KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

ПОД ЭГИДОЙ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УЧРЕДИТЕЛЬ КАБИНЕТ МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

летай
Сервисы для жизни

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Тематическое направление: «Интеллектуальные транспортные системы»

Thematic areas: «Intelligent Transport Systems»

Казань, 2022

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Доцент ДИТиА, к.т.н. Уральский федеральный университет

Assistant prof., PhD, Ural Federal University

Аксенов Константин Александрович

Aksyonov Konstantin

Разработка гибридных систем имитационно-мультиагентного моделирования процессов преобразования ресурсов

Development of hybrid simulation and multi agent system of resources conversion processes

Специфика предметной области

ПРОЦЕССЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ (МППР):
- бизнес-процессы;
- производственные процессы;
- организационно-технические системы.

Особенности процессов преобразования

- Сложность структуры и алгоритмов поведения.
- Многопараметричность.
- Иерархичность.
- Вероятностное поведение.
- Сценарии решения организационных задач.

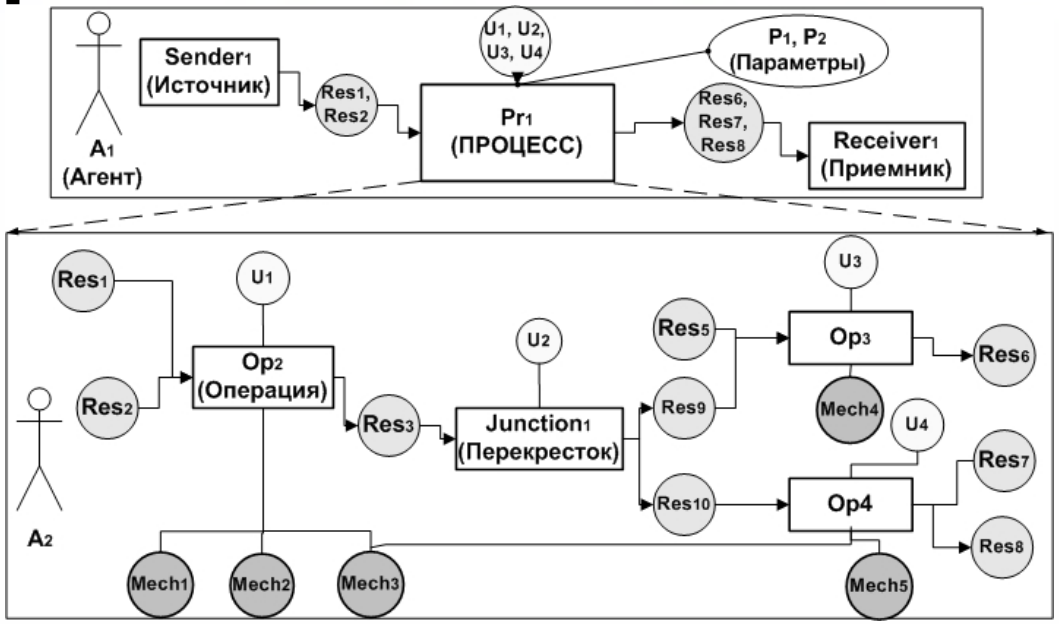
Специфика предметной области МППР

- **Ресурс** — количественная мера возможности выполнения какой-либо деятельности. Ресурс — то, что можно использовать, тратить; возможная продолжительность эксплуатации машины.
- ***Потребляемые ресурсы (входы)*** – ресурсы, которые используются в процессе только один раз.
- ***Средства*** не потребляются, а используются в процессе преобразования, они не уменьшаются в процессе их использования.
- ***Выходы*** формируются в процессе преобразования.
- ***Операция*** непрерывная или дискретная выполняет преобразования входа в выход. Преобразование осуществляется с помощью средств.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Правила разработки имитационных моделей МППР



Мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР)

Специфика моделирования производственных процессов диктует следующие правила разработки имитационной модели МППР.

- Ограничение по объему потребляемых ресурсов.
- Ограничение по объему используемых средств.
- Необходимость применения «выталкивающей» стратегии обработки объектов «первым пришел – первым вышел»).
- Использование параллельного во времени выполнения этапов разных работ по производству единиц продукции.

Решение задачи анализа узких мест и модификации (синтеза) модели МППР

Требования.

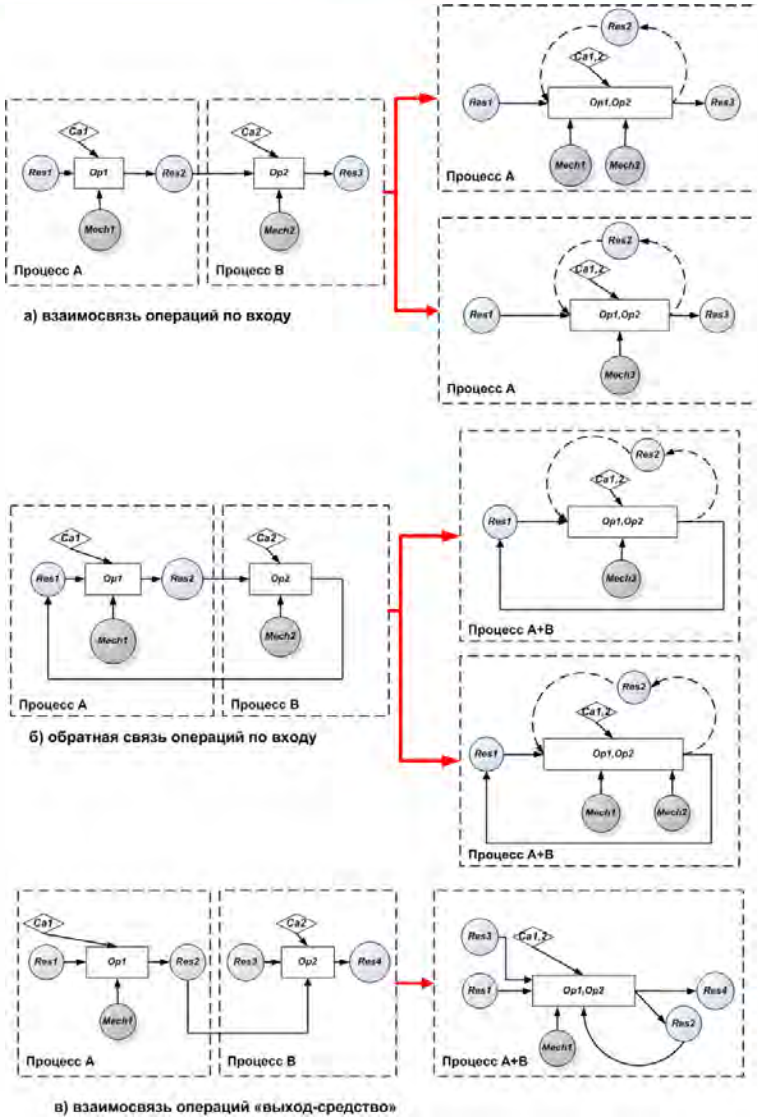
- Решение задачи анализа узких мест мультиагентной модели ППР;
- Наличие средств свертки/развертки модели;
- Результаты анализа модели должны быть понятны пользователю.

Теоретической основа – **операционный анализ вероятностных сетей**. Соответствие элементов МППР и СМО:

- Каналы обслуживания – операции и правила агентов
- Требования – заявки и ресурсы
- Устройства (приборы обслуживания) - средства.

Анализируемые параметры модели МППР:

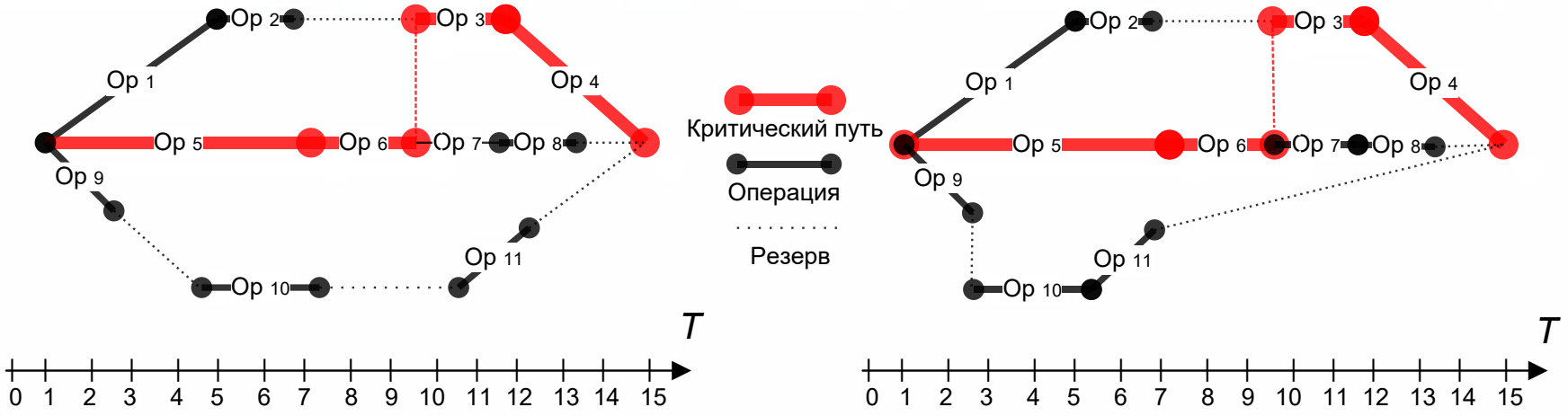
- коэффициент использования операции U_{Op_cp}, средства U_{Mech_cp}, агента $_{UAg_cp}$;
- средняя длительность нахождения заявки в очереди к операции, агенту (размер очереди заявок к операции Q_{Op_cp})
- простой операции из-за отсутствия средств P_{MechOp}
- простой операции из-за отсутствия входных ресурсов P_{ResOp}.



ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Принципы построения имитационных моделей



а) применение метода критического пути

б) применение модели МППР с выталкивающей стратегией

- классификация всех операций по трём типам приоритетов: 1)высокий - для операций критического пути; 2) средний - для операций, предшествующих операциям критического пути; 3) низкий - для остальных операций;
- применение моделей субподряда позволяет снять узкие места на средствах;
- применение "выталкивающей" стратегии при моделировании проектных работ (FIFO) и алгоритмов балансировки средств.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Программный комплекс BPsim

Simulation (Имитация) - версия Preved Edition

Общие Справочники Модель Вид Проигрывание О программе

Оконное предприятие
- Начальник отдела пр
  - Начальник отдела
- 1 Конкурент - 030К
  - 1 Агент - 030К
- 2 Конкурент Панарам
  - 2 конкурент - Пан
- 3 Конкурент СпецРем
  - 3 Конкурент Спец
- 4 Конкурент Арт-лайн
  - 4 Конкурент Арт-
- 5 конкурент - Стекло
  - 5 конкурент - Сте
- 6 конкурент - Арсена.
  - 6 конкурент - Арс
- 7 Конкурент Спецпла
  - 7 Конкурент Спец
- 8 Конкурент - Светоп.
  - 8 Конкурент - Све
- 9 Конкурент - Ирбис
  - 9 Конкурент - Ирб
- 0 Расчет текущего об
  - Агент расчитывае

миниатюра | результаты

Оконное предприятие

Начальник отдела продаж 2А

0 Расчет текущего объем продаж по всему рынку м2

подсчет V м2 на день у каждого конкурента

1 Конкурент - 030К

2 Конкурент Пана

3 Конкурент Спец

4 Конкурент Арт-

5 конкурент - Сте

6 конкурент - Арс

7 Конкурент Спе

8 Конкурент - Св

Редактирование узла модели "Начальник отдела продаж 2А[a162]

Основное | Модель Агента

Диагностирование ситуаций | Цели агента (0)

№	ИМЯ СИТУАЦИИ	IF	THEN	ЕКСТОВОЕ
1	уменьшение цены в начальный	(t=0)	(fRes60:=fRes58)	уменьшен
2	1/изменение цены	((t>0)&((t$7)=0)&((fRes58-fRes56)>	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(5	если мом
2	2/изменение цены - резко, в т	((t>0)&((t$7)=0)&((fRes58-fRes56)>	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(2	если мом
2	3/изменение цены - резко, в т	((t>0)&((t$7)=0)&((fRes58-fRes56)>	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(1	если мом
2	4/изменение цены - на увелич	((t>0)&((t$7)=0)&((fRes58-fRes56)>	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58+500)&(iRe	если мом
2	4/изменение цены - на увелич	((t>0)&((t$7)=0)&((fRes58-fRes56)>	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-500)&(iRe	если мом
2	5/изменение цены - резко, в т	((t>0)&((t$7)=0)&(fRes58>4350))	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(2	если мом
2	6/изменение цены - резко, в т	((t>0)&((t$6)=0)&(fRes58>4350))	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(2	если мом
2	7/изм.цены-резко, в течение к	((t>0)&((t$6)=0)&(fRes58>4200))	(fRes60:=fRes58)&(fRes58:=fRes58-random(1	если мом
3	4/изменение цены - на увелич	((t>0)&((t$7)=0)&(iRes161=2))	(iRes161:=1)	

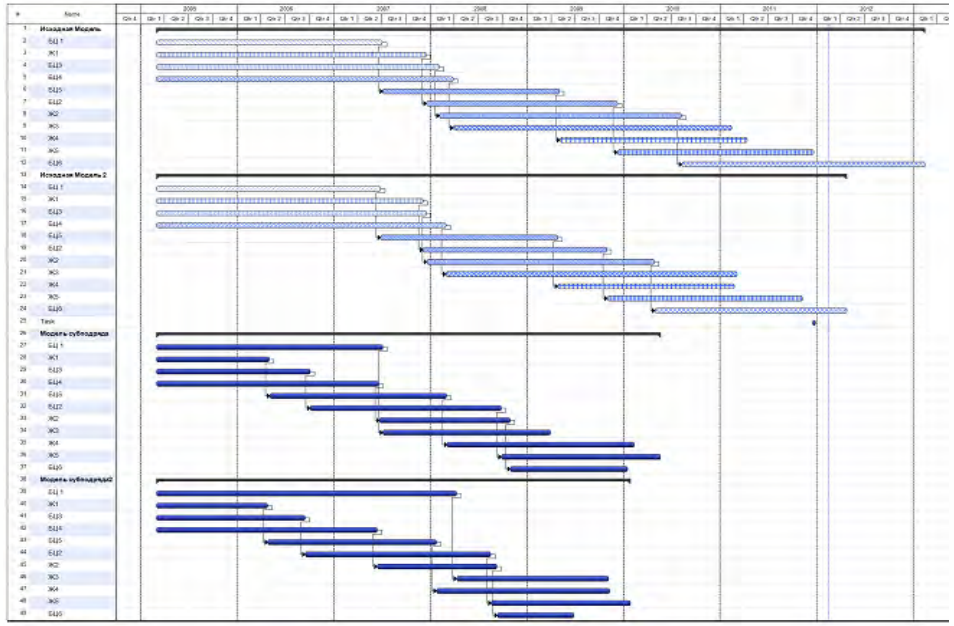
☑ Участвует в имитации

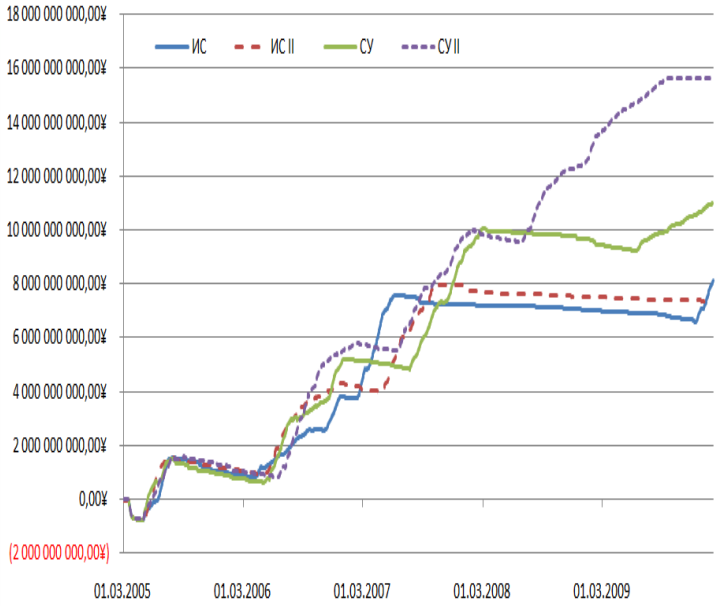
Применить

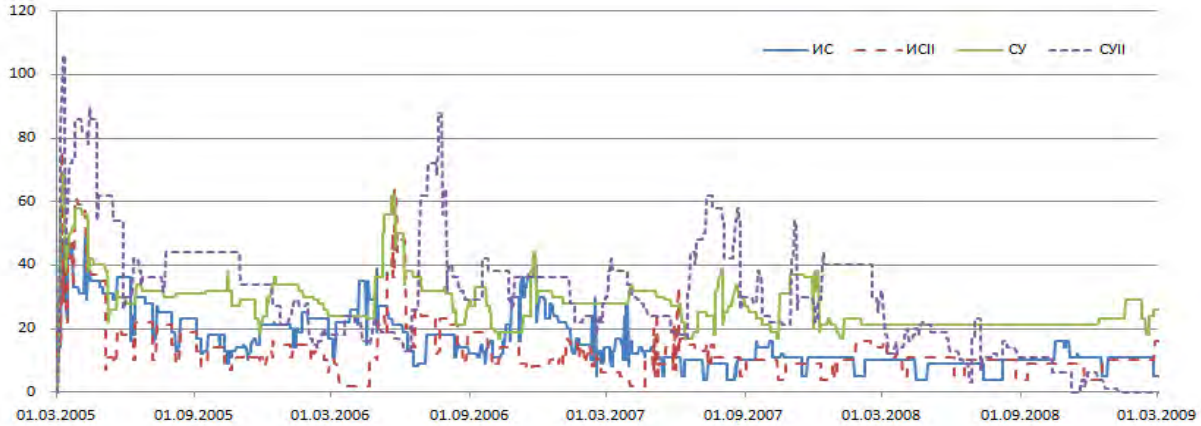
ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

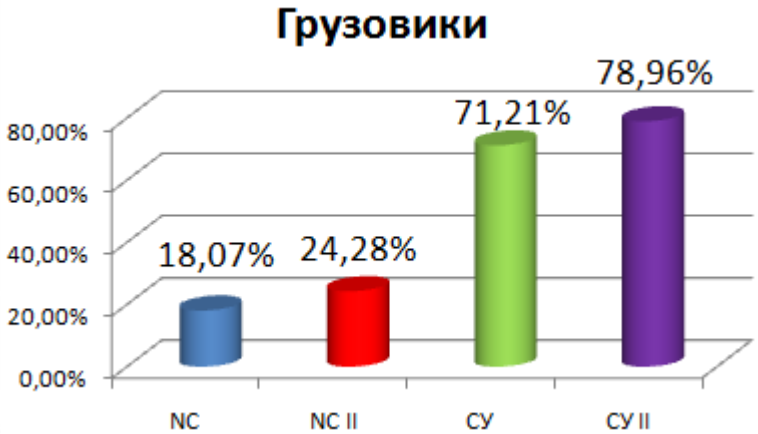
KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

BPsim. Применение реактивно-интеллектуальных агентов субподряда.





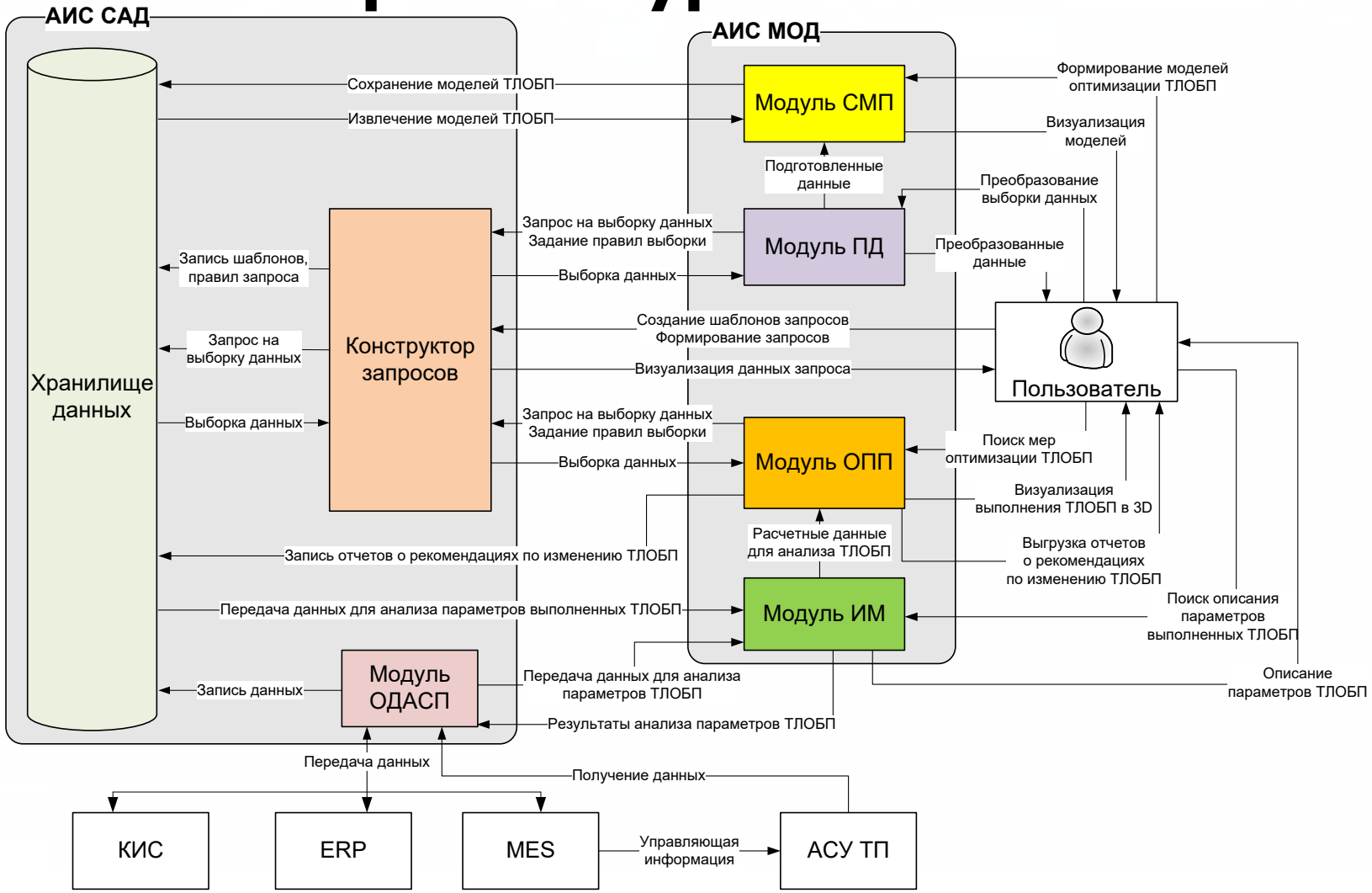




ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

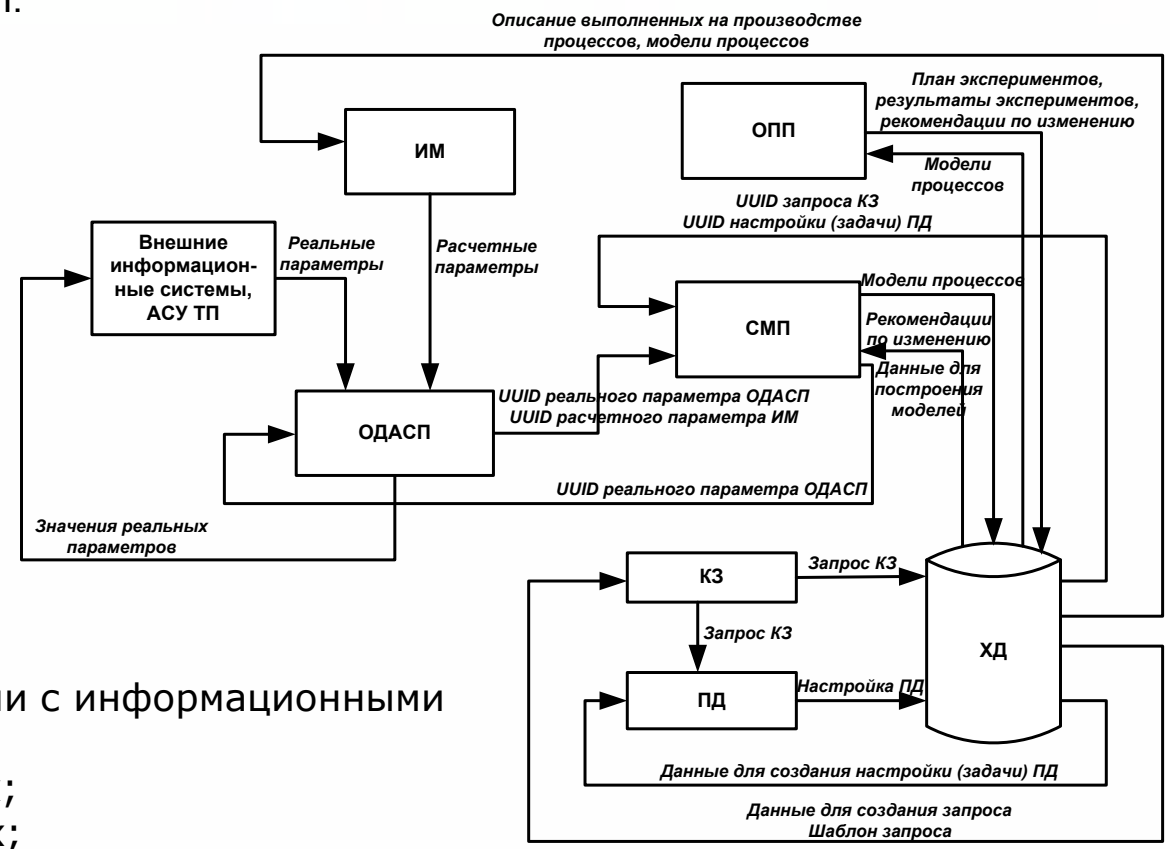
KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Архитектура АС ВМП



Взаимодействие АС ВМП с информационными системами предприятия

Основные функции модуля ОДАСП:
1) получение данных от АСУ ТП;
2) получение данных от КИС, MES, ERP-систем;
3) выдачу данных в КИС, MES, ERP-системы;
4) запись данных в ХД.



ОДАСП - Модуль обмена данными с информационными системами предприятия
ХД – Модуль хранилище данных;
ПД – Модуль подготовки данных;
СМП - Модуль создания моделей технологических, логистических и бизнес-процессов;
ОПП - Модуль оптимизации процессов предприятия;
ИМ - Модуль интеграции моделей.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Интерфейс АС ВМП. Конструктор запросов

Конструктор запросов

Выполнить | Проверить

Запрос: "Новый запрос"

```
1  [caption='Единица продукции']{<name:'Название ЕП'>},
2  [caption='Время создания ЕП']{<name:'Дата создания ЕП'>},
3  [caption=' ДВ начала плавки на конвертере']{<name:'ДВ начала плавки на конвертере'>},
4  [caption=' ДВ окончания плавки']{<name:'ДВ окончания плавки'>},
5  [caption='Номер Конвертера']{<name:'Номер Конвертера'>},
6  [caption=' ДВ начала обработки на УДМ']{<name:'ДВ начала обработки на УДМ'>},
7  [caption=' ДВ окончания обработки на УДМ']{<name:'ДВ окончания обработки на УДМ'>},
8  [caption=' ДВ конца обработки УПК']{<name:'ДВ конца обработки УПК'>},
9  [caption=' ДВ начала обработки']{<name:'ДВ начала обработки'>},
10 [caption='Номер Позиции УПК']{<name:'Номер Позиции УПК'>},
11 [caption='Номер сталь-ковша']{<name:'Номер сталь-ковша'>},
12 [caption='Признак обработки на УПК']{<name:'Признак обработки на УПК'>},
13 [caption=' ДВ начала разливки (учетное)']{<name:'ДВ начала разливки (учетное)'>},
14 [caption=' ДВ окончание разливки (учетное)']{<name:'ДВ окончание разливки (учетное)'>},
15 [caption='Номер УНРС, номер']{<name:'Номер УНРС, номер'>},
16 плавка,
17 {"тестовый набор данных"== 11}
```

Результат выполнения

Сохранить в ХД

Единица продукци	Время создания ЕП	ДВ начала плавки на конве	ДВ окончания плавки	Номер Конверте	ДВ начала обработки на УДМ	ДВ окончания обр	ДВ конца обработ	ДВ начала обрабо	Номер Позиции УП	Номер сталь-ковш	Признак обработк	ДВ начала разливі	ДВ окончание разливки	Номер УНРС, номер
Плавка-240387	Sat May 09 00:00...	Sat May 09 00:00:00 MSK...	Sat May 09 00:18:46 MSK...	3.0	Sat May 09 00:36:19 MSK 2015	Sat May 09 00:5...	Sat May 09 01:1...	Sat May 09 01:5...	4.0	4.0	1.0	Sat May 09 02:1...	Sat May 09 02:40:46 ...	2.0
Плавка-241125	Thu May 07 00:00...	Thu May 07 00:00:00 MS...	Thu May 07 00:30:16 MS...	5.0	Thu May 07 00:50:22 MSK 2015	Thu May 07 01:...	Thu May 07 01:...	Thu May 07 02:...	1.0	3.0	1.0	Thu May 07 02:...	Thu May 07 03:02:38 ...	1.0
Плавка-241097	Sun May 10 00:00...	Sun May 10 00:00:00 MS...	Sun May 10 00:19:33 MS...	2.0	Sun May 10 00:44:11 MSK 2015	Sun May 10 01:...	Sun May 10 01:...	Sun May 10 01:...	5.0	5.0	1.0	Sun May 10 02:...	Sun May 10 02:58:03 ...	1.0
Плавка-240559	Mon May 04 00:0...	Mon May 04 00:00:00 MS...	Mon May 04 00:27:11 MS...	4.0	Mon May 04 00:54:42 MSK 2015	Mon May 04 01:...	Mon May 04 01:...	Mon May 04 02:...	3.0	2.0	1.0	Mon May 04 02:...	Mon May 04 03:03:14...	5.0
Плавка-240965	Fri May 08 00:00:...	Fri May 08 00:00:00 MSK ...	Fri May 08 00:24:26 MSK ...	3.0	Fri May 08 00:48:52 MSK 2015	Fri May 08 01:2...	Fri May 08 01:4...	Fri May 08 02:1...	3.0	2.0	1.0	Fri May 08 02:4...	Fri May 08 03:14:21 ...	3.0
Плавка-240852	Wed May 13 00:0...	Wed May 13 00:00:00 MS...	Wed May 13 00:18:48 MS...	2.0	Wed May 13 00:40:25 MSK 2015	Wed May 13 01:...	Wed May 13 01:...	Wed May 13 01:...	1.0	1.0	1.0	Wed May 13 02:...	Wed May 13 02:21:5...	5.0
Плавка-240378	Sun May 10 00:00...	Sun May 10 00:00:00 MS...	Sun May 10 00:28:41 MS...	4.0	Sun May 10 01:00:28 MSK 2015	Sun May 10 01:...		Sun May 10 01:...		2.0		Sun May 10 02:...	Sun May 10 02:49:12 ...	5.0
Плавка-240471	Tue May 05 00:00...	Tue May 05 00:00:00 MS...	Tue May 05 00:18:22 MS...	5.0	Tue May 05 00:51:19 MSK 2015	Tue May 05 01:...	Tue May 05 01:...	Tue May 05 02:...	4.0	3.0	1.0	Tue May 05 02:...	Tue May 05 02:53:11 ...	4.0
Плавка-240504	Mon May 11 00:0...	Mon May 11 00:00:00 MS...	Mon May 11 00:25:32 MS...	1.0	Mon May 11 00:56:42 MSK 2015	Mon May 11 01:...	Mon May 11 01:...	Mon May 11 02:...	5.0	4.0	1.0	Mon May 11 02:...	Mon May 11 02:59:59...	3.0
Плавка-240694	Wed May 06 00:0...	Wed May 06 00:00:00 MS...	Wed May 06 00:28:34 MS...	4.0	Wed May 06 00:58:39 MSK 2015	Wed May 06 01:...		Wed May 06 01:...		2.0		Wed May 06 02:...	Wed May 06 02:31:1...	4.0
Плавка-240950	Sun May 10 00:00...	Sun May 10 00:00:00 MS...	Sun May 10 00:29:48 MS...	5.0	Sun May 10 00:54:44 MSK 2015	Sun May 10 01:...		Sun May 10 01:...		3.0		Sun May 10 02:...	Sun May 10 02:36:57 ...	5.0
Плавка-241002	Tue May 05 00:00...	Tue May 05 00:00:00 MS...	Tue May 05 00:28:44 MS...	4.0	Tue May 05 00:52:23 MSK 2015	Tue May 05 01:...	Tue May 05 01:...	Tue May 05 02:...	5.0	2.0	1.0	Tue May 05 02:...	Tue May 05 02:38:54 ...	4.0

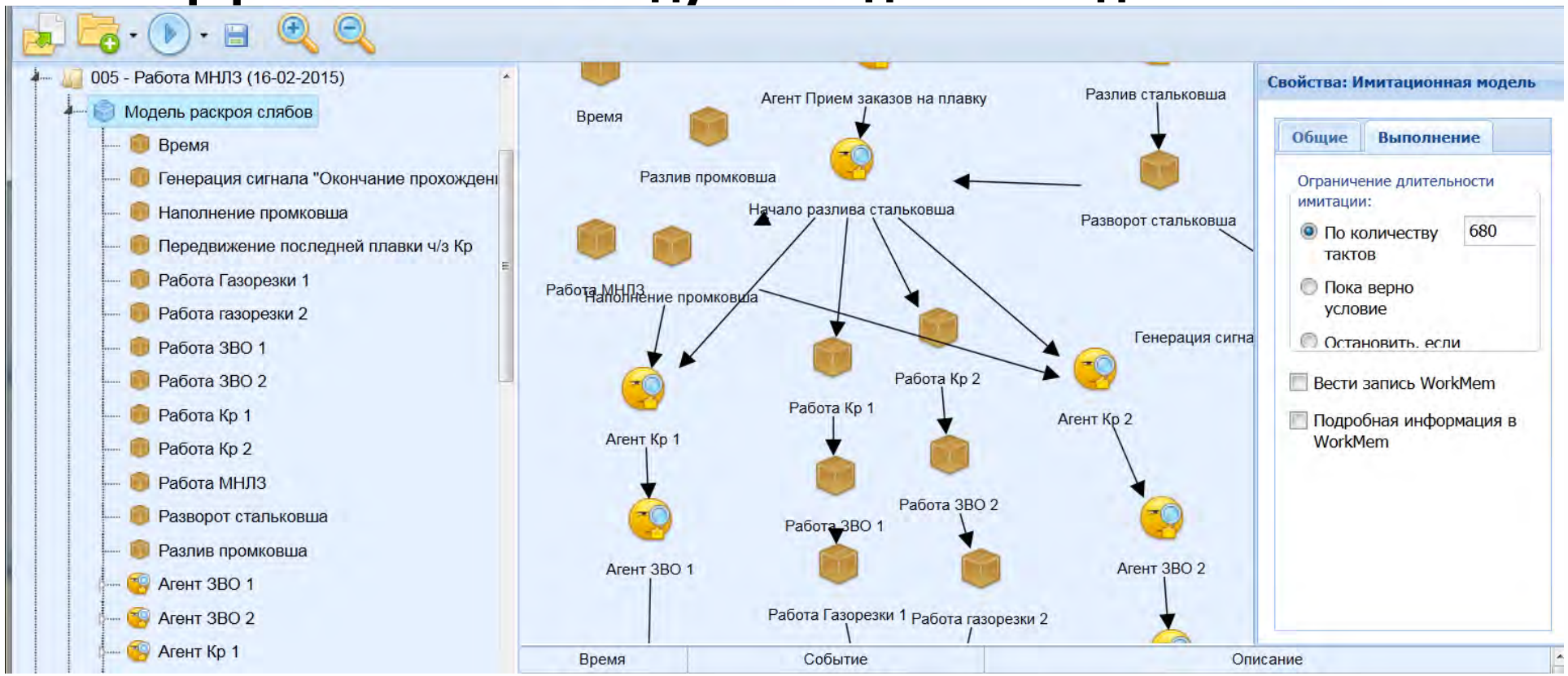
Конструктор запросов позволяет:

- конструирование запросов на выдачу данных о продукции, о технологических, логистических, организационных (бизнес) процессах без привлечения ИТ-специалистов;
- создание и запись шаблонов построенных запросов в хранилище данных;
- выполнение запросов на выдачу данных.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Интерфейс АС ВМП. Модуль создания моделей



Основные функции модуля СМП:

1) создание, модифицирование и запись в ХД моделей процессов, на основе web-интерфейса;
2) независимое от пользователя исполнение модели процесса в виде отдельного вычислительного процесса;
3) запуск и одновременное исполнение нескольких экземпляров моделей процессов;
4) согласование входных и выходных параметров модели процессов в модуле ИМ.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

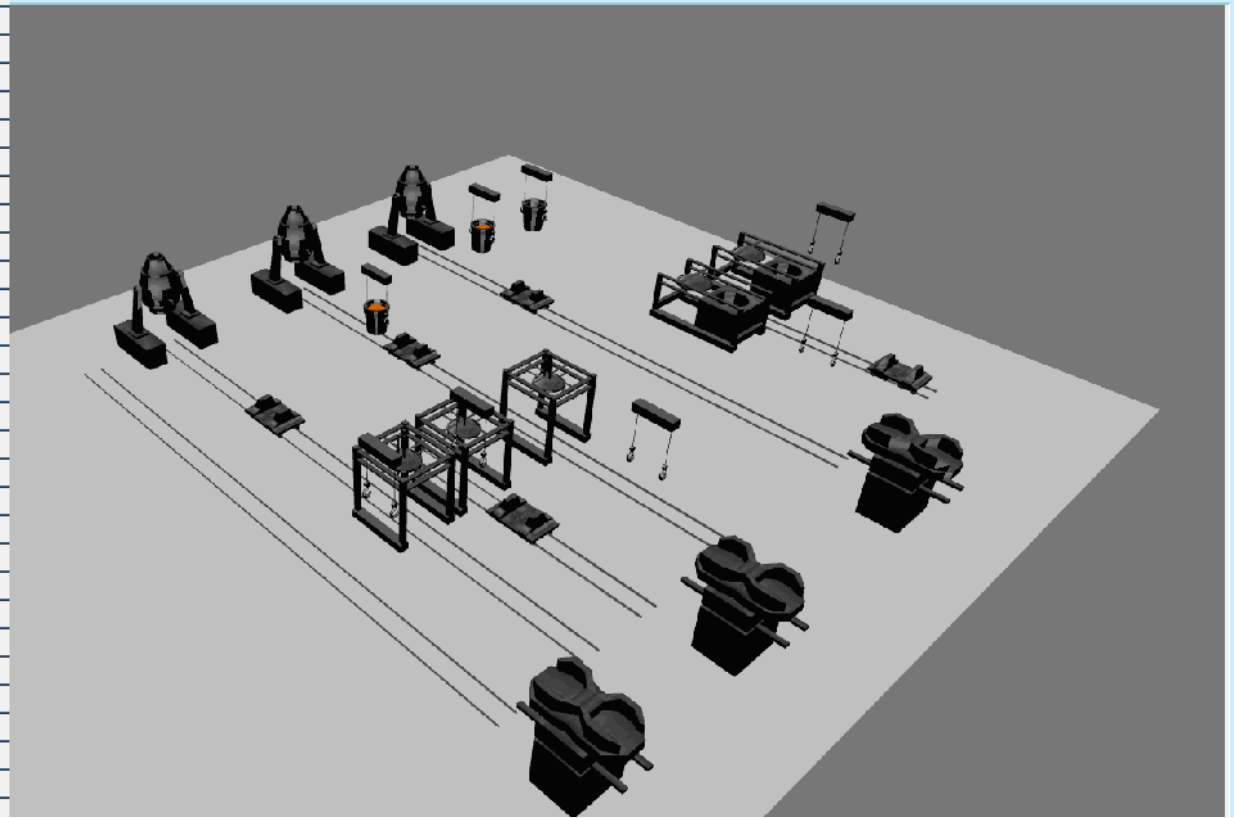
KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Интерфейс АС ВМП. Модуль оптимизации

К основным функциям модуля ОПП относятся следующие:
1) получение данных из модуля ИМ,
2) получение данных из модуля КЗ;
3) получение результатов обработки данных в модуле ПД;
4) получение значений параметров выполненных процессов при взаимодействии с модулем ОДАСП;
5) поиск решений на основе имитационного моделирования и МГО;
6) 3D-визуализация.

Результаты моделирования
О выполненных процессах
С рекомендациями

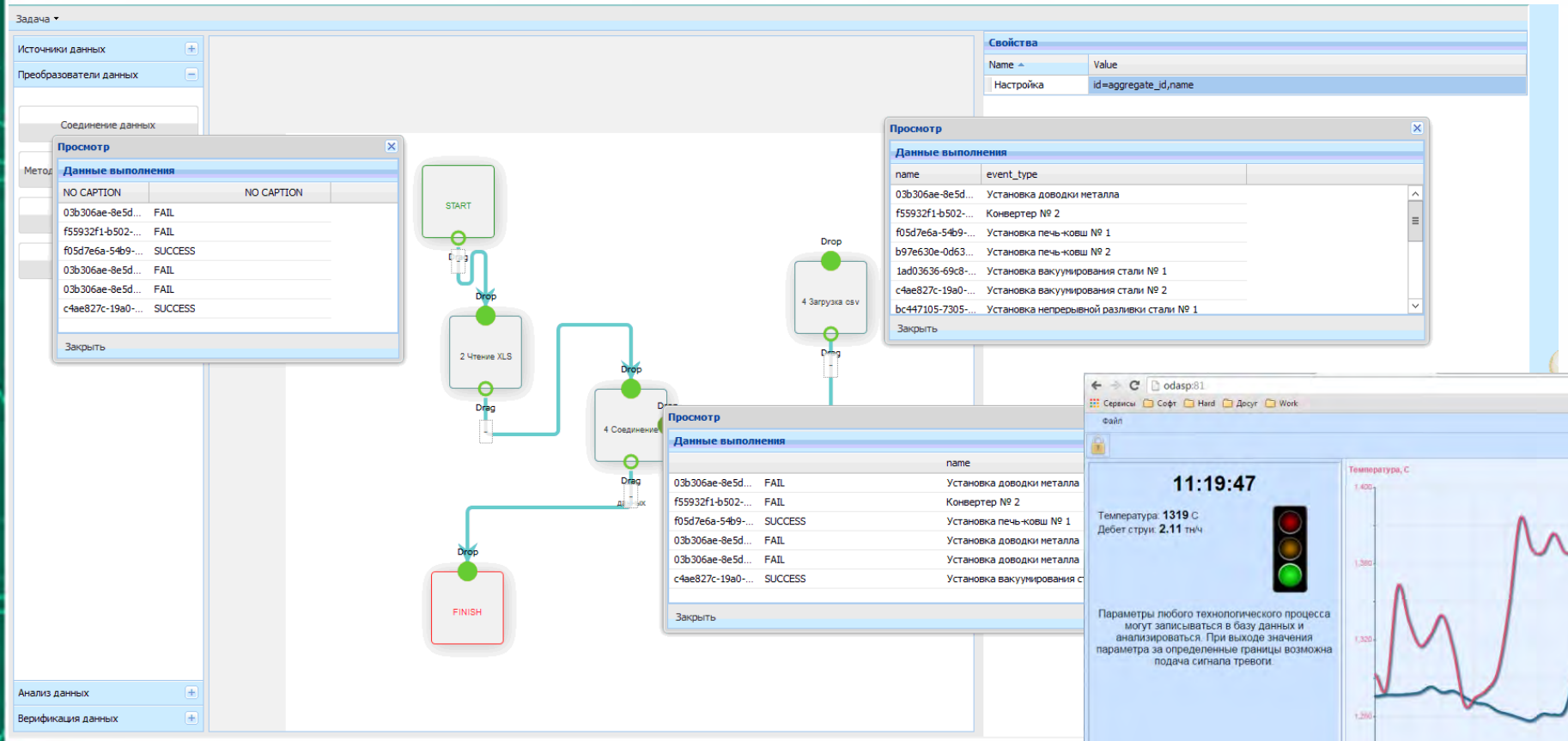
	нование Процесса	Время Начала	Время Окончания	Агрегат
		08:13:14	09:06:34	Конвертер № 1
	алла	09:06:34	09:57:34	Установка доводки металла
5101851	Разливка на УНРС	09:57:34	11:17:21	Установка непрерывной разливки стали № 5
5101837	Плавка	05:42:46	06:36:06	Конвертер № 1
5101837	Доводка металла	06:36:06	07:26:24	Установка доводки металла
5101837	Разливка на УНРС	07:26:24	08:41:07	Установка непрерывной разливки стали № 5
5101836	Плавка			
5101836	Доводка металла			
5101836	Разливка на УНРС			
5101835	Плавка			
5101835	Доводка металла			
5101835	Разливка на УНРС			
5101834	Плавка			
5101834	Доводка металла			
5101834	Разливка на УНРС			
5101833	Плавка			
5101833	Доводка металла			
5101833	Разливка на УНРС			
5101832	Плавка			
5101832	Доводка металла			
5101832	Разливка на УНРС			
5101831	Плавка			
5101831	Доводка металла			
5101831	Разливка на УНРС			
5101729	Плавка			
5101729	Доводка металла			
5101729	Разливка на УНРС			
5101728	Плавка			
5101728	Доводка металла			
5101728	Разливка на УНРС			
5101727	Плавка			
5101727	Доводка металла			
5101727	Разливка на УНРС			
5101726	Плавка			
5101726	Доводка металла			
5101726	Разливка на УНРС			



ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

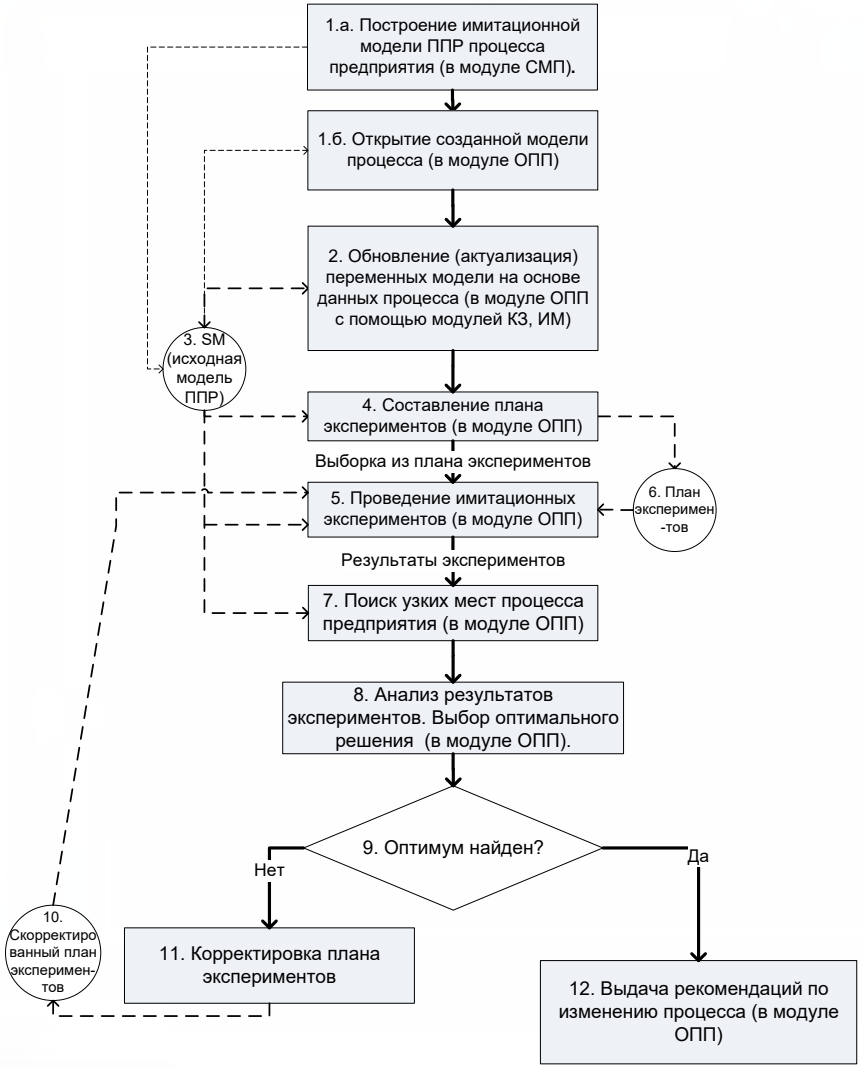
Модули подготовки данных и интеграции моделей



Функции модуля ИМ:

1) получение данных из модулей ОДАСП, КЗ, ПД, ХД;
2) анализ параметров выполненных процессов;
3) выдача результатов анализа в модуль ОДАСП.

Метод анализа и устранения узких мест процесса МППР



Основные этапы метода:

- Построение имитационной модели МППР в модуле создания моделей (СМП);
- Обновление значений переменных модели путем взаимодействия с модулем конструктор запросов (КЗ/ХД, данные из хранилища данных) и модулем интеграции моделей (данные реал-тайм);
- Составление плана экспериментов.
- Проведение экспериментов в модуле ОПП.
- Диагностика узких мест, при которой анализируются следующие параметры процесса: коэффициент использования операции, средства, агента; среднее время заявки в очереди к операции, агенту; простой операции из-за отсутствия средств и/или входных ресурсов.
- Принятие решения об изменении (синтезе) процесса МППР.

Совершенствование процессов логистики и производства

Одним из направлений повышения эффективности является оптимизация подачи плавок на конвертеры с целью увеличения количества плавок, разливаемых на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Решение логистической задачи передвижения стальковшей с металлом по агрегатам конвертерного цеха может быть эффективно найдено с использование дискретно-событийной имитационной модели.

Имитационная модель конверторного цеха позволит оценить количество обработанных плавок и максимальное время простоя стальковша в ожидании разлива на МНЛЗ (не должно превышать 18 минут).

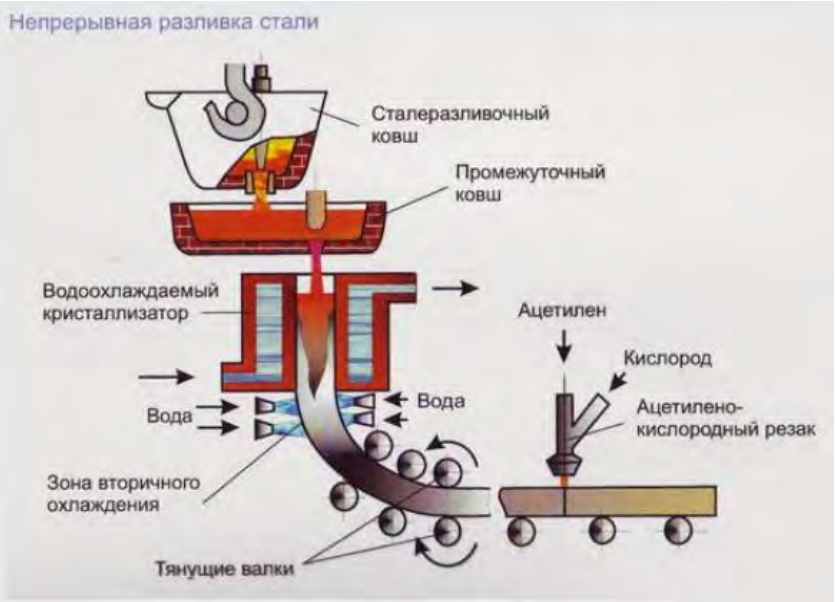
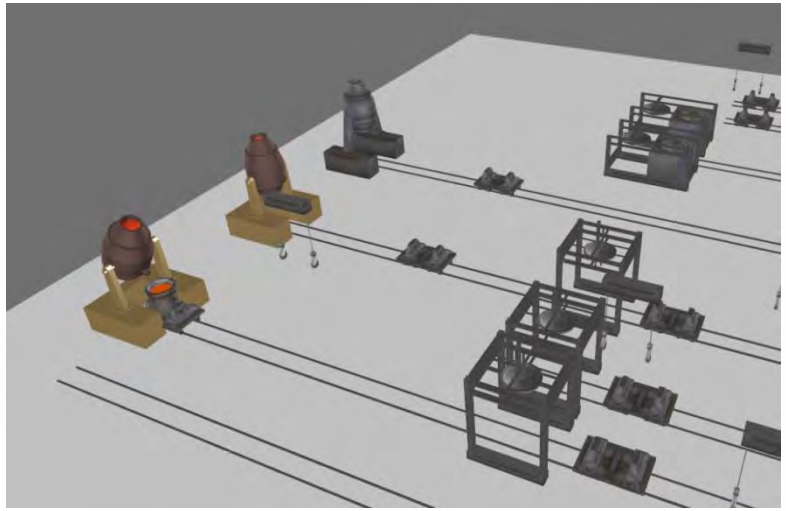
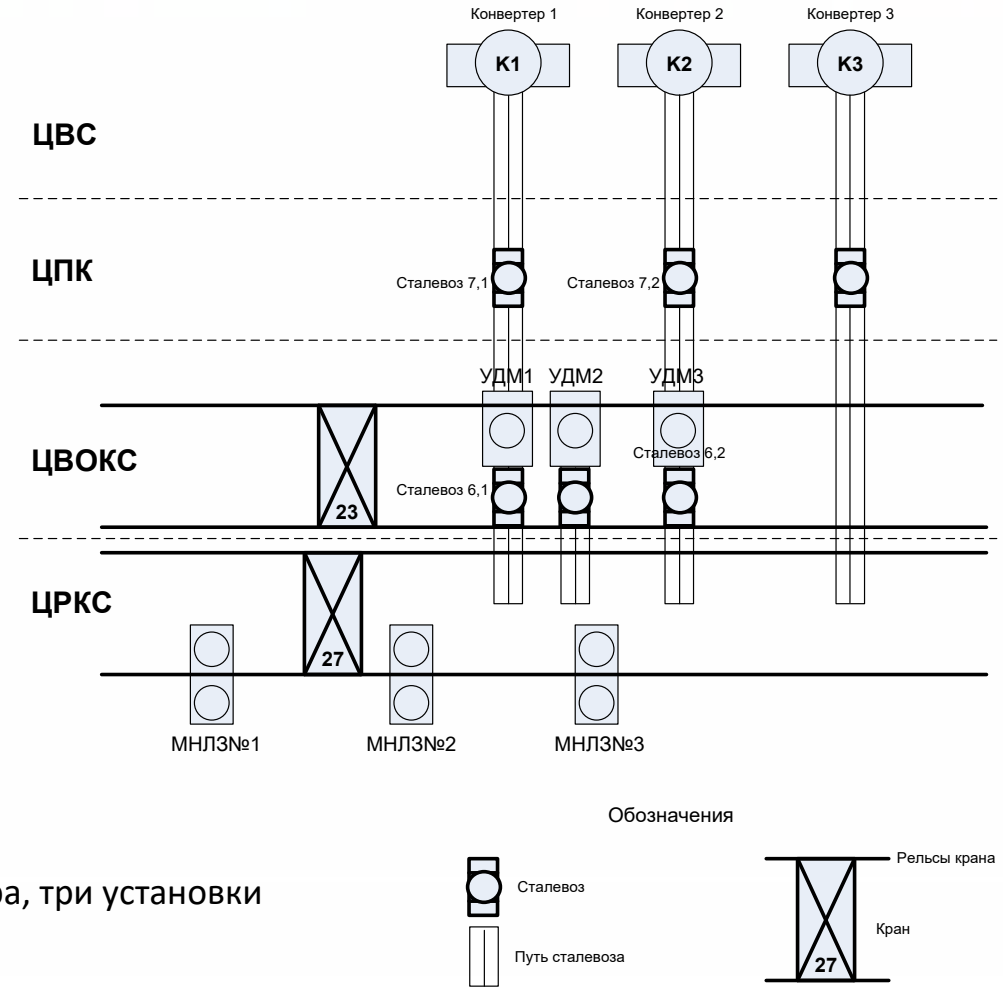


Схема кислородно-конвертерного цеха



ЦВС – Цех выплавки стали
ЦПК – Цех подготовки сталь-ковшей;
ЦВОКС – Цех внепечной обработки стали;
ЦРКС – Цех разливки конвертерной стали;
УДМ – Установка доводки металла;
МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовок.

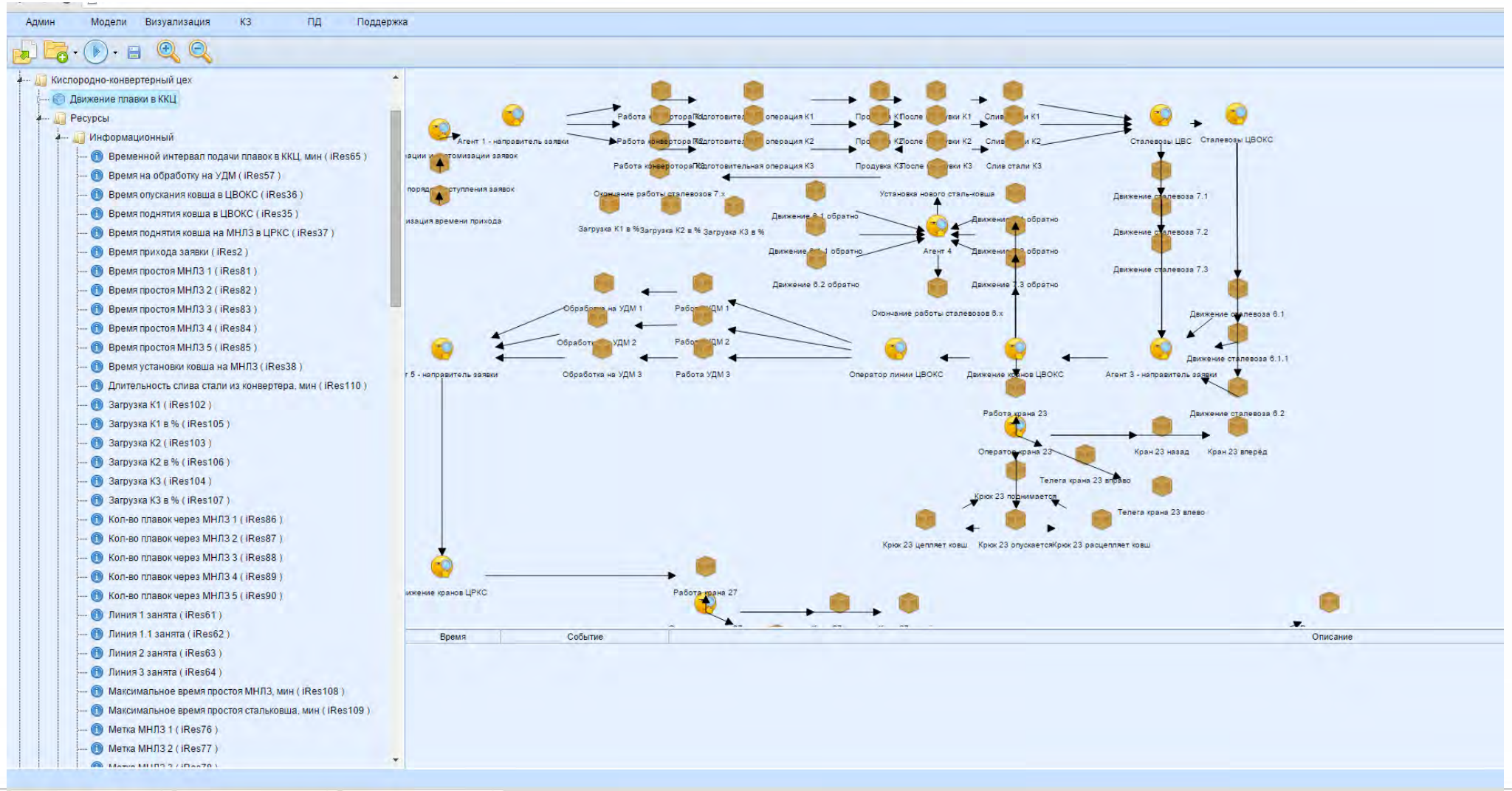


Конвертерный цех включает в себя следующие агрегаты: три конвертера, три установки доводки металла (УДМ), три машины непрерывного литья заготовок.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

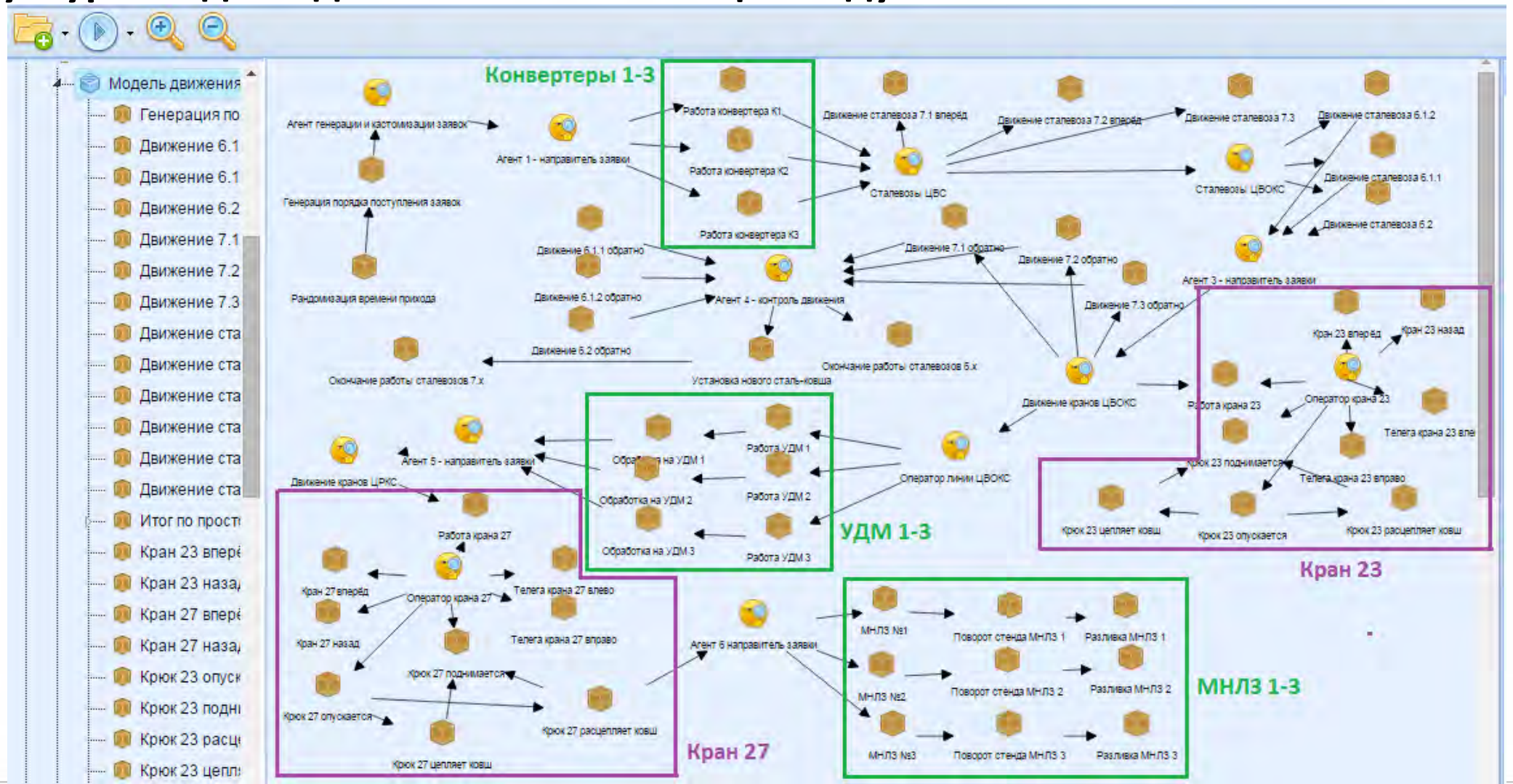
Модель работы кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) в АС ВМП



ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

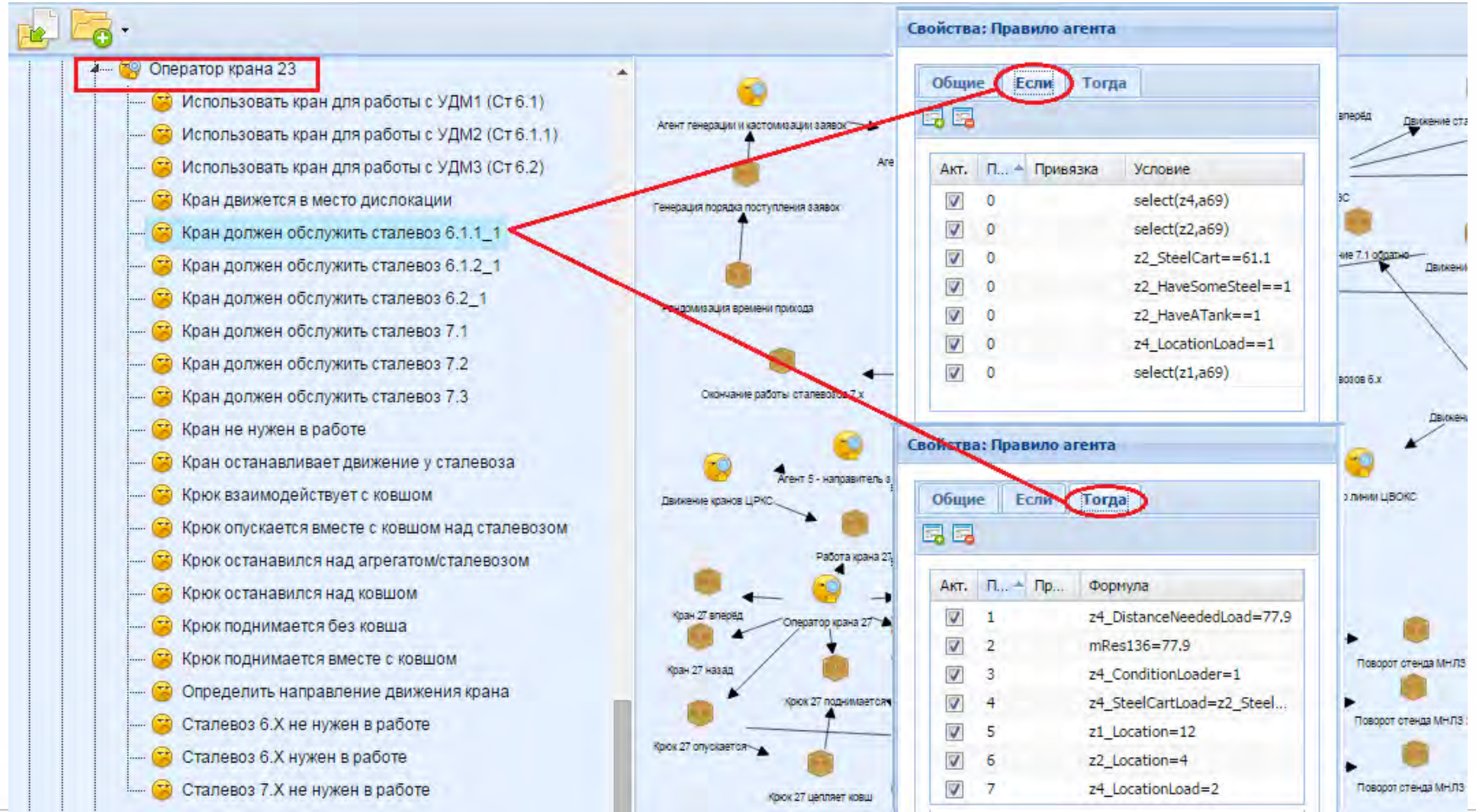
Структура модели движения плавки КЦ в модуле СМП системы АС ВМП



ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Описание взаимодействия кранов и сталевозов с помощью агентов



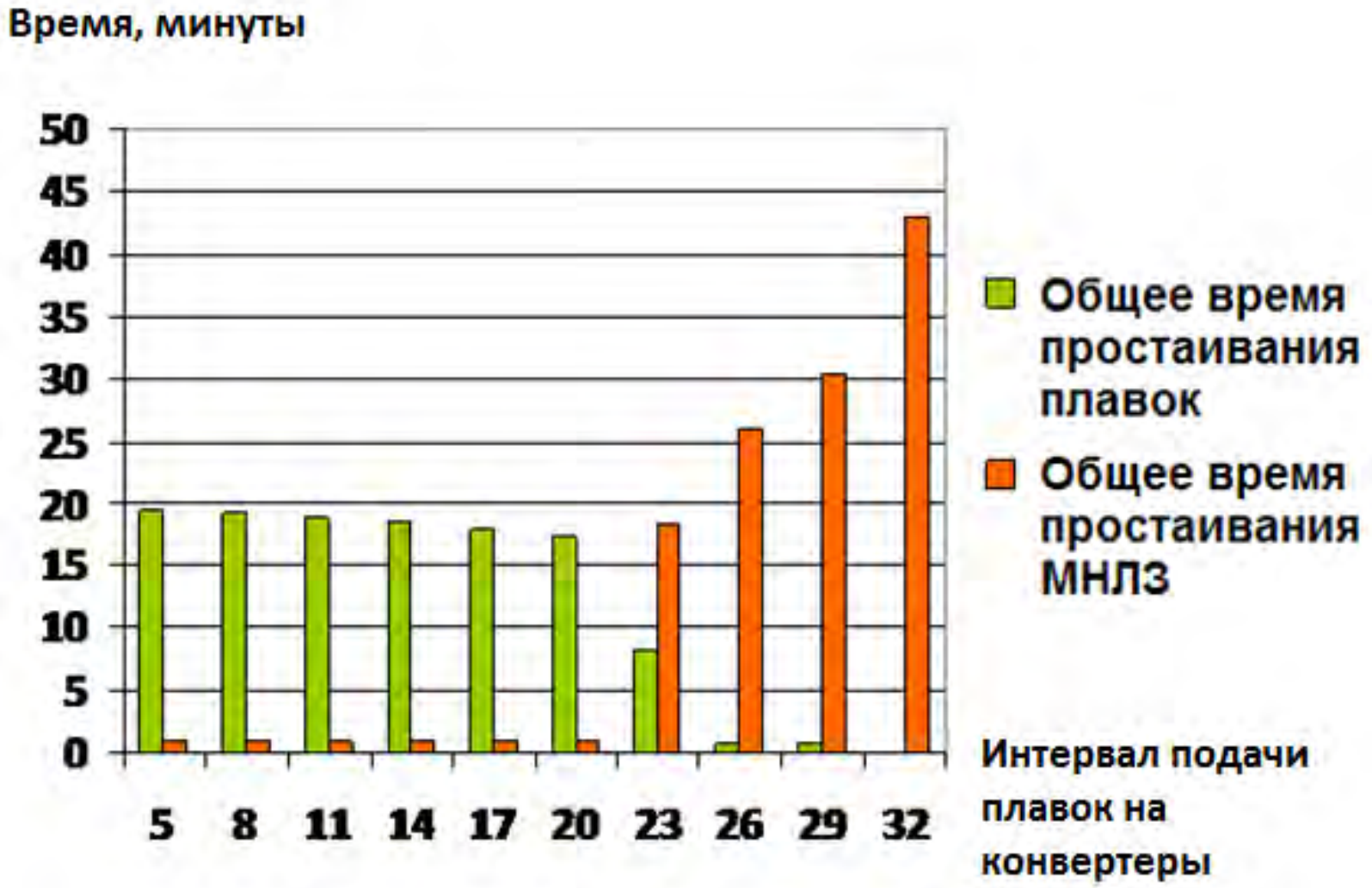
ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Результаты применения метода анализа и устранения узких мест модели МППР

№	Интервал подачи плавок на конвертеры, мин	Выходные параметры				
		Загрузка конвертеров в процентах			Максимальное время простоя стальковша перед МНЛЗ, мин	Максимальное время простоя МНЛЗ, мин
		К1 %	К2 %	К3 %		
1	5	97,7	95,07	92,58	19,41	1
2	8	97,7	93,81	90,21	19,25	1
3	11	97,7	92,58	87,97	18,91	1
4	14	97,7	91,38	85,83	18,41	1
5	17	97,7	90,21	83,79	17,91	1
6	20	86,89	80	74,13	17,33	1
7	23	78,23	71,86	66,46	8,25	18,25
8	26	97,85	90,34	0	0,75	26
9	29	89,58	82,6	0	0,75	30,33
10	32	82,6	76,08	0	0	43

Проведение экспериментов. Графическая интерпретация результатов.



Выводы

В ходе исследования процессов преобразования ресурсов разработан метод анализа и устранения узких мест, обеспечивающий разрешение конфликтов, возникающих при использовании процессами общих ограниченных ресурсов и средств. Метод программно реализован в программном комплексе BPsim и подсистеме моделирования автоматизированной системы выпуска металлургической продукции. В основе метода анализа и устранения узких мест используется операционный анализ вероятностных сетей и метод критического пути.

Разработанная модель движения плавки была применена для нахождения оптимального значения параметра «Время подача плавок на конвертеры» с целью обеспечения непрерывности работы МНЛЗ и минимизации времени простоя стальковша с плавкой на поворотном стенде МНЛЗ. В результате проведения серии экспериментов было найдено оптимального значение управляемого параметра «Интервал подачи плавок на конвертеры», равное 20 минутам.

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167) при финансовой поддержке работ Министерством образования и науки Российской Федерации.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Список литературы

1. Antonova, A.S., Aksyonov, K.A., Aksyonova, O.P. An imitation and heuristic method for scheduling with subcontracted resources. Mathematics 2021, 9(17), 2098; **DOI:** 10.3390/math9172098 - URL: https://doi.org/10.3390/math9172098 . (дата обращения 27.07.2022).
2. Аксенов, К.А., Антонова А.С. Применение автоматизированной системы выпуска металлургической продукции для анализа логистических процессов // Девятая Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2019), 16-18 октября, Екатеринбург, УрФУ, С. 58-69.
3. Antonova, A., Aksyonov, K., Ziomkovskaya, P. (2021) Development of a Method and a Software for Decision-Making, System Modeling and Planning of Business Processes. // Frontiers in Software Engineering. ICFSE 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1523. Springer, Cham., 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-93135-3_10. - URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-93135-3_10 (дата обращения 27.07.2022).
4. Wooldridge, M., Jennings, N., Kinny, D. The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design // Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems 3. – 2000. – P. 285-312.
5. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы: учебник. / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с.
6. Wittich, V. A., Skobelev P. O., Multi-agent interaction models for the design of the nets of requirements and capabilities in open systems, Autom. and Telem., vol. 1, pp. 177-185, Jan. 2003.
7. Skobelev, P., Zhilyaev, A., Larukhin, V., Grachev, S., Simonova, E. Ontology-based open multi-agent systems for adaptive resource management // In Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Valletta, Malta, 2020; pp. 127–135, doi:10.5220/0008896301270135.
8. Ponomareva, O., Porshnev, S., Borodin, A., & Mirvoda, S. Date preparation module of automated metallurgical products production system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1047*(1), [012003]. 2021. - URL: https://doi.org/10.1088/1757-899X/1047/1/012003 (дата обращения 27.07.2022)
9. Porshnev, S., Borodin A., Ponomareva, O., Mirvoda, S., & Chernova, O. The development of a heterogeneous MP data model based on the ontological approach. Symmetry, 13(5), [813]. 2021. - URL: https://doi.org/10.3390/sym13050813 (дата обращения 27.07.2022).
10. Clark, C.E. The PERT model for distribution of an activity time // Oper. Res. **1962**, *10,* PP. 405–406, doi:10.1287/opre.10.3.405.
11. Shorikov, A.F., & Butsenko, E.V. Optimal adaptive control of business planning processes based on network economic and mathematical modeling // Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences: 12th International On-line Conference for Promoting the Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, AMiTaNS 2020 (Vol. 2302). [060013] (AIP Conference Proceedings; Vol. 2302). 2020. - URL: https://doi.org/10.1063/5.0033584 (дата обращения 27.07.2022).
12. Gimadi, E.K., Goncharov, E.N., Mishin, D.V. On some implementations of solving the resource constrained project scheduling problems // Yugosl. J. Oper. Res. **2019,** *29*, 31–42, doi:10.2298/YJOR171115025G.
13. Guizzi, G.; Vespoli, S.; Grassi, A.; Carmela Santillo, L. Simulation-based performance assessment of a new job-shop dispatching rule for the semi-heterarchical industry 4.0 architecture // In Proceedings of the 2020 Winter Simulation Conference (WSC), Orlando, USA, 2020; pp. 1664–1675, doi:10.1109/WSC48552.2020.9383981.

ГОД ЦИФРОВИЗАЦИИ
В РЕСПУБЛИКЕ
ТАТАРСТАН
РЕСПУБЛИКАСЫНДА
ЦИФРЛАШТЫРУ ЕЛЫ

KAZAN DIGITAL WEEK 2022
21–24 СЕНТЯБРЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ

Спасибо за внимание!

Вопросы?

wiper99@mail.ru