The background of the slide features a person in a white shirt and blue jacket working at a computer. The background is heavily stylized with a grid of colorful, semi-transparent rectangles in shades of blue, green, and purple, creating a digital or data-like atmosphere.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НА ПК ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФИКА РЕМОНТА СТАНКОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Выпол  
нила:  
Шалы  
к И. С.  
Руков  
одител  
ь:

Трофи



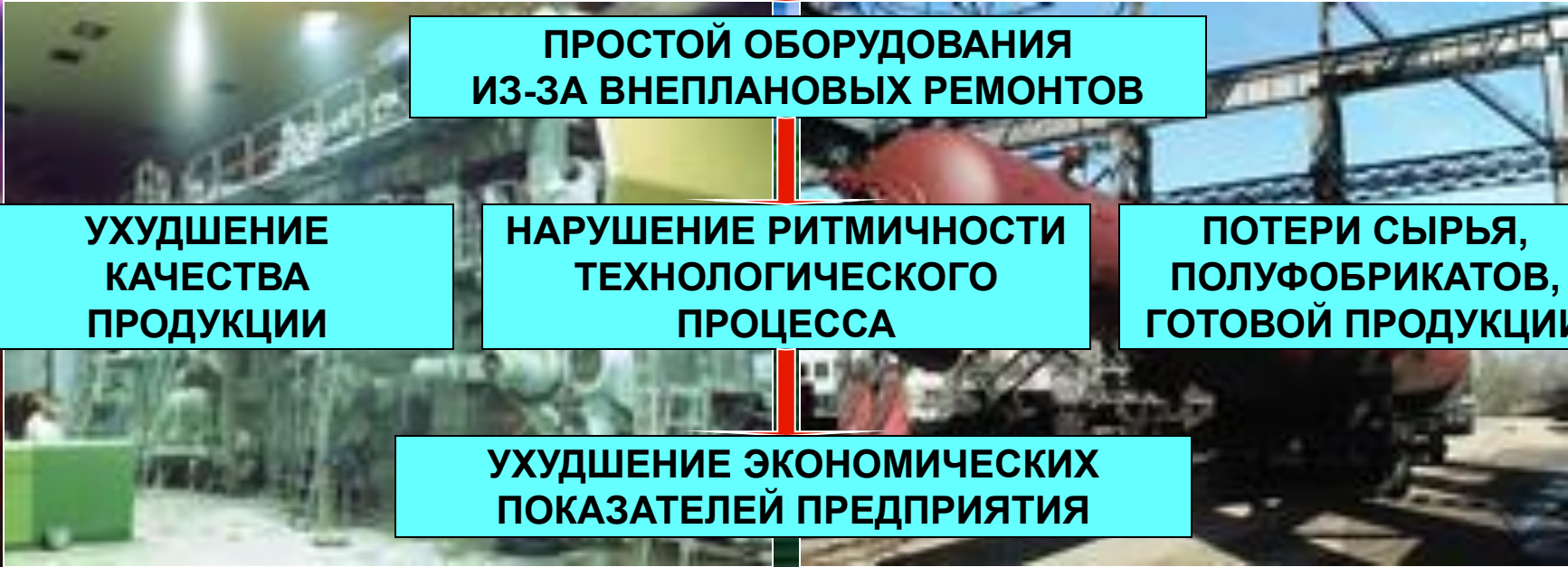
**НЕКАЧЕСТВЕННОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ  
ОБОРУДОВАНИЯ**



**НЕСВОЕВРЕМЕННЫЙ ВВОД  
ОБОРУДОВАНИЯ В РЕМОНТ**

**УМЕНЬШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ  
ДЕТАЛЕЙ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ**

**УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛИ  
АВАРИЙНЫХ ПОЛОМОК**



**ПРОСТОЙ ОБОРУДОВАНИЯ  
ИЗ-ЗА ВНЕПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ**

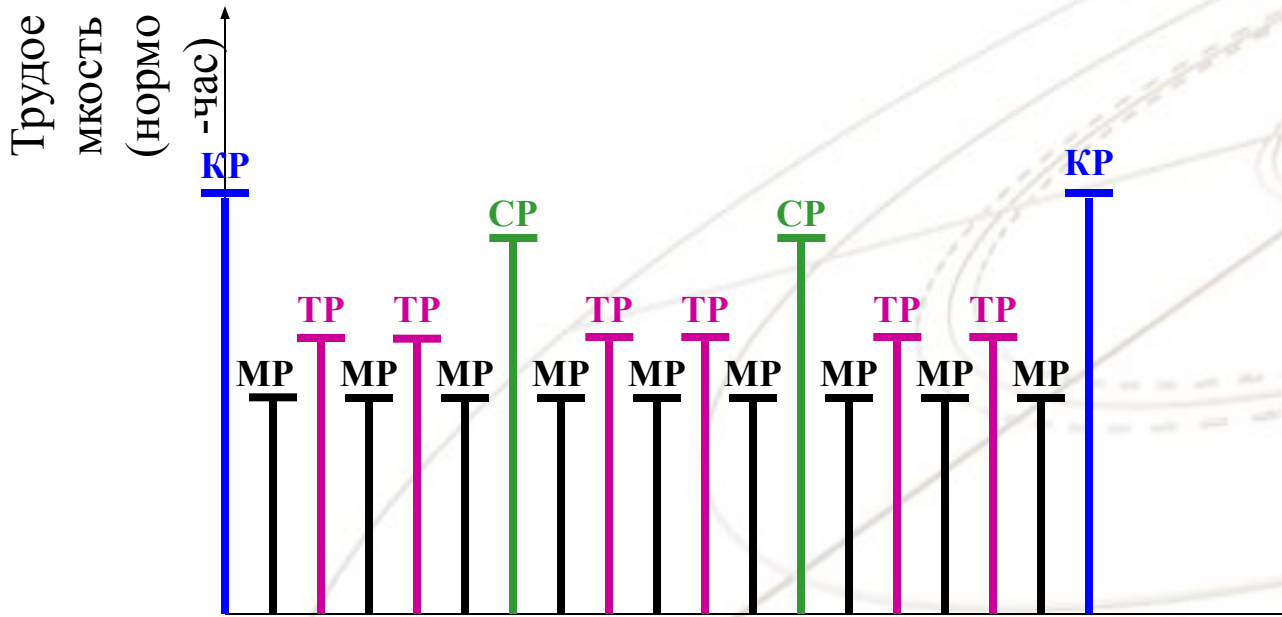
**УХУДШЕНИЕ  
КАЧЕСТВА  
ПРОДУКЦИИ**

**НАРУШЕНИЕ РИТМИЧНОСТИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО  
ПРОЦЕССА**

**ПОТЕРИ СЫРЬЯ,  
ПОЛУФОБРИКАТОВ,  
ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

**УХУДШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ**

# Структура ремонтного цикла



КР – капитальный ремонт;

ТР – текущий ремонт;

СР – средний ремонт;

МР – межремонтные работы.

# Математическая модель задачи

## Обозначения

- $I$  – множество единиц оборудования, которое обслуживает бригада ремонтников;
- $i$  – номер станка (оборудования);
- $m$  – номер месяца года,  $m = 1, 2, \dots, 12$  ;
- $t_{im}$  – трудоемкость ремонтных работ по  $i$ -му станку в  $m$ -ый месяц;
- $R_m$  – ресурсы трудоемкости (мощности) ремонтных работ на каждый месяц;
- $\Delta R_m$  – допустимое отклонение от заданных мощностей  $\min\{50; 0.15R_m\}$
- $y_{1m}$  – недогрузка ремонтных бригад в  $m$ -ый месяц;
- $y_{2m}$  – перегрузка ремонтных бригад в  $m$ -ый месяц;
- $C_{1m}$  – штраф за недогрузку бригады в  $m$ -ый месяц за нормо-час;
- $C_{2m}$  – штраф за перегрузку бригады в  $m$ -ый месяц за нормо-час;
- $\delta_{ik}$  – булевы переменные;  $k \in \{-1, 0, 1\}$

## Модель

ь

$$(1) \quad \sum_{k=-1}^1 \delta_{ik} = 1 \quad \delta_{ik} \in \{0, 1\} \forall i \in I, k \in \{-1, 0, 1\}$$

$$(2) \quad R_m - \Delta R_m \leq \sum_{k=-1}^1 \sum_{i \in I} t_{im-k} \delta_{ik} + y_{1m} - y_{2m} \leq R_m + \Delta R_m \quad \forall m = 1:12$$

$$(3) \quad \sum_{m=1}^{12} (C_{1m} y_{1m} + C_{2m} y_{2m}) \rightarrow \min$$

$$y_{1m}, y_{2m} \geq 0 \quad \forall m = 1:12$$


# Матрица математической модели

Переменные	$\delta_{11}$	$\delta_{12}$	$\delta_{13}$	...	$\delta_{I1}$	$\delta_{I2}$	$\delta_{I3}$	$y_{11}y_{12} \dots y_{112}$	$y_{21}y_{22} \dots y_{212}$	знак	Свободные члены		
Целевая функция	0	0	0	...	0	0	0	$C_{11}C_{12} \dots C_{112}$	$C_{21}C_{22} \dots C_{212}$				
<b>1</b>	$t_{12}$	$t_{11}$	0		$t_{I2}$	$t_{I1}$	0	1	0 ... 0	-1	0 ... 0	$\leq$    $\geq$	$R_1 \pm \Delta R_1$
<b>2</b>	$t_{13}$	$t_{12}$	$t_{11}$		$t_{I3}$	$t_{I2}$	$t_{I1}$	0	1 ... 0	0	-1 ... 0		$R_2 \pm \Delta R_2$
...	.....			...	.....			.....					.....
<b>11</b>	$t_{112}$	$t_{111}$	$t_{110}$		$t_{I12}$	$t_{I11}$	$t_{I10}$	0	0 ... 0	0	0 ... 0		$R_{11} \pm \Delta R_{11}$
<b>12</b>	0	$t_{112}t_{112} + t_{111}$			0	$t_{I12}t_{I12} + t_{I11}$		0	0 ... 1	0	0 ... -1		$R_{12} \pm \Delta R_{12}$
<b>1</b>	1	1	1		0	0	0					$=$	1
<b>2</b>	0	0	0		0	0	0						
...	.....			...	.....			0		0			
<b>I</b>	0	0	0		1	1	1						

## Пример решения модели частично целочисленного программирования с помощью оптимизатора Lp\_Solve

### Входные данные (input.txt)

```
min: 3x1 +x2  
+3x3;  
2x1 +x2 +x3 < 2;  
x1 +2x2 +3x3 < 5;  
2x1 +2x2 +x3 < 6;  
int x1, x2;
```



lp\_solve.exe

### Выходные данные (output.txt)

```
Value of objective  
function: 5  
x1 0  
x2 0  
x3 1.6667
```

# Форма входных данных

**Изменение параметров оборудования**

Параметры

Вид производства:	1	Заводской номер:	1738
Год:	86	Сложность мех. ремонта:	15
Цех:	14	Сложность эл. ремонта:	0
Участок:	00	Дата ввода в эксплуатацию:	8410
Группа:	01	Дата посл. кап. ремонта:	8302
Подгруппа:	03	Дата посл. ремонта:	8607
Порядковый номер:	6	Вид ремонта:	3
Наименование:	СТАНОК ТОКАРНЫЙ	Периодичность ремонта:	6
Модель:	152406		

Запланированный ремонт

Механический:				Электрический:			
Январь:		Июль:		Январь:		Июль:	
Февраль:	Текущий	Август:		Февраль:		Август:	
Март:	Осмотр	Сентябрь:		Март:		Сентябрь:	
Апрель:	Промывка	Октябрь:	Осмотр	Апрель:		Октябрь:	
Май:	Смазка	Ноябрь:		Май:		Ноябрь:	
Июнь:	Капит.	Декабрь:		Июнь:		Декабрь:	
	Текущий						

Изменить      Отмена

# Форма входных данных

**Штрафы**

Перегрузка	Простой
Январь <input type="text" value="2"/>	Январь <input type="text" value="1"/>
Февраль <input type="text" value="2"/>	Февраль <input type="text" value="1"/>
Март <input type="text" value="2"/>	Март <input type="text" value="1"/>
Апрель <input type="text" value="2"/>	Апрель <input type="text" value="1"/>
Май <input type="text" value="2"/>	Май <input type="text" value="1"/>
Июнь <input type="text" value="2"/>	Июнь <input type="text" value="1"/>
Июль <input type="text" value="2"/>	Июль <input type="text" value="1"/>
Август <input type="text" value="2"/>	Август <input type="text" value="1"/>
Сентябрь <input type="text" value="2"/>	Сентябрь <input type="text" value="1"/>
Октябрь <input type="text" value="2"/>	Октябрь <input type="text" value="1"/>
Ноябрь <input type="text" value="2"/>	Ноябрь <input type="text" value="1"/>
Декабрь <input type="text" value="2"/>	Декабрь <input type="text" value="1"/>

**Ресурсы**

Трудоемкость
Январь <input type="text" value="124,73"/>
Февраль <input type="text" value="124,73"/>
Март <input type="text" value="124,73"/>
Апрель <input type="text" value="124,73"/>
Май <input type="text" value="124,73"/>
Июнь <input type="text" value="124,73"/>
Июль <input type="text" value="124,73"/>
Август <input type="text" value="124,73"/>
Сентябрь <input type="text" value="124,73"/>
Октябрь <input type="text" value="124,73"/>
Ноябрь <input type="text" value="124,73"/>
Декабрь <input type="text" value="124,73"/>



# Архитектура программы «Equipment»

входные данные

Equipment

ФОРМИРОВАНИЕ БД

ПОСТРОЕНИЕ  
МАТРИЦЫ  
МОДЕЛИ

ФОРМИРОВАНИЕ  
ВХОДНОГО  
ПОТОКА ДЛЯ Lp\_Solve

ВЫЗОВ ОПТИМИЗАТОРА

ОБРАБОТКА РЕШЕНИЯ

ПОСТРОЕНИЕ  
ОПТИМЛЬНОГО  
ГРАФИКА РЕМОНТА

ВЫВОД ВИДЕОГРАММЫ  
ПЛАНОВ РЕМОНТОВ

ПОСТРОЕНИЕ  
НОРМАТИВНОГО  
О  
ГРАФИКА  
РЕМОНТА

Lp\_Solve

ПОИСК  
РЕШЕНИЯ  
ЗАДАЧИ  
ОПТИМИЗАЦИ  
И

# Главная форма программы «Equipment»

Планирование ремонта оборудования

Проект **Планирование** Оборудование Отчеты Настройки Помощь

План ремонта

Зав.№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37981		т						о				
37982		о						т				
37983	т						о					
37984	о							т				
37985						т						о
37986		т									о	
37987	т						о					
37988			к							о		
37989						к						о
37990			к							о		
37991				т							о	
37992		о								т		
37993						т						о
37994				т							о	
37995		о								т		
37996		т						о				
37997	о						т					

Оптимальный план ремонта

Зав. №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37981	т							о				
37982		о							т			
37983		т							о			
37984		о								т		
37985								т				о
37986	т									о		
37987	т						о					
37988			к							о		
37989						к						о
37990				к							о	
37991							т					о
37992		о								т		
37993								т				о
37994							т					о
37995		о								т		
37996		т							о			
37997	о									т		

Перегрузки

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перегрузка	0	36	289	0	0	154	0	0	0	0	0	0
Простой	0	0	0	0	106	0	48	0	65	7	92	77

Перегрузки оптимального плана

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Перегрузка	4	0	55	91	0	55	0	0	0	0	0	0
Простой	0	0	0	0	0	0	0	0	5	23	99	63

Сообщения

Суммарная перегрузка плана:

Суммарная перегрузка оптимального плана:

Суммарная недогрузка плана:

Суммарная недогрузка оптимального плана:

Годовые издержки плана:

Годовые издержки оптимального плана:

## Сравнительный анализ загрузки ремонтной бригады по нормативному и оптимальному планам ППР

Номер месяца	Суммарная месячная загрузка		Месячная перегрузка (нормо-час)		Месячная недогрузка (нормо-час)		Штрафные единицы	
	план	Оптим. план	план	Оптим. план	план	Оптим. план	План	Оптим. план
1	112	147	0	4	0	0	0	8
2	179	143	36	0	0	0	72	0
3	432	198	289	55	0	0	578	110
4	118	234	0	91	0	0	0	182
5	0	118	0	0	106	0	106	0
6	297	198	154	55	0	0	308	110
7	58	117	0	0	48	0	48	0
8	117	108	0	0	0	0	0	0
9	41	101	0	0	65	5	65	5
10	99	83	0	0	7	23	7	23
11	14	7	0	0	92	99	92	99
12	29	43	0	0	77	63	77	63
<b>Всего</b>	<b>1497</b>	<b>1497</b>	<b>479</b>	<b>205</b>	<b>395</b>	<b>190</b>	<b>1353</b>	<b>600</b>

# Основные результаты

1. Разработана математическая модель оптимального планирования ремонта оборудования;

2. Для автоматизации решения поставленной задачи создана программа «Equipment» на языке C++Builder с использованием оптимизатора Lp\_Solve;

3. Проведен анализ эффективности построенной модели;

4. Основные тезисы работы опубликованы в сборнике материалов международной XVI конференции «Математика в вузе» (июнь, 2003).