



**Исследование сведения  
задачи календарного планирования  
портовых операций к задаче  
удовлетворения ограничений**

*Киселёв В.А.<sup>1</sup>, Чивилихин Д.С.<sup>1</sup>, Топаж А.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики;

<sup>2</sup>ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

# Взаимодействие имитационного моделирования и оптимизации при анализе морских транспортных систем

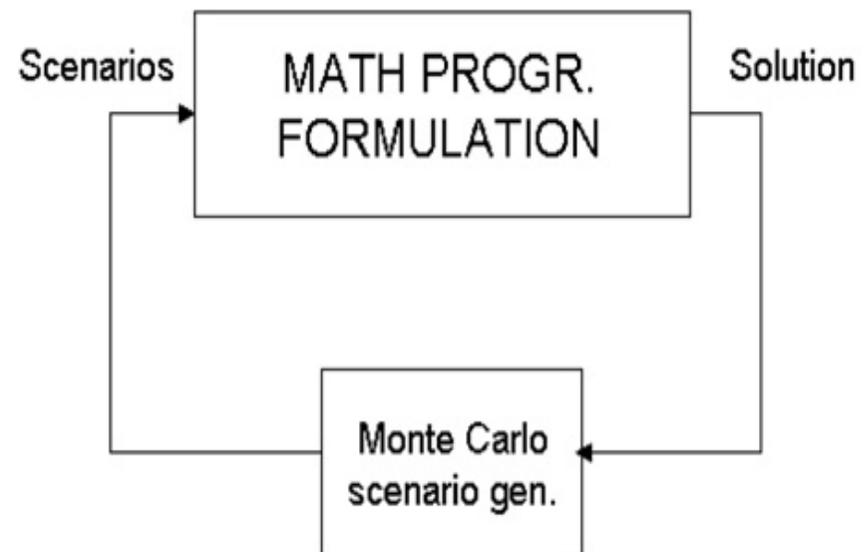
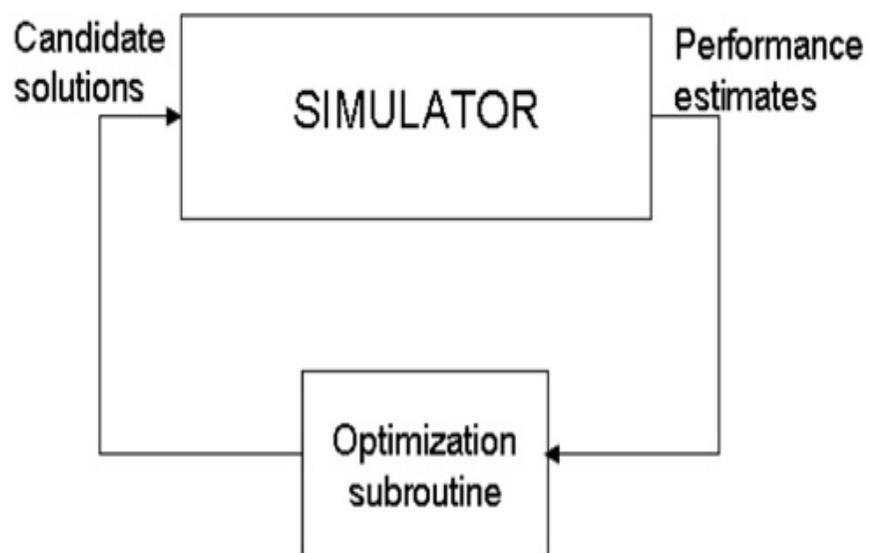


## Стратегическое планирование.

Алгебраическая оптимизация структурных параметров изучаемой системы

## Оперативное управление.

Решение задач математического программирования со стохастическими сценариями, генерируемыми имитационной моделью



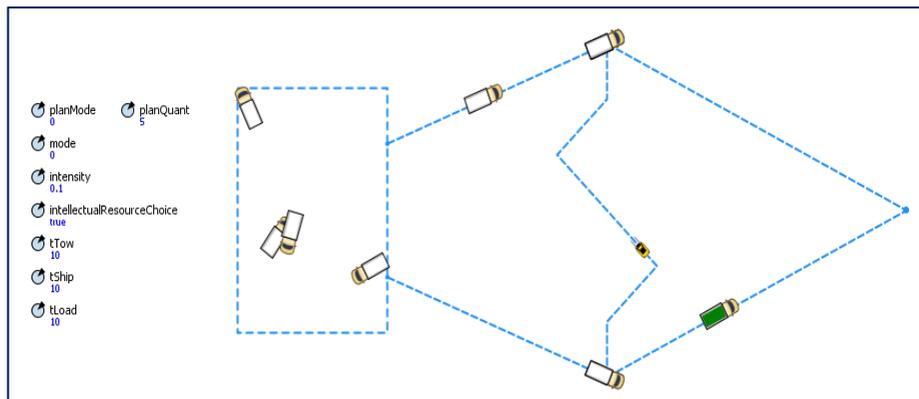
*Fu, M.C. 2002 Optimization for simulation: theory vs. practice. INFORMS Journal in Computing 14(3)*

# Примеры задач оперативного планирования в моделях «стратегического» уровня



Стратегическая модель	Элементы оперативного или тактического плана	Учитываемые факторы
Имитационные модели работы и снабжения нефтедобывающих платформ и нефтеперегрузочных комплексов	Нахождение баланса между обслуживанием транспортных судов основного производственного контура и конкурирующих с ними за причальные места судов снабжения.	Текущие уровни наполненности хранилищ различных грузов и специфичные для судов разных типов «окна погоды»
Модели арктических транспортных морских коридоров	Оптимальная маршрутизация рейсов судов ледового плавания	Существенно нестационарные погодные и ледовые условия
Модели мультимодальных перегрузочных контейнерных терминалов	Оптимальное размещение и штабелирование контейнеров на временных площадках хранения	Количества операций по перемещению и перегрузке контейнеров
<b>Имитационные модели работы порта.</b>	<b>Календарное планирование портовых операций</b>	<b>Ограниченность стационарных и перемещаемых элементов портовой инфраструктуры</b>

# Тестовая модель грузопереработки. Постановка

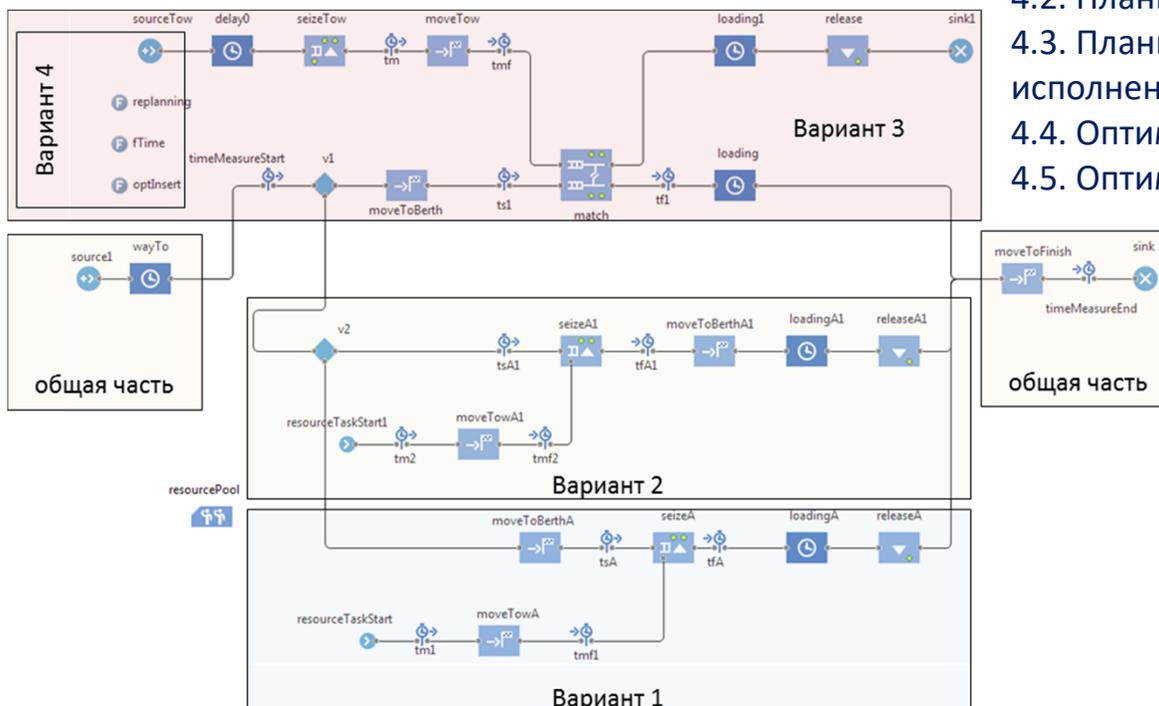


## Варианты:

1. Последовательное исполнение пришедших заявок в порядке поступления. Заявка ждет ресурс.
2. Последовательное исполнение пришедших заявок в порядке поступления. Ресурс ждет заявку.
3. Последовательное исполнение пришедших заявок в порядке поступления.

Авансированный запрос ресурса.

- 4.1. Планирование по принципу FIFO (то же, что 3)
- 4.2. Планирование по принципу LIFO
- 4.3. Планирование по принципу случайного порядка исполнения
- 4.4. Оптимальное перепланирование (частота 1)
- 4.5. Оптимальное перепланирование (частота 5)



# Тестовая модель грузообработки. Результаты



Вариант конфигурации	Показатели эффективности		
	Процент обслуженных заявок	Среднее время ожидания обслуживания (час)	Максимальное время ожидания обслуживания (час)
1	68.05	1476	3130
2	40.85	2849	5823
3	68.25	1419	3120
4.1	68.25	1419	3120
4.2	27.75	1.3	49
4.3	64.55	1347	8870
4.4	<b>94.46</b>	216	1635
4.5	<b>92.61</b>	376	2405

# Оперативное планирование портовых операций.

## Понятия предметной области

---



**Причалы** – места, где производятся операции грузообработки и/или бункеровки судов.

**Суда** – транспортные суда, осуществляющие перевозку грузов.

**Буксиры** – движущиеся ресурсы, которые необходимы судам для убыстрения или принципиальной возможности перемещения между причалами или швартовки к причалам.

**Бункеровщики** – суда, которые могут осуществлять бункеровку (заправку топливом) судна, находящегося с ним в одной и той же точке.

**Грузы** – произвольные МТЦ нескольких видов, которые перевозятся судами. Одним из видов грузов является судовое топливо (СПГ).

**Хранилища** – пространства для хранения грузов в порту ограниченного объема.

**Средства грузообработки** – ограниченный перечень различного движимого и недвижимого оборудования (краны, насосы и т.д.), с помощью которого могут осуществляться операции погрузки-разгрузки. Примером движимого оборудования могут служить перемещаемые между причалами плавучие краны.

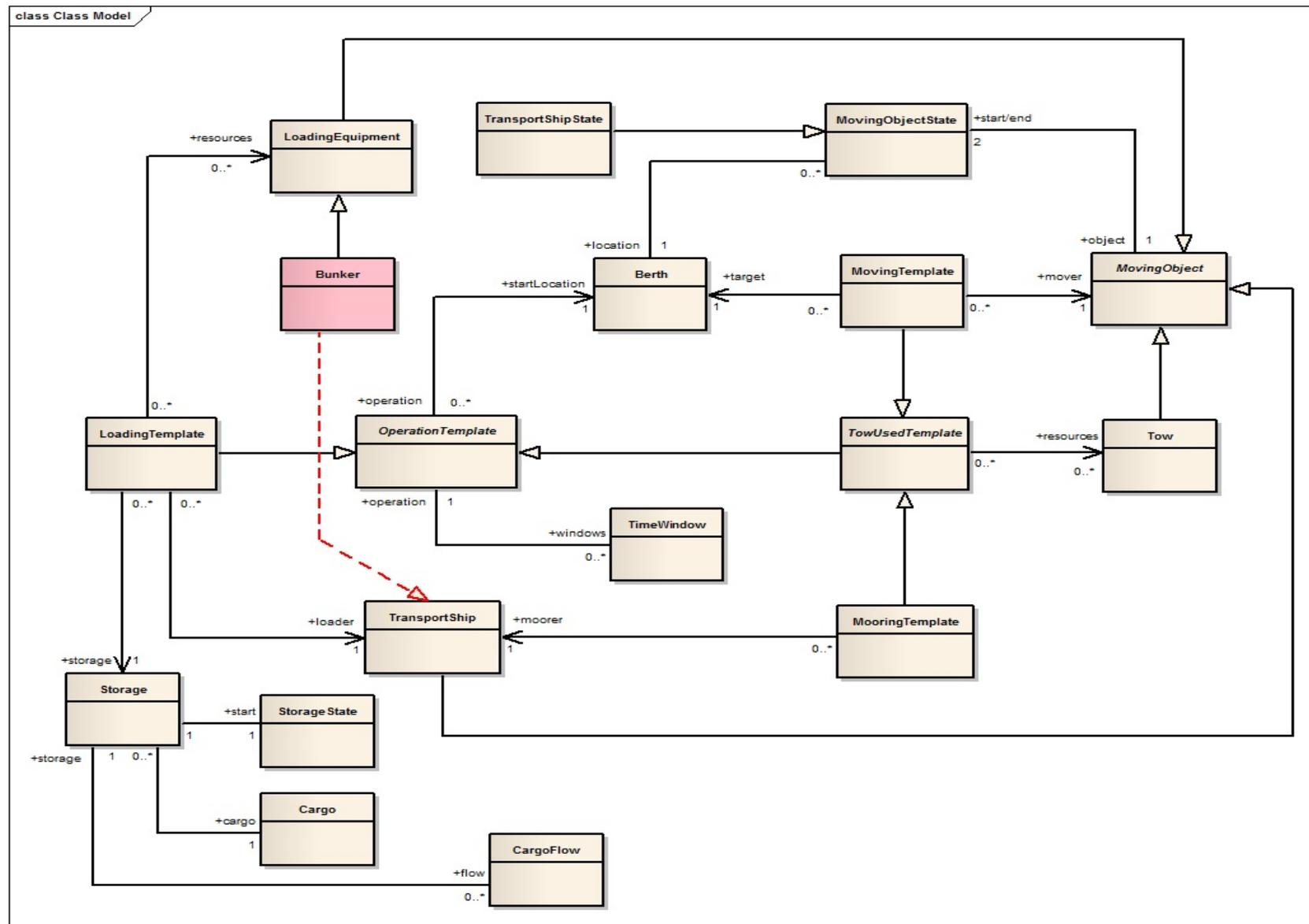
**Операции:**

**Перемещение.** Судно А перемещается от Причала 1 к Причалу 2 с помощью трех буксиров Б за 25 минут

**Швартовка.** Судно А швартуется к Причалу 1 с помощью двух буксиров Б за 15 минут

**Грузообработка.** Судно А у Причала 2 может выгружать Груз 1 в Хранилище 4 с использованием насоса Н с интенсивностью 3000 тонн в час

# Оперативное планирование портовых операций. Объектная модель



# Оперативное планирование портовых операций. Переменные и ограничения



Шаблоны операций	Горизонт планирования								
	Интервал 0	Интервал 1	Интервал 2	...	...	...	...	Интервал N-2	Интервал N-1
0. Перемещение Судна1 от Рейда к Причалу1									
1. Перемещение Судна2 от Рейда к Причалу1									
2. Перемещение Судна1 от Причала1 к Рейду									
3. Перемещение Судна2 от Причала1 к Рейду									
4. Перемещение Буксира1 от Рейда к Причалу1									
5. Перемещение Буксира1 от Причала1 к Рейду									
...									
N-4. Разгрузка Нефти из Судна1 на Причале1 в Хранилище1									
N-3. Погрузка Нефтью Судна1 на Причале1 из Хранилища1									
N-2. Разгрузка Нефти из Судна2 на Причале1 в Хранилище1									
N-1. Погрузка Нефтью Судна2 на Причале1 из Хранилища1									

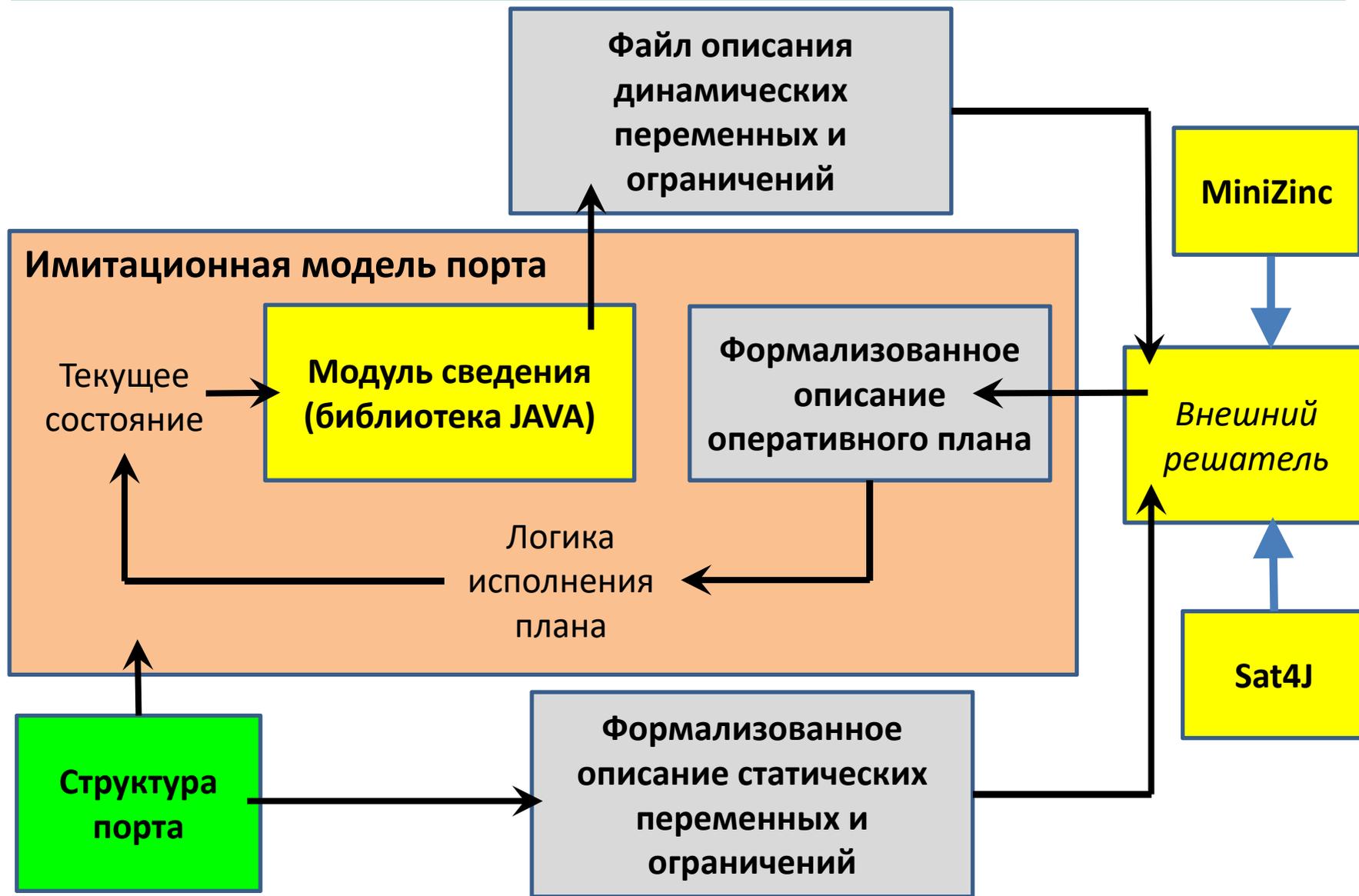
$$X_{ij} = 0 \mid 1$$

**Один и тот же ресурс не может быть задействован одновременно более чем в**

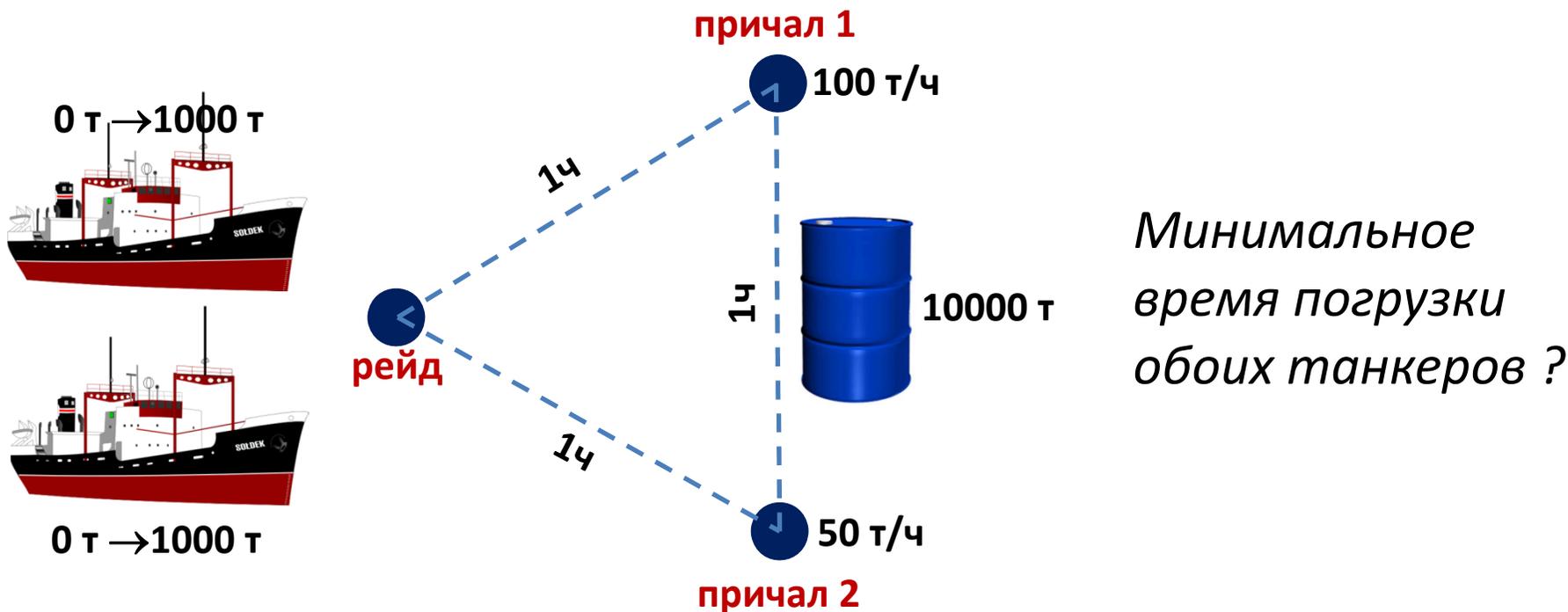
**одной операции  $\tilde{X}_{ij} + X_{ij} \cdot \prod_{k \in E_i} \tilde{X}_{kj} \geq 1$ ,  $i = 1..N - 1$ ,  $j = 1..M - 1$ .**

**Все ресурсы, задействованные в операции, должны во время ее осуществления находиться в месте ее осуществления ...**

# Оперативное планирование портовых операций. Метод решения



# Оперативное планирование портовых операций. Тестовый пример



Расписание [ 21 | 15 ]

01 суббота - 01 суббота

	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00		
Сульфит	0:00	1:00 - 7:00 Погрузка 300 LNG, из Хранилище1						7:00	8:00 - 15:00 Погрузка 700 LNG, из Хранилище1 в											
Сульфит2	0:00	1:00 - 8:00 Погрузка 700 LNG, из Хранилище1 в						8:00	9:00 - 15:00 Погрузка 300 LNG, из											

**Спасибо за  
внимание!**