

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 ЦЕХА<sup>1</sup>

*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.

---

<sup>1</sup> 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.

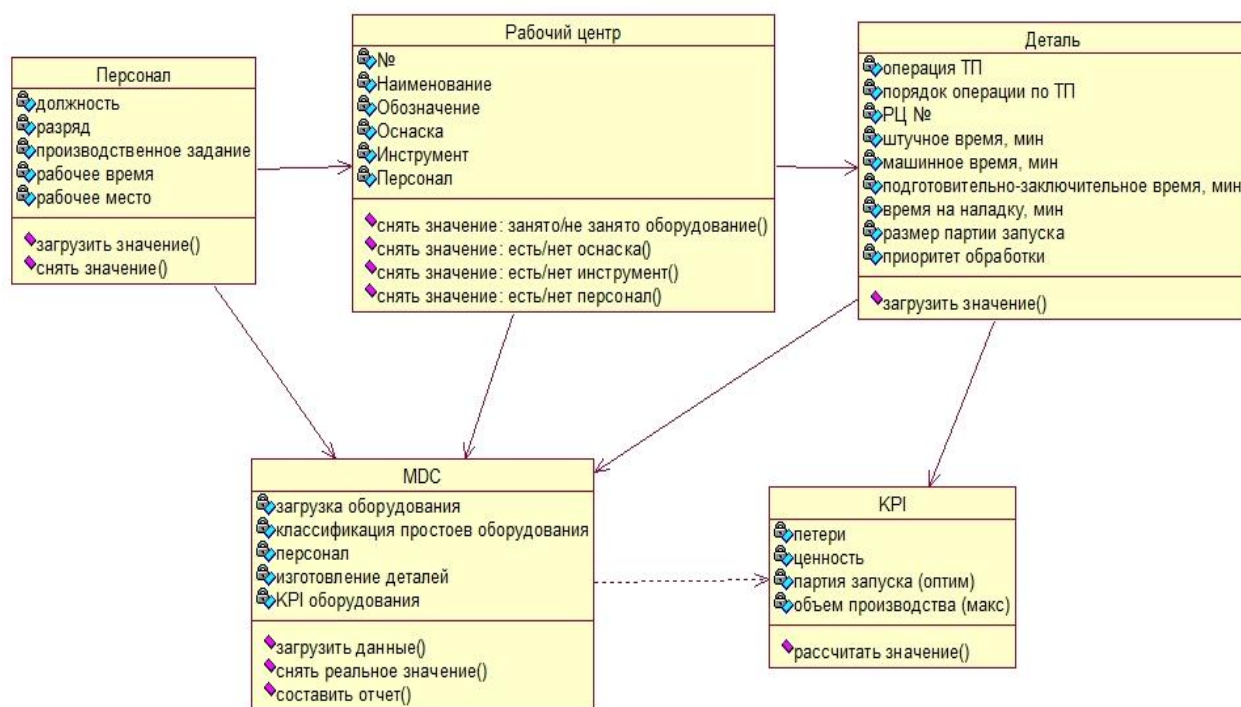


Рис. 1. Диаграмма классов

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	$K_{3П} = \frac{(T_{маш} + T_{прос.пр})}{T_{фонд}}$
OEE индекс	Общая эффективность использования оборудования	$OEE = A_э \cdot P (Q=1)$
NEE 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)
<b>Корпус</b>				
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				
<b>Завихритель</b>				
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				
<b>Форсунка</b>				
операция 05				
операция 10			1,17	
операция 15				
<b>Втулка Форсунки</b>				
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*