T_{прос.нр}$ – нерегламентированный простой
Коэффициент доступности (A)	Потери времени из-за простоев оборудования	$A = T_{маш} / T_{фонд}$
Коэффициент качества (Q)	Потери времени на изготовление бракованной продукции	$Q = \frac{(T_{маш} - T_{брак})}{T_{маш}}$
Коэффициент производительности (P)	Соотношение между чистым и полным машинным временем	$P = T_{маш.ч} / T_{маш}$
Общая эффективность оборудования (OEE)	Эффективность использования оборудования, учитывает потери времени из-за простоев оборудования, потери в скорости работы оборудования	$OEE = A \cdot P \cdot Q$

АИС «Диспетчер» позволяет производить регулярный импорт и экспорт данных из внешней системы посредством использования xml-файлов. Экспорт данных может производиться по расписанию, с заданной периодичностью или в реальном времени. Для экспорта данных за определенный промежуток времени доступны следующие группы: данные мониторинга (по состояниям и причинам простоя); данные журналов (выполнения технологических операций, учета работы персонала, выполнения файлов управляющих программ); планирование (сменные задания) [6, 7].

Также АИС «Диспетчер» предлагает опцию «Генератор отчетов» [6, 7], которая позволяет создавать отчеты, основанные на накопленной системой мониторинга информации о длительности контролируемых состояний станочного оборудования. Генератор отчетов предусматривает подготовку отчетов за произвольные промежутки времени и перевод данных отчетов в формат Microsoft Excel. При помощи использования функции составного отчета-шаблона

можно формировать отчетные данные в файлы Excel в формате, необходимом для загрузки данных в имитационную модель.

Полученные из АИС «Диспетчер» xml-файлы и файлы формата Excel с необходимыми данными для моделирования могут быть загружены в имитационную модель. Тогда комплексный отчет по изготовлению деталей, полученный из MDC-системы, содержащий штучное время технологической операции, может быть представлен в виде, приведенном на рисунке 3.

Наименование	Итог			
	План (шт)	Факт (шт)	Тшт (час)	Тпрост (час)
Корпус				
операция 05				
операция 10				
операция 15				
операция 20			0,60	
операция 25			0,98	
операция 30			0,38	
операция 35			0,92	
операция 40			0,52	
операция 45				
Завихритель				
операция 05				
операция 10			0,25	
операция 15			0,17	
операция 20			0,25	
операция 25			0,20	
операция 30			0,50	
операция 35			1,75	
операция 40			0,50	
операция 45				
Форсунка				
операция 05				
операция 10			1,17	
операция 15				
Втулка Форсунки				
операция 05				
операция 10			0,13	
операция 15			0,07	
операция 20			0,05	
операция 25			1,00	
операция 30				

Рис. 3. Комплексный отчет по изготовлению деталей

Заключение

Таким образом, концепция интеграции MDC-системы и системы имитационного моделирования состоит из описания информационных потоков и элементов производственного участка (цеха) (рис. 1-3), необходимой аналитики (табл. 1, 2), а также из программы-конвертера передачи данных из АИС «Диспетчер» в имитационную модель.

В заключение необходимо отметить, что интеграция MDC-системы и системы имитационного моделирования позволит повысить эффективность работы цеха благодаря установлению причин

простоя оборудования и нахождению путей их сокращения, что позволит увеличить прибыль предприятия.

Литература

1. Кокарева В. В., Смелов В. Г., Шитарев И. Л. Имитационное моделирование производственных процессов в рамках концепции «бережливого производства» // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). 2012. № 3-3 (34). С. 131-136.

2. Проничев Н. Д., Смелов В. Г., Кокарева В. В., Малыхин А. Н. Имитационное моделирование производственной системы механообрабатывающего цеха // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6-4. С. 937-943.

3. Барвинок В. А., Смелов В. Г., Кокарева В. В., Малыхин А. Н. Построение «умного» производства на базе аддитивных технологий // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2014. № 4. С. 142-149.

4. Ведунов А. А., Кокарева В. В., Фомина В. Д. Визуальное управление цехом с помощью Tecnomatix Plant Simulation // Наука и инновации в технических университетах: Материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2016. С. 121-123.

5. Ковалева А. М., Калакова Е. С., Кокарева В. В., Чертыковцев П. А. Планирование и диспетчеризация работы механообрабатывающих участков // Проблемы и перспективы развития двигателестроения: сборник докладов Международной научно-технической конференции. Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, 2021. Т. 1. С. 260-261.

6. Официальный сайт системы мониторинга промышленного оборудования «Диспетчер». URL: <https://www.intechnology.ru>.

7. Сайдуллин Р. М., Чуранов С. А. Системы мониторинга «Диспетчер» как элемент повышения степени использования оборудования и эффективности персонала // Автоматизация в промышленности. 2018. № 5. С. 16-22.

8. Чуранов С., Туманов А., Каткова А. Диагностика технического состояния производственного оборудования // Станкоинструмент. 2019. № 1 (14). С. 96-102.

9. Каткова А. А. Ключевые показатели эффективности в оценке работы производства // Инновационные технологии в науке и образовании. 2016. № 2 (6). С. 271-273.

Статья поступила в редакцию 02.12.22г.

*Рекомендуется к опубликованию членом Экспертного совета
д-ром техн. наук, проф. И. Н. Хаймович*