

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of SB RAS,
Irkutsk, Russia

Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS,
Irkutsk, Russia

Orlando Tools: Energy Research Application Development through Convergence of Grid and Cloud Computing

Alexander Feoktistov, Sergei Gorsky, Ivan Sidorov, Roman Kostromin,
Alexei Edelev, and Lyudmila Massel



Russian Supercomputing Days

September 24-25, 2018, Moscow, Russia

Content

- I. Heterogeneous Distributed Computing Environment
- II. Orlando Tools
- III. Application for Energy Security Research
- IV. Computational Experiments
- V. Conclusions

Heterogeneous Distributed Computing Environment (3)

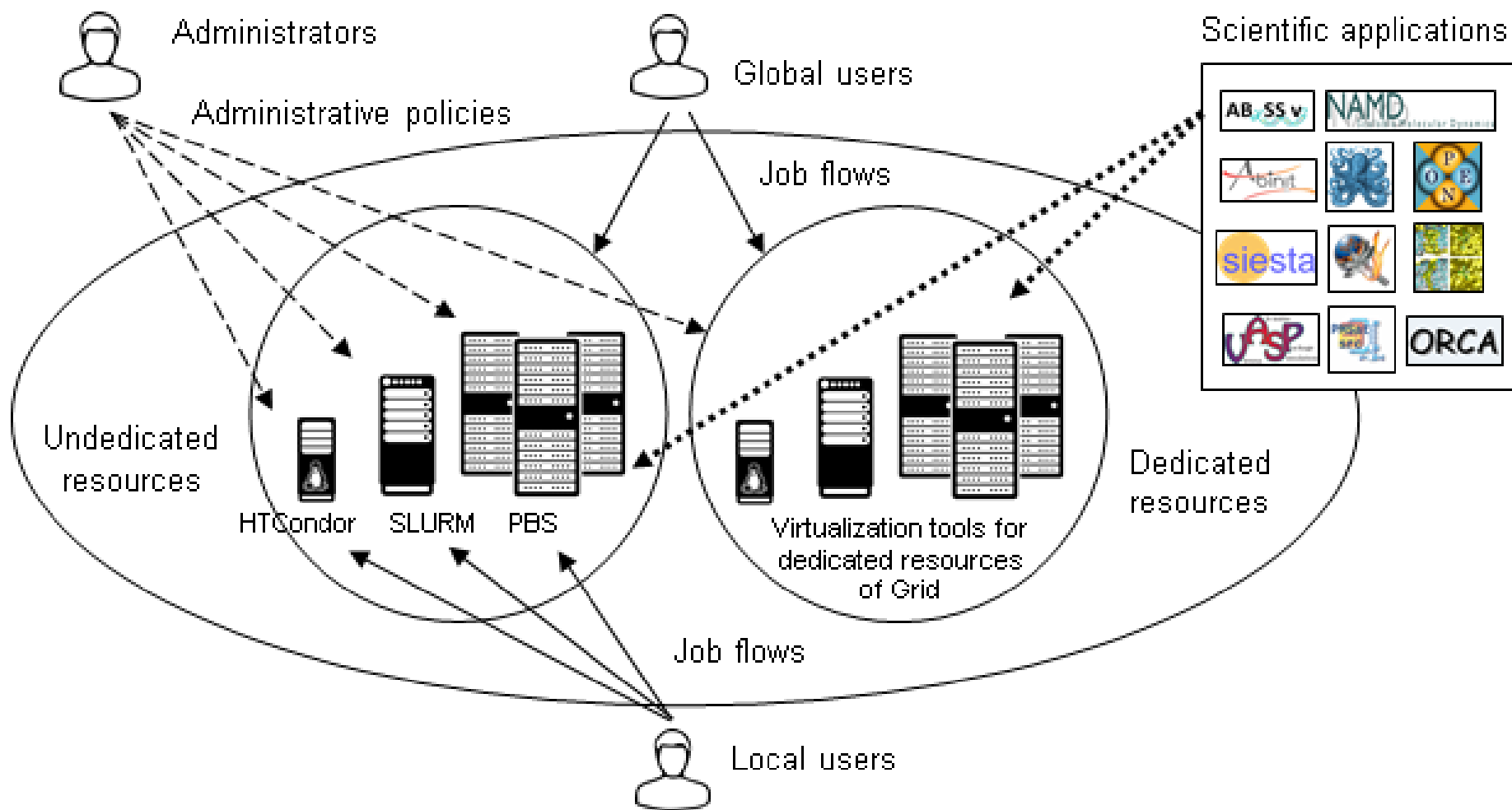


Fig. 2. Heterogeneous Distributed Computing Environment.

Heterogeneous Distributed Computing Environment (2)

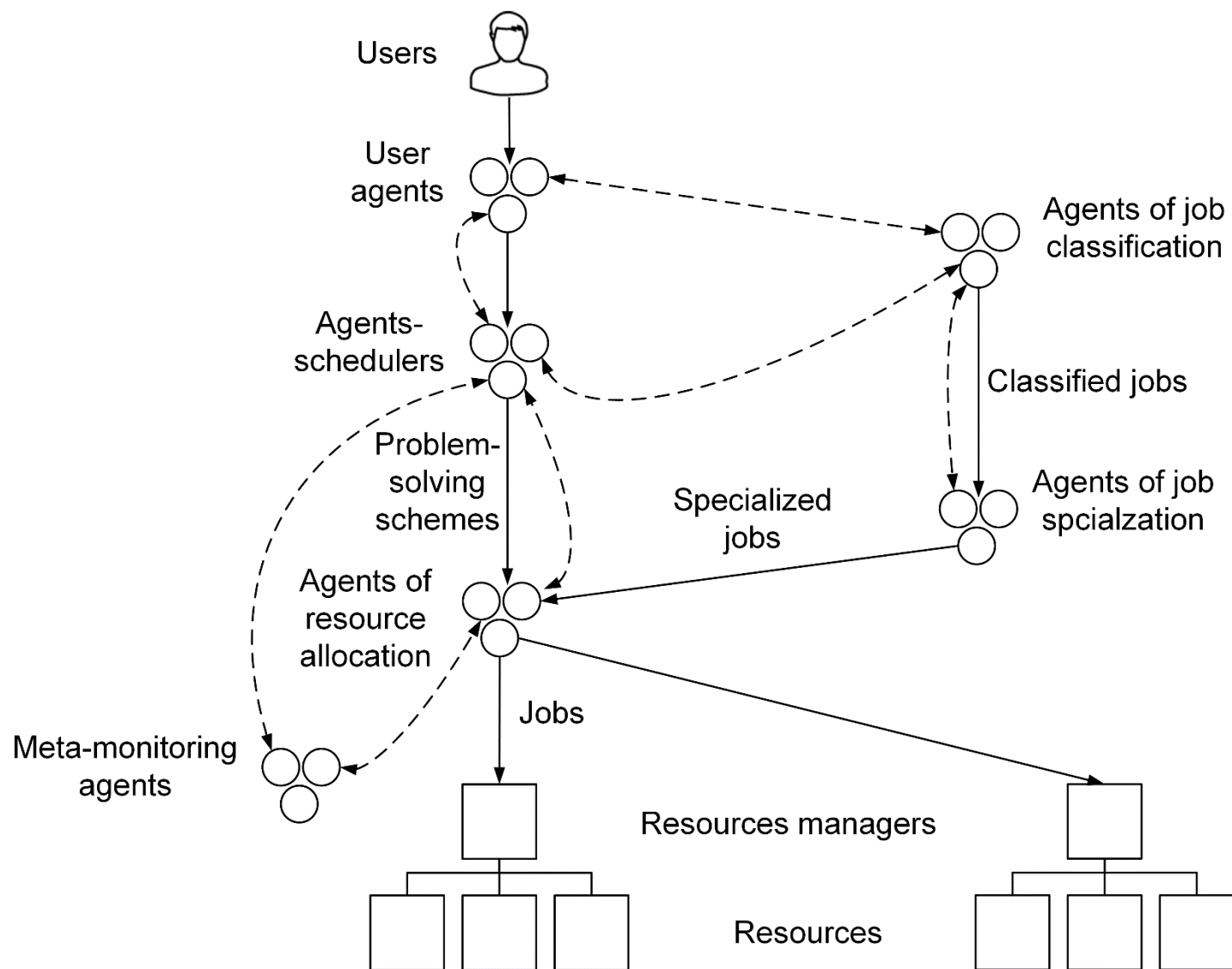


Fig. 1. Agents.

Orlando Tools (1)

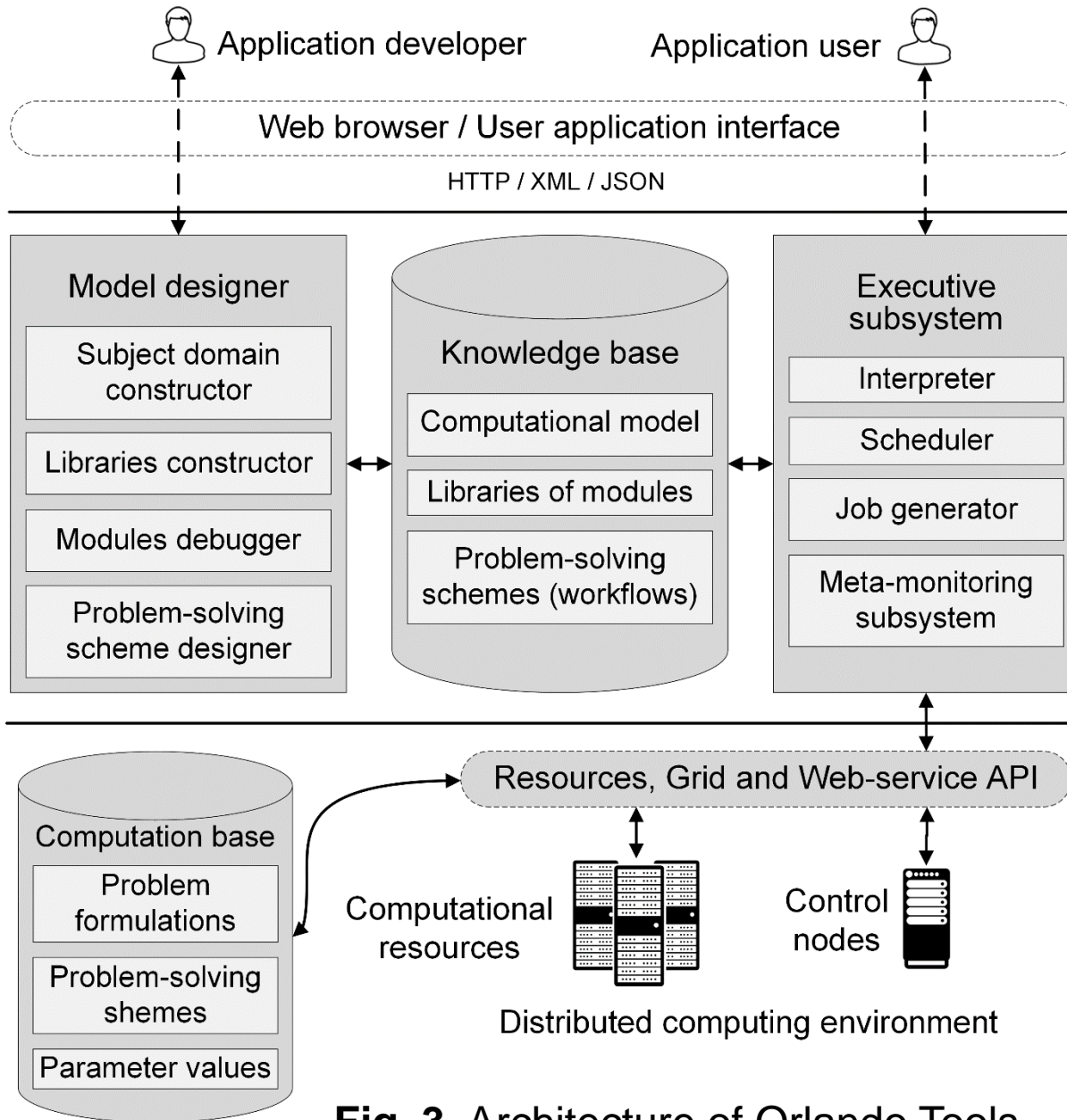


Fig. 3. Architecture of Orlando Tools.



Fig. 4. Tools of the parallel programming.

Orlando Tools (2)

The conceptual model of applications:

$\langle Z, F, M, Pr, N, R_{in}, R_{out}, R_{fm}, R_{mn}, S \rangle$,

where:

- ❑ Z and F are sets of parameters and operations of a subject domain,
- ❑ M is a set of program modules that implement operations,
- ❑ Pr is a set of productions that define an operation usage,
- ❑ N is a set of nodes for a module execution,
- ❑ R_{in} and R_{out} are relations that define the input and output parameters of operations,
- ❑ R_{fm} is a relation between operations and modules,
- ❑ R_{mn} is a relation between modules and nodes,
- ❑ S is a set of problem-solving schemes (workflows).

Orlando Tools (3)

```
<project>
<parameter><name>p1</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p2</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p3</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p4</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p5</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p6</name><extention>txt</extention></parameter>
<parameter><name>p7</name><extention>txt</extention></parameter>

<operation><name>o1</name><input>p1,p2,p3>p4</input><condition>1</condition>
  <while>0</while><type>module</type><module>m1</module></operation>
<operation><name>o2</name><input>p3,p4>p5</input><condition>1</condition>
  <while>0</while><type>module</type><module>m2</module></operation>
<operation><name>o3</name><input>p5>p6</input><condition>1</condition>
  <while>0</while><type>module</type><module>m3</module></operation>
<operation><name>o4</name><input>p6>p7</input><condition>1</condition>
  <while>0</while><type>module</type><module>m4</module></operation>

<module><name>m1</name><parameter>P1,P2,P3>P4</parameter>
  <signatura></signatura><cores></cores><walltime>10</walltime>
  <type>process</type></module>
<module><name>m2</name><parameter>P3,P4>P5</parameter>
  <signatura></signatura><cores></cores><walltime>10</walltime>
  <type>process</type></module>
<module><name>m3</name><parameter>P5>P6</parameter>
  <signatura></signatura><cores></cores><walltime>10</walltime>
  <type>process</type></module>
<module><name>m4</name><parameter>P6>P7</parameter>
  <signatura></signatura><cores></cores><walltime>10</walltime>
  <type>process</type></module>

<task><name>t1</name><parameter>p1,p2,p3>p7</parameter>
  <plan_type>1</plan_type><plan>o1,o2,o3,o4</plan></task>
</project>
```

Fig. 5. Conceptual model in the text mode on XML.

Home page Package editor Servers Tasks Project Project1

- Projects
- Modules
- Parameters
- Operations
- Problems
- Graph
- Graph

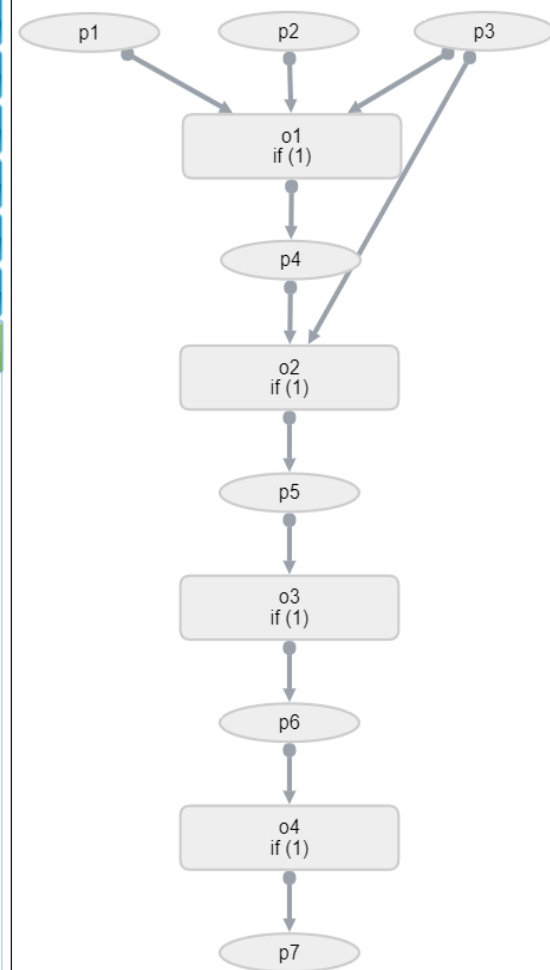


Fig. 6. Conceptual model in the graphical mode.

Orlando Tools (4)

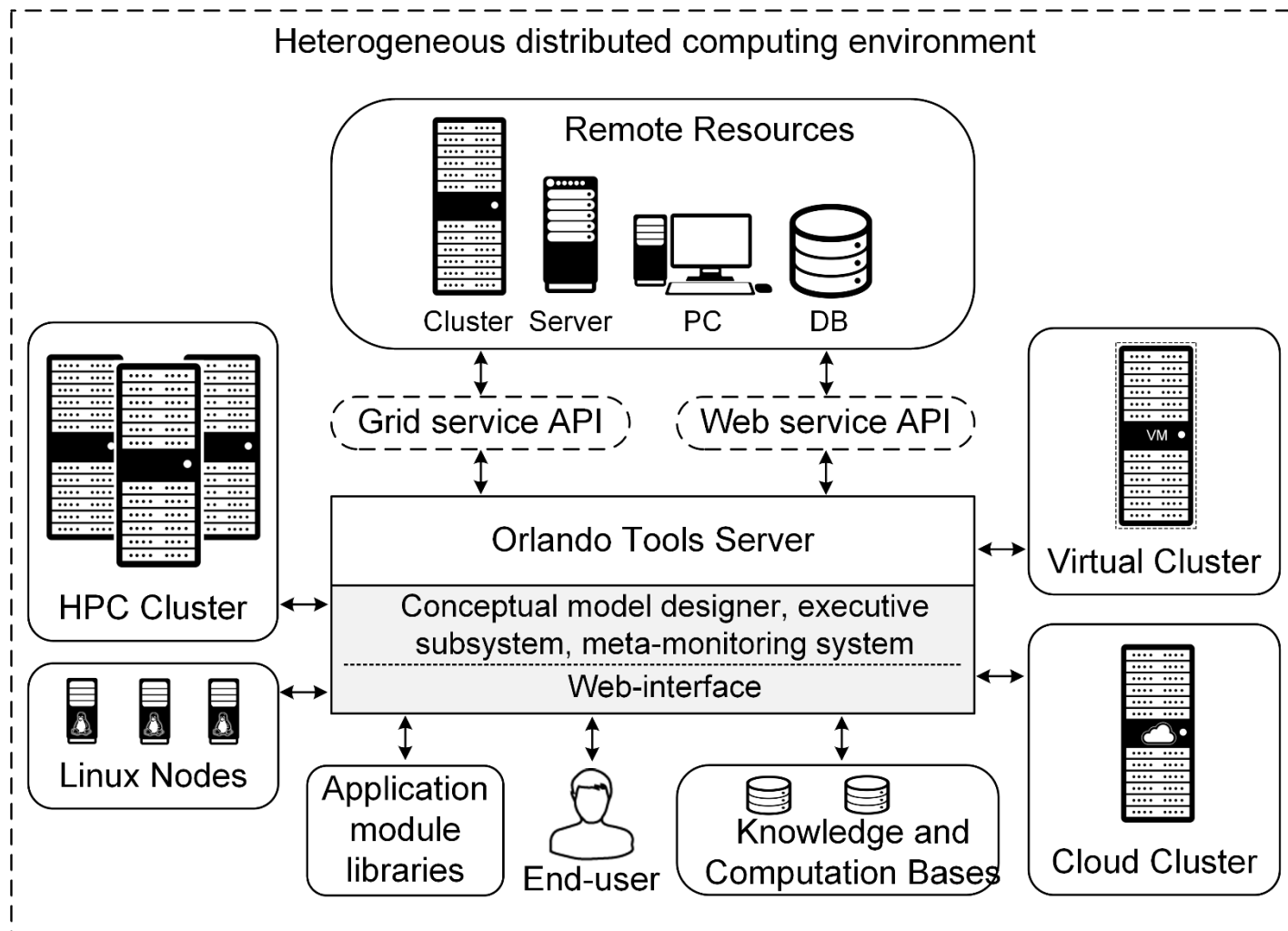


Fig. 7. Integration scheme of computational infrastructures into the heterogeneous distributed computing environment with Orlando Tools.

Orlando Tools (6)

<u>CPU Temperature</u>		<u>CPU load AVG</u>		<u>Storage problems</u>		<u>Memory problems</u>	
node020	77 ° C	node009	103,33	node097	HDD I/O error	node046	56 GB
node042	76 ° C	node045	77,23	node052	NFS error	node063	56 GB
node074	73 ° C	node039	32,57	node034	disk is FULL	node083	56 GB
node011	69 ° C	node016	31,01	node015	PANFS sync error	node006	64 GB

Fig. 8. Visualized data of the meta-monitoring system.

Orlando Tools (5)

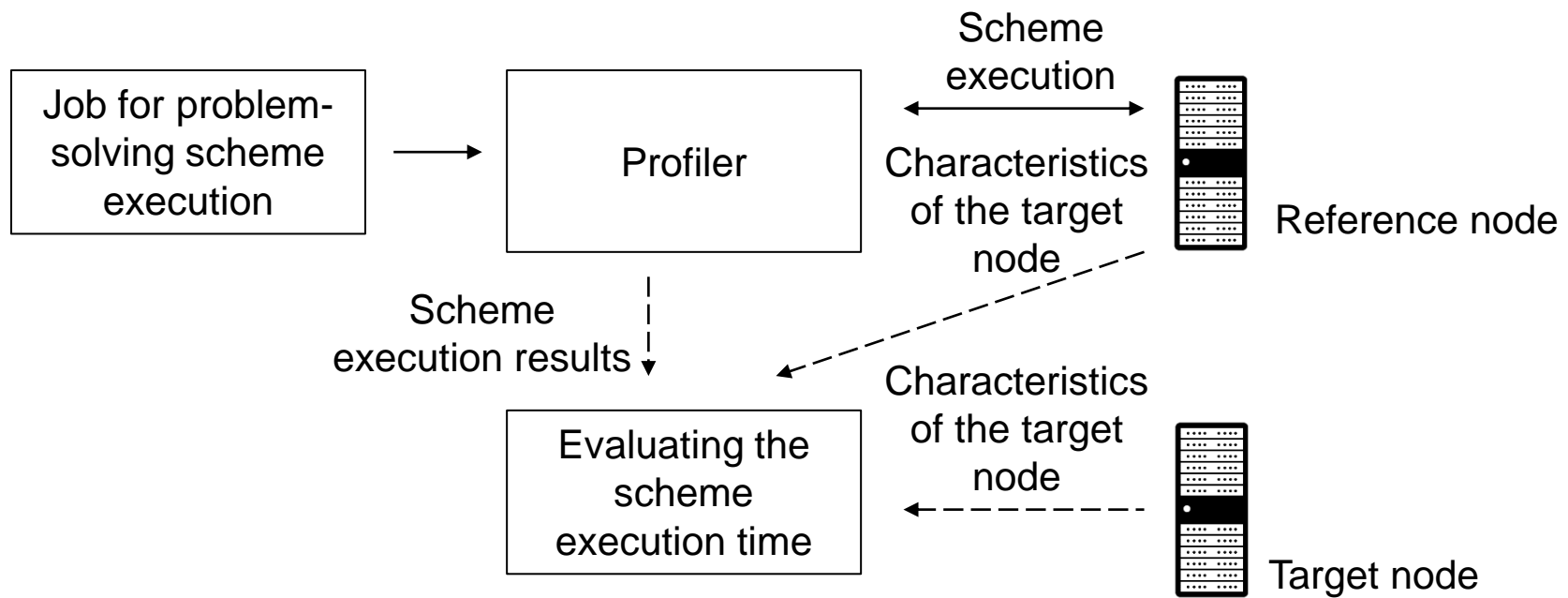


Fig. 9. Evaluating the scheme execution time.

Application for Energy Security Research (1)

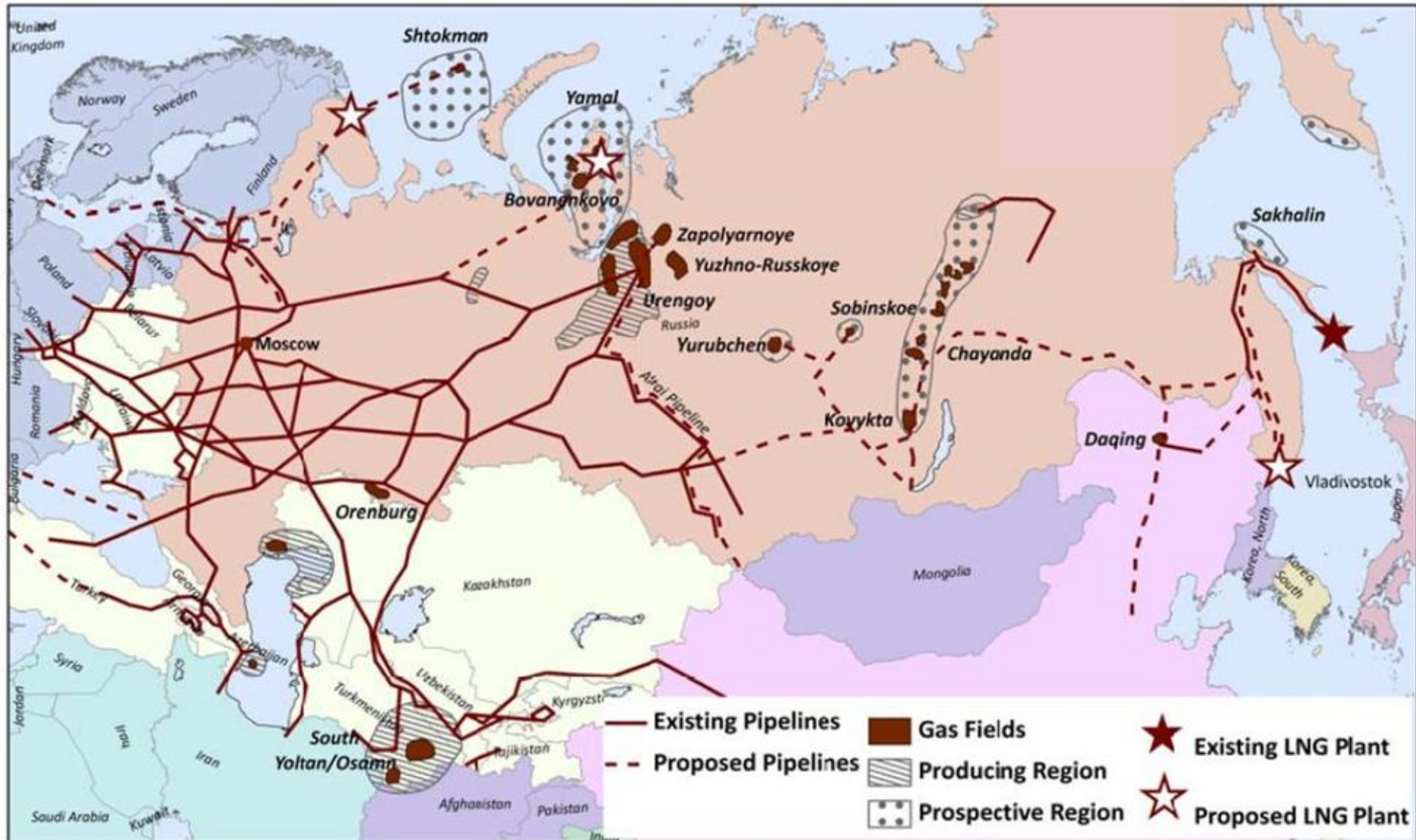


Fig. 10. Gas transmission network of Russia.

Application for Energy Security Research (2)

Table 1. Node types.

Node	Type
1	Source
2	Compressor station
3	Consumer
4	Consumer

Table 2. Arc capacity.

Arc	Capacity
2-4	6
2-3	5
1-3	2
1-2	3
3-2	5

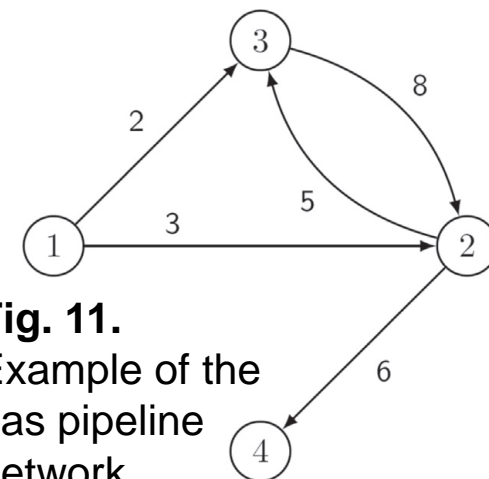


Fig. 11. Example of the gas pipeline network.

Table 3. Criticality of the arcs taking account the different criteria.

Arc	$I_{(i,j)}^{MFC}$	$I_{(i,j)}^{MCC}$	$I_{(i,j)}^{EFC}$	$I_{(i,j)}^{FCR}$	$I_{(i,j)}^{WFCR}$	$I_{(i,j)}^{BC}$
2-4	0.25	0.166667	0.425	0.166667	0.100347	0.5
2-3	0.166667	0.0833333	0.2	0.0833333	0.0266667	0.166667
1-3	0.25	0.25	0.15	0.25	0.0375	0.166667
1-2	0.25	0.25	0.225	0.25	0.05625	0.333333
3-2	0.333333	0.0833333	0.45	0.0833333	0.084375	0.333333

Table 4. Criticality of the nodes taking account the different criteria.

Node	$C_{D_I}^*$	$C_{D_o}^*$	C_C^*	C_B^*	C_F^*
2	0.666667	0.666667	0.666667	0.333333	0.625
1	0	0.666667	0.75	0	0.375
4	0.333333	0		0	0
3	0.666667	0.333333	0.444444	0	0.45

Application for Energy Security Research (4)

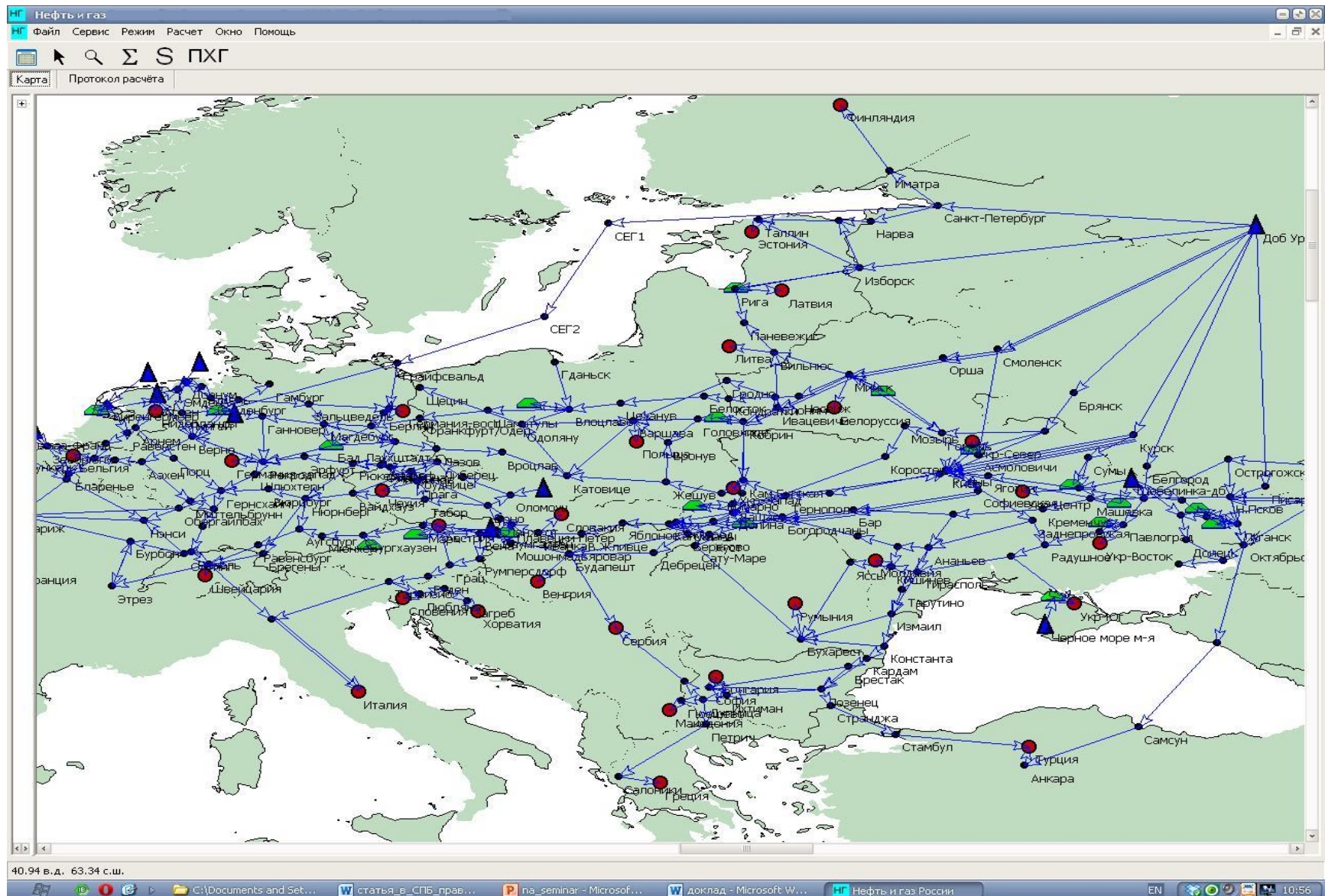


Fig. 12. Model of a gas pipeline network.

Application for Energy Security Research (3)

The number k of possible combinations of failed elements to investigate is defined by the following formula:

$$k = \frac{m!}{(m-n)!n!}$$

where

- n is the size of the failure set ($n \leq 4$),
- m is the total number of system elements to fail.

A failure set is a specific combination of failed elements.

It is characterized by a size, which is equal the number of elements that fail simultaneously.

Application for Energy Security Research (5)

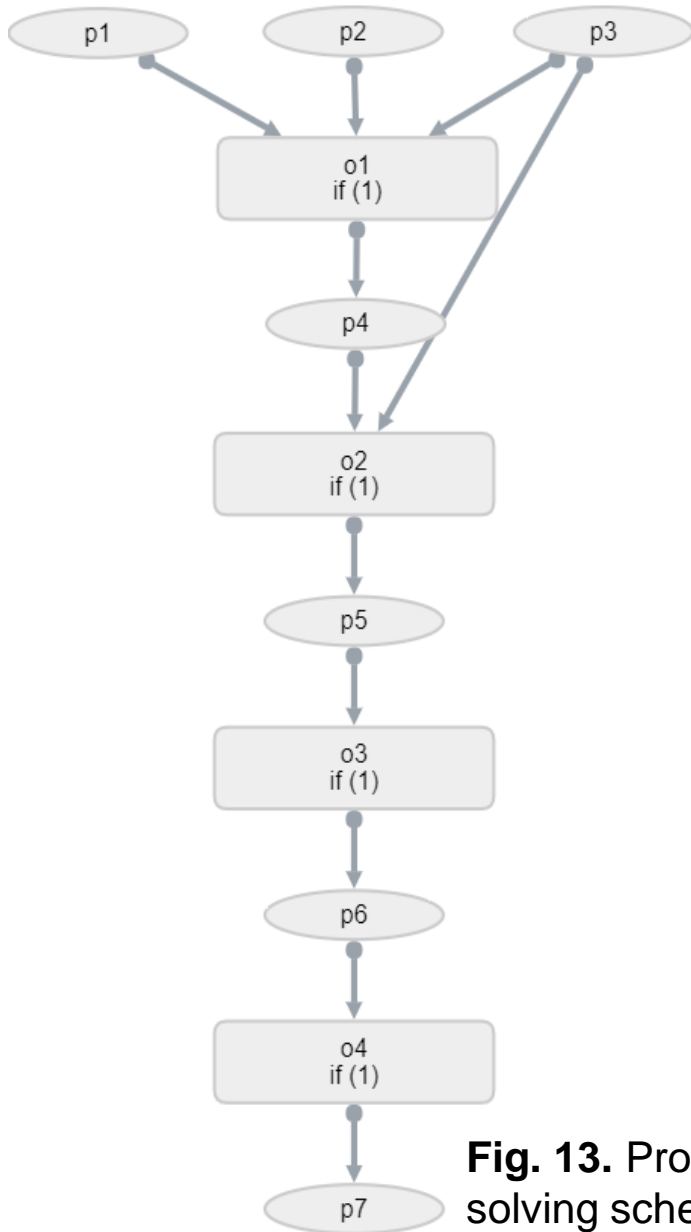


Fig. 13. Problem-solving scheme in Orlando Tools.

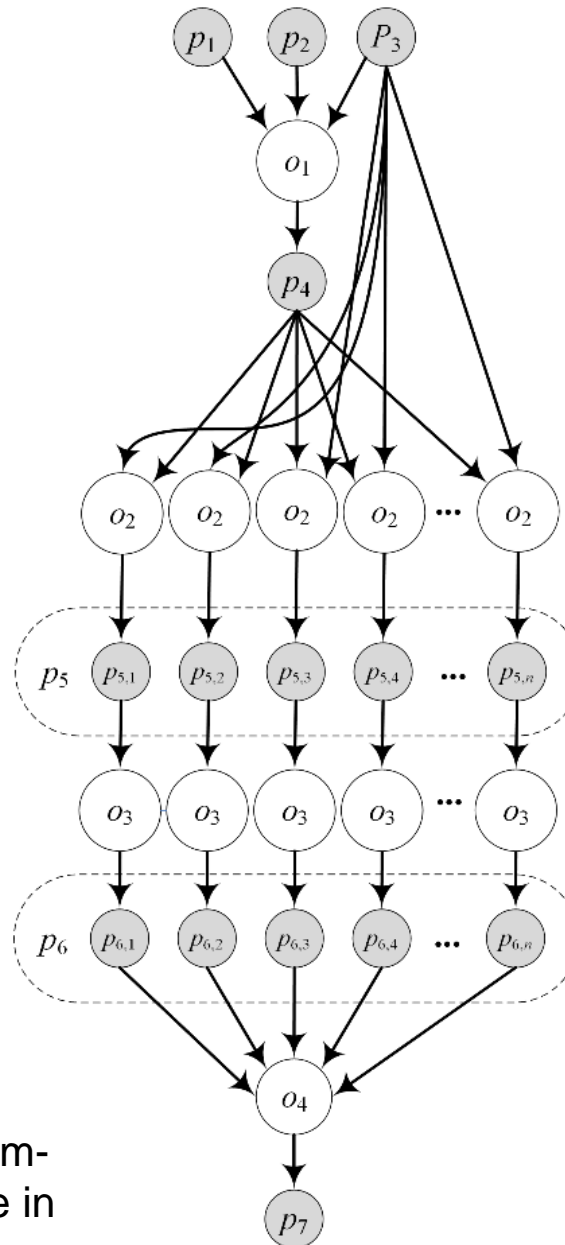


Fig. 14. The problem-solving scheme model with the swept parameters.

Computational Experiments (1)

The modern gas supply system of Russia model consists of 378 nodes (elements), including:

- ❑ 28 natural gas sources,
- ❑ 64 consumers (Russian Federation regions),
- ❑ 24 underground gas storages,
- ❑ 266 main compressor stations,
- ❑ 486 arcs which represent main transmission pipelines segments and outlets to distribution networks.

In the experiment 415 arcs were chosen as elements to fail and the failure sets of size 2 and 3 were considered.

Computational Experiments (2)

Table 5. The criticality of main natural gas pipelines segments

Element	$v, \%$	$h_{1,n=2}$	$h_{2,n=3}$	Element	$v, \%$	$h_{1,n=2}$	$h_{2,n=3}$
A	21	0.0739	0.0756	K	8	0.0313	0.0386
B	21	0.0752	0.0784	L	6	0.0218	0.0263
C	21	0.0763	0.0807	M	5	0.0237	0.0318
D	15	0.0573	0.0614	N	4	0.0255	0.0348
E	15	0.0573	0.0614	O	4	0.0303	0.0411
F	9	0.0352	0.0424	P	4	0.0302	0.0410
G	9	0.0351	0.0423	Q	4	0.0161	0.0211
H	8	0.0327	0.0401	R	4	0.0161	0.0211
I	8	0.0354	0.0418	S	3	0.0226	0.0325
J	8	0.0369	0.0444	T	3	0.0227	0.0324

Computational Experiments (3)

The heterogeneous distributed computing environment includes the following node pools:

- 1) 10 nodes with 2 processors Intel Xeon 5345 EM64T (4 core, 2.3 GHz, 8 GB of RAM) for each (non-dedicated resources),
- 2) 10 nodes with 2 processors AMD Opteron 6276 (16 core, 2.3 GHz, 64 GB of RAM) for each (dedicated resources),
- 3) 10 nodes with 2 processors Intel Xeon CPU X5670 (18 core, 2.1 GHz, 128 GB of RAM) for each (dedicated and non-dedicated resources).

Experimental Analysis (1)

Table 6. Problem-solving time

n	l	$t_{k=1}$	$t_{k=400}$	$t_{k=760}$
2	85905	16	67	70
3	11826255	656640	7200	2730
4	1218104265	31536000	1555200	622080

Experimental Analysis (2)

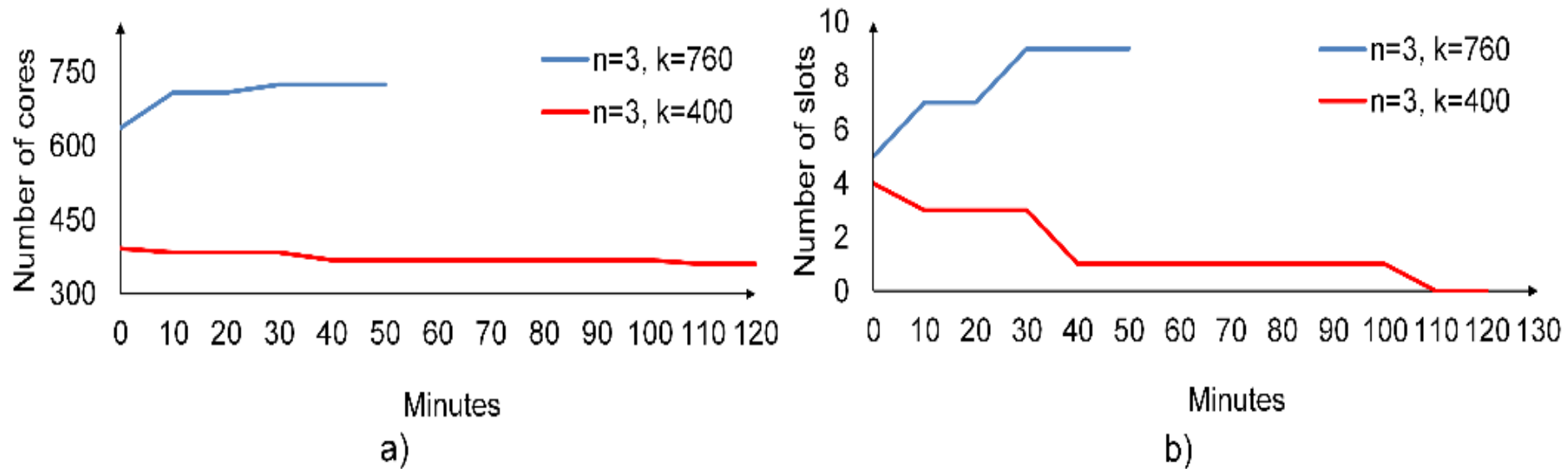


Fig. 15. Number of the used cores (a) and slots (b)

Experimental Analysis (3)

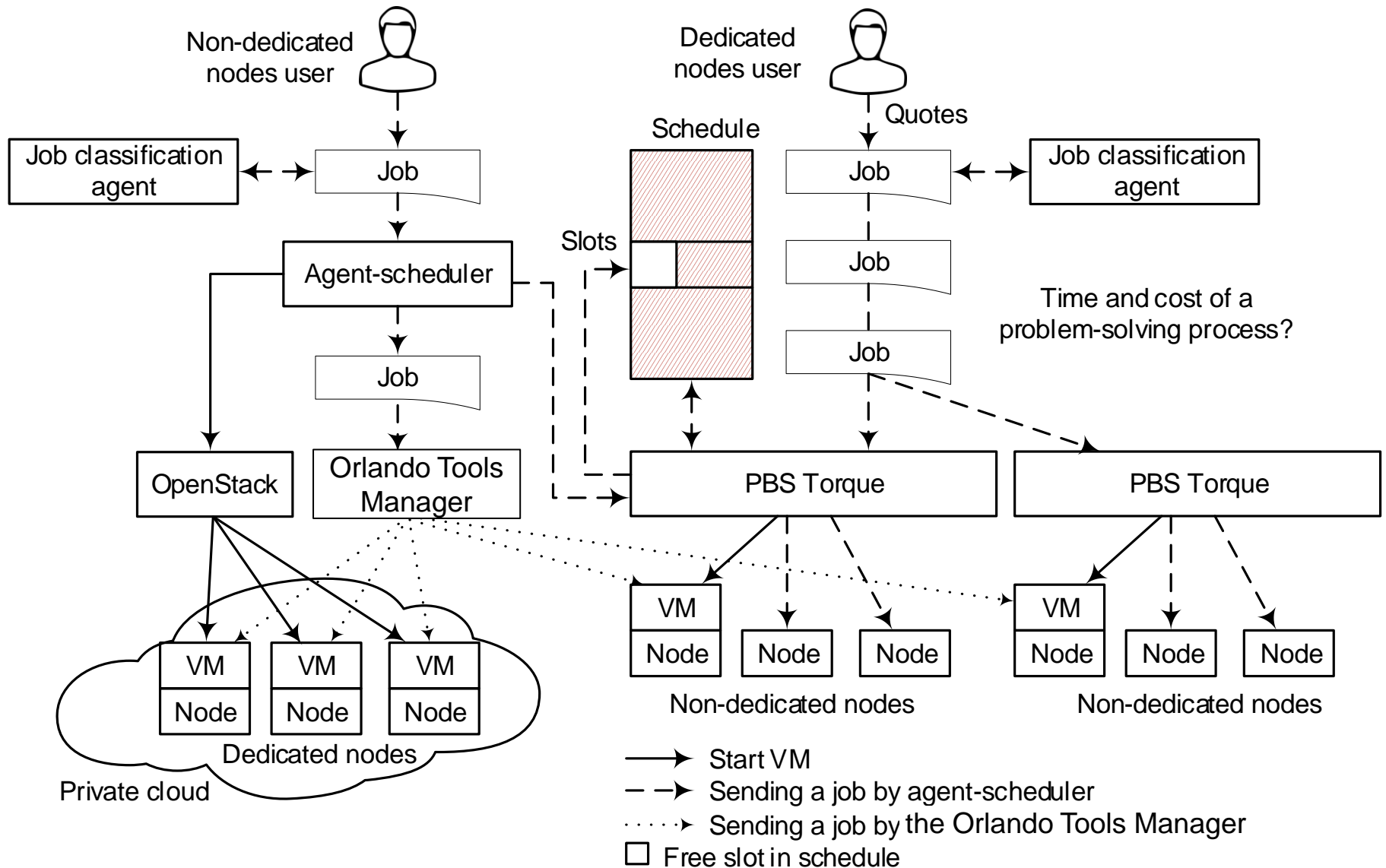


Fig. 16. Grid and Cloud computing integration.

Experimental Analysis (4)

Характеристика	Тип	ОДЗ	Ед. изм.	Обязательная / Опциональная	Уточненная ОДЗ	Спецификация задания
1. Название задания	String	1-255	Char	Обязательная	1-255	Corrective_solver
2. Путь до исполняемого файла	String	1-255	Char	Обязательная	1-255	~/discomp/Corrective/failsets
3. Параметры исполняемого файла	String	1-65535	Char	Обязательная	1-65535	-input_file input.xml -output_file output.xml
4. Количество запрашиваемых узлов	Integer	1-20	Node	Обязательная	1	1
5. Количество запрашиваемых ядер узла	Integer	1-36	Core	Обязательная	32	32
6. Количество ВМ запускаемых на одном узле	Integer	1-36	VM	Обязательная	32	32
7. Гостевая ОС ВМ	String	1-256	Char	Обязательная	ReactOS	ReactOS
8. Менеджер ресурсов ВМ	String	1-256	Char	Обязательная	Orlando	Orlando
9. Количество свободных ядер в окнах расписания менеджера ресурсов в невыделенных ресурсах	Integer	1-36	Core	Обязательная	32	32
10. Минимальный интервал времени для окон в расписании менеджера ресурсов в невыделенных ресурсах	Integer	1-1728000	Second	Обязательная	900-1728000	900
11. Максимальное время выполнения задания	Integer	1-1728000	Second	Опциональная	1-1728000	None
12. Объем ОЗУ	Integer	8-128	GB	Опциональная	8	None
13. Размер диска	Integer	1-2048	GB	Опциональная	1	None

Fig. 17. Example of the job class.

Experimental Analysis (5)

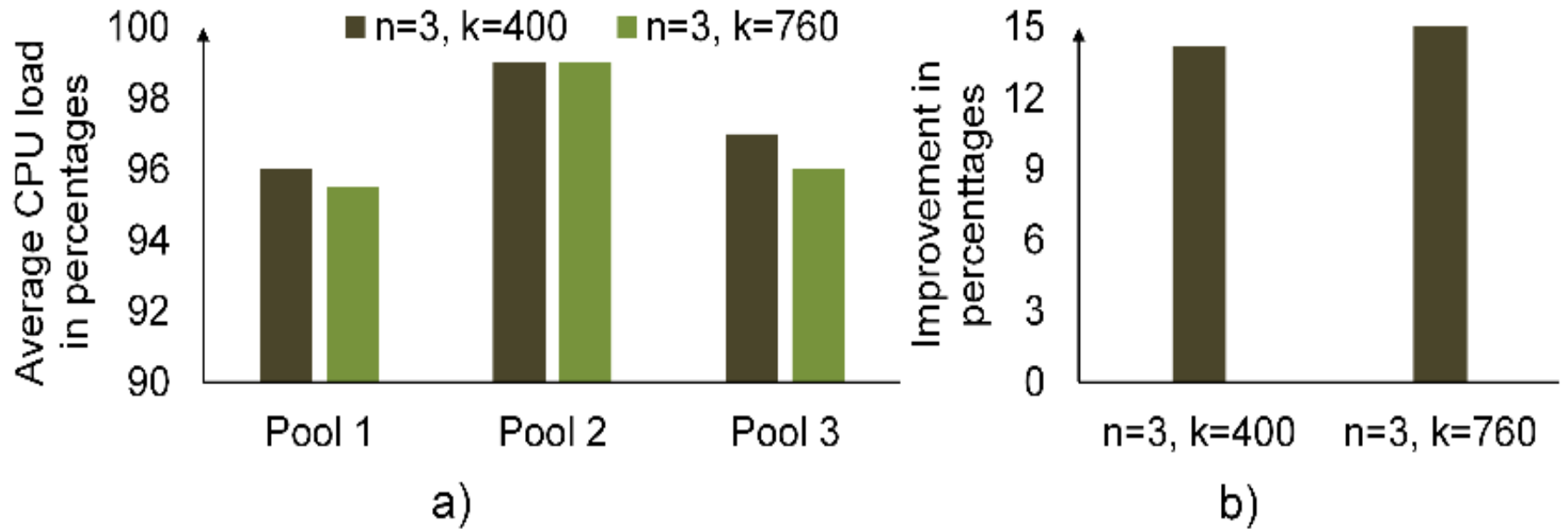


Fig. 18. Average CPU load in pools (a) and the improvement of problem-solving time (b)

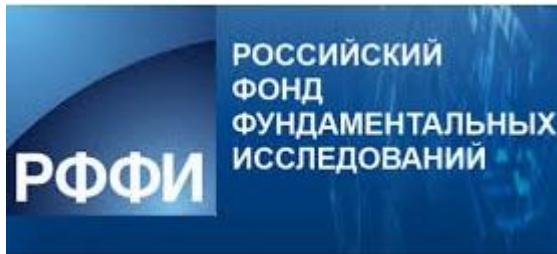
Contributions

- ❑ We propose a new approach to the development and use of scalable applications and create the special framework named Orlando Tools to support it.
- ❑ Orlando Tools provides the opportunity to not only develop applications, but also include various computational infrastructures (individual nodes, clusters, Grids and clouds) in the heterogeneous distributed computing environment and share their possibilities and advantages in the problem-solving process.
- ❑ We demonstrate the benefits of the proposed approach by example of an application for solving important large-scale problems of research on energy security.
- ❑ The experimental analysis shows the advantages and drawback in the use of different infrastructures, and improvement of distributed computing efficiency under the multi-agent management.

Acknowledgements

The study was supported by the following grants:

- ❑ Russian Foundation of Basic Research, project no. 16-07-00931,
- ❑ Presidium RAS, program no. 27, project “Methods and tools for solving hard-search problems with supercomputers”,
- ❑ Program of basic scientific research of the Russian Academy of Sciences, project no. III.17.5.1.



Thank you for your attention!



V. Решение научных и прикладных задач



Исследование направлений
развития топливно-
энергетического комплекса
Вьетнама с учетом
требований энергетической
безопасности



Вьетнам



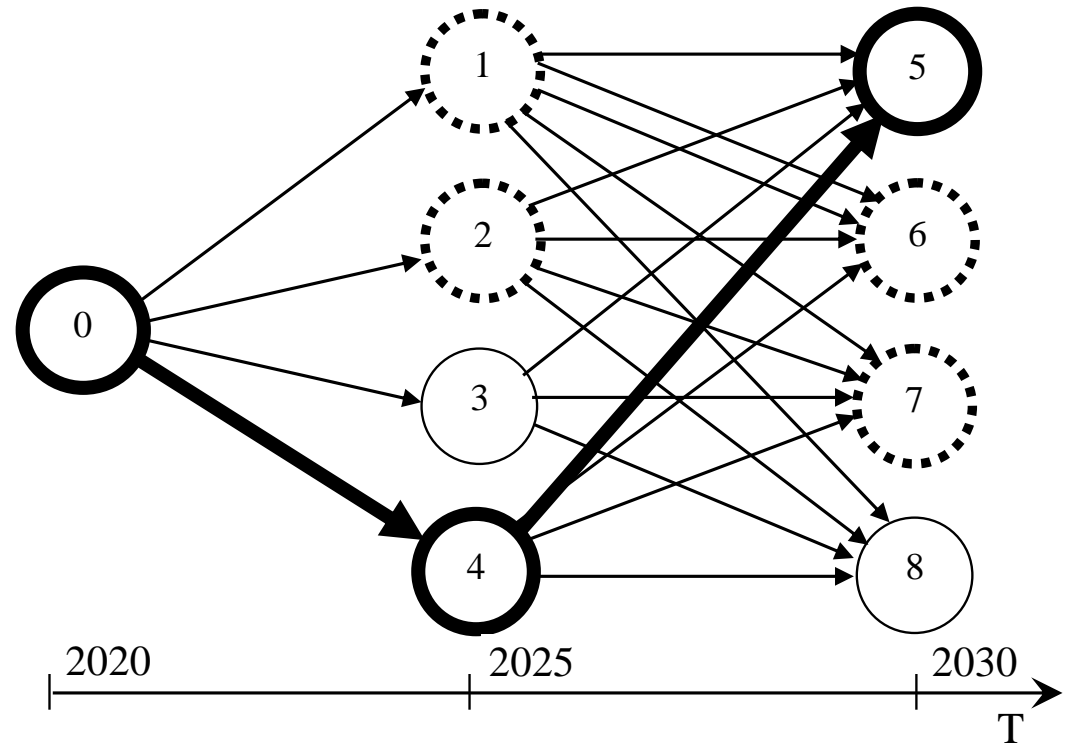
Постановка задачи

$$F(x, y^1, y^2, \dots, y^k) = (c, x) + \sum_{k=1}^K (g^k, r^k - y^k) \rightarrow \min$$

$$Ax - \sum_{k=1}^K y^k = 0$$

$$0 \leq x \leq d$$

$$0 \leq y^k \leq r^k$$



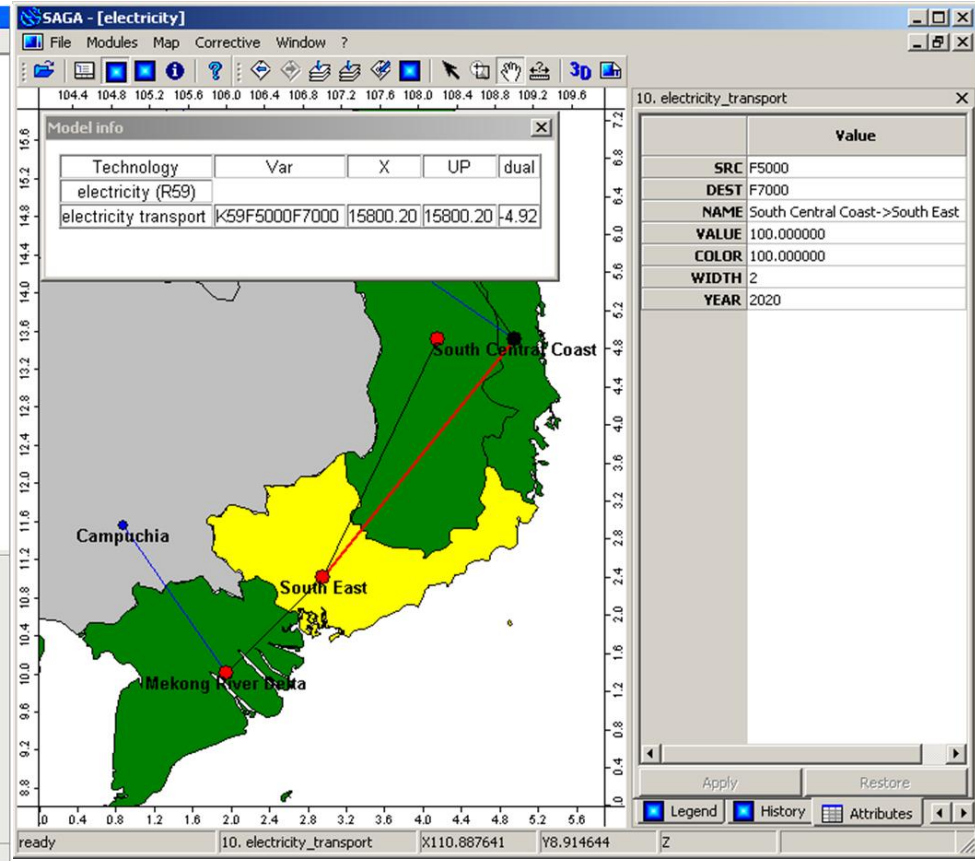
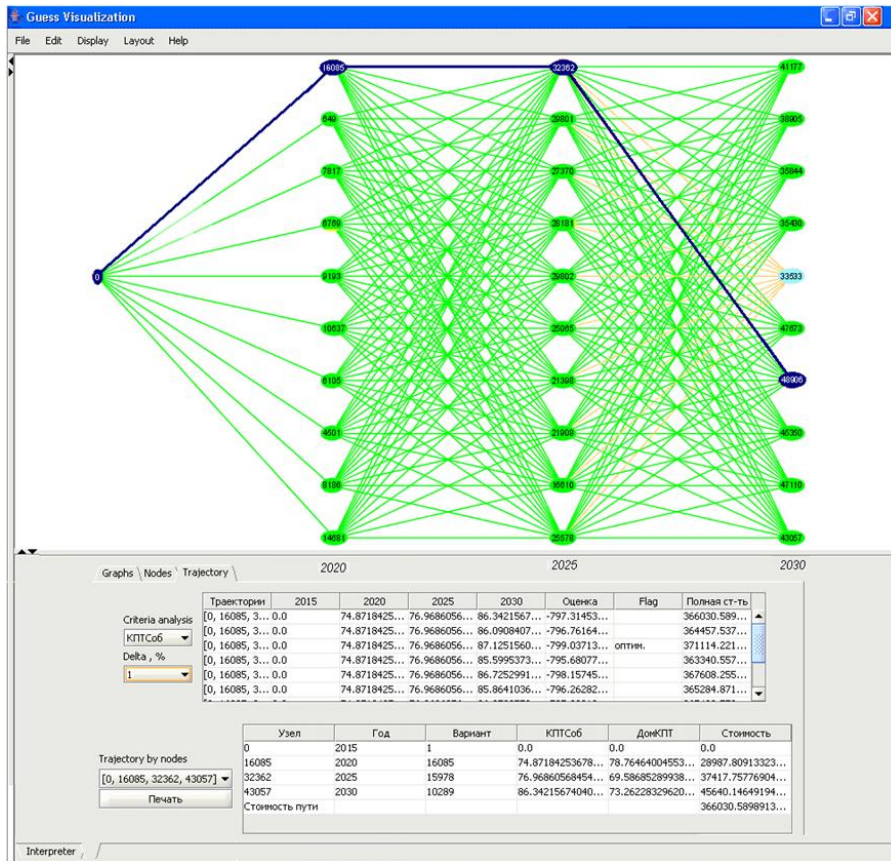
Оптимальные состояния – ○

Недопустимые состояния – ○

Оценка состояния осуществляется на основе
балансовой экономико-математической модели ТЭК



Приложение для исследования развития ТЭК Вьетнама



Рациональный путь развития энергетики Вьетнама с точки зрения требований энергобезопасности – увеличение добычи природного газа в стране и сокращения добычи угля на внутреннем рынке в течение всего рассматриваемого временного интервала.



Ускорение и эффективность вычислений

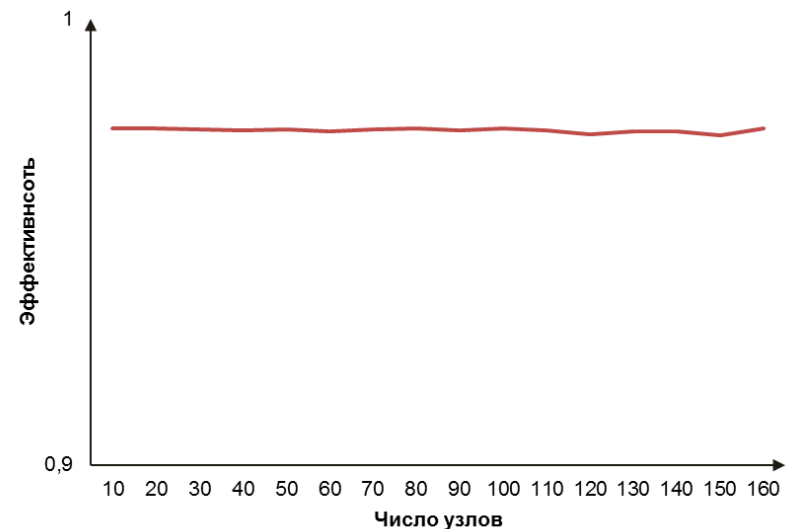
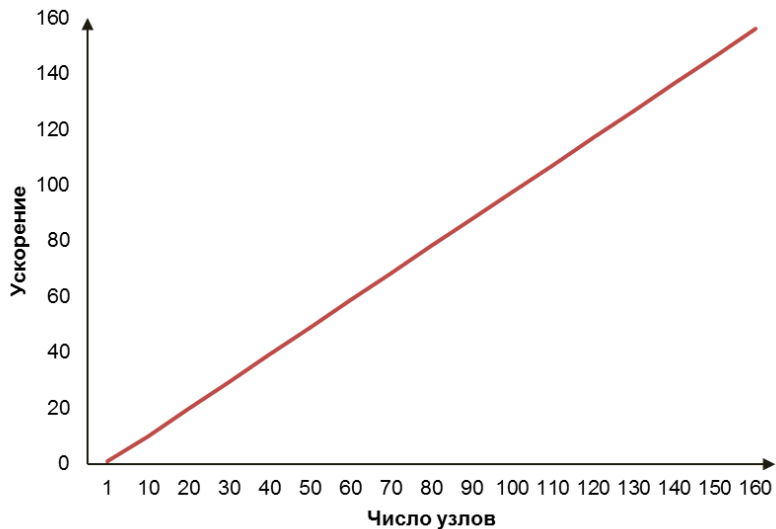
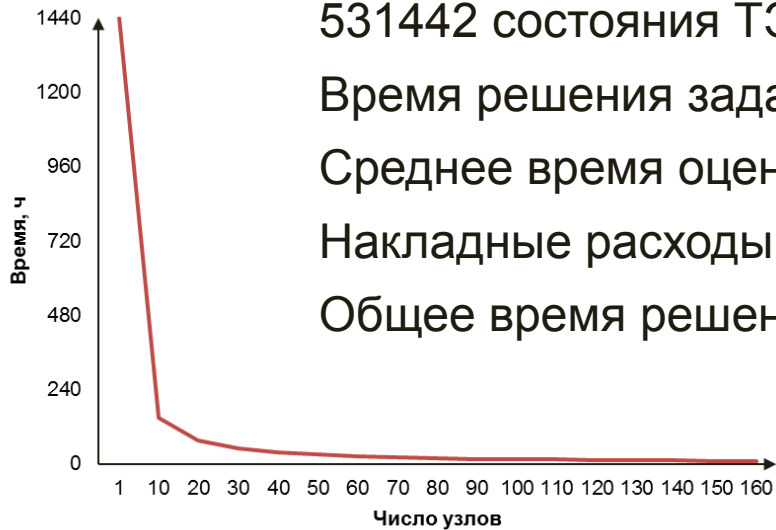
531442 состояния ТЭК


Время решения задачи на 1 ядре – свыше 1440 ч (60 сут.)

Среднее время оценки 1 состояния ТЭК модулем $m_3 \sim 10$ с.

Накладные расходы на виртуализацию $\leq 5\%$.

Общее время решения задачи в виртуализированной среде ~ 9 ч.

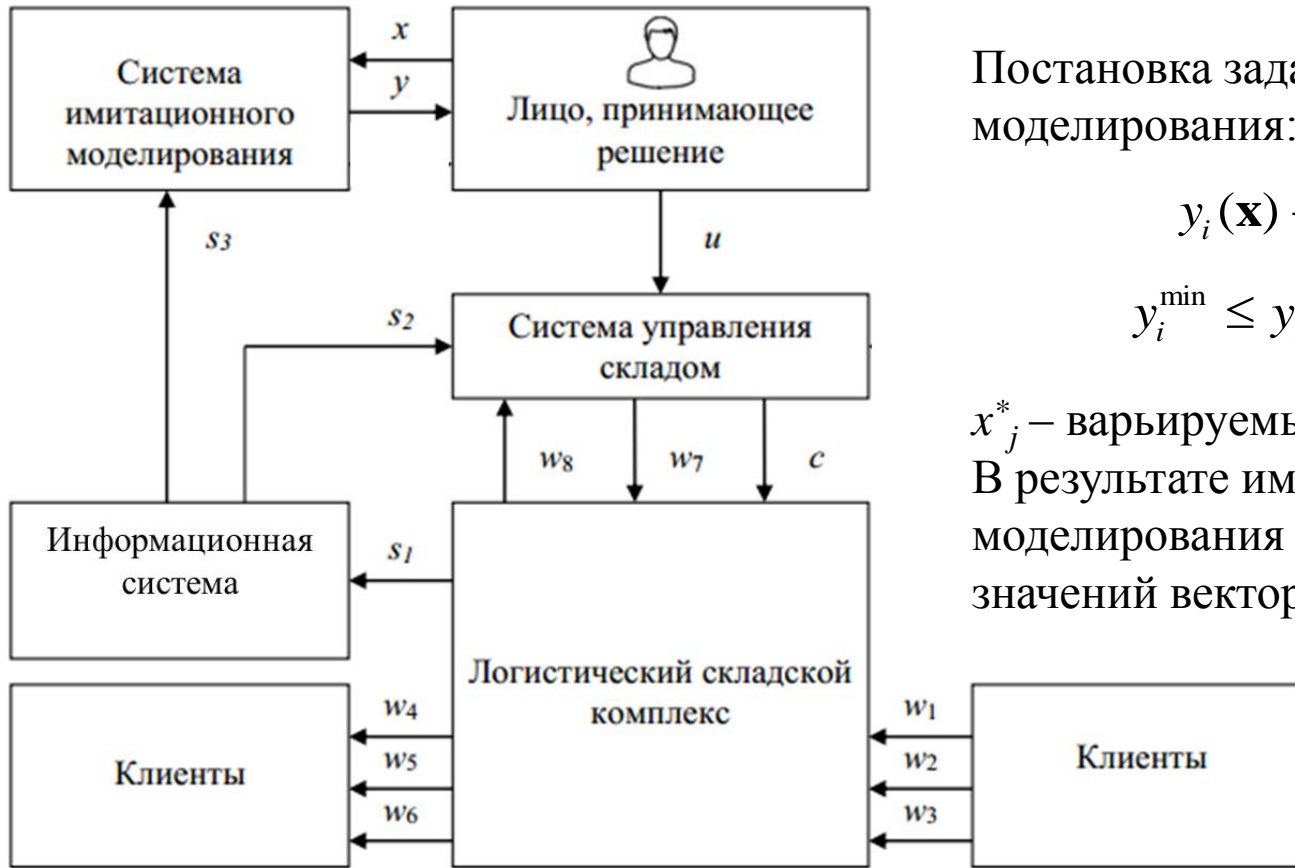




Поддержка управленческих решений для
складского комплекса
ООО «Иркутский хладокомбинат»



Схема управления складским комплексом



Постановка задачи имитационного моделирования:

$$y_i(\mathbf{x}) \rightarrow \min(\max),$$

$$y_i^{\min} \leq y_i \leq y_i^{\max}, i = \overline{1, n},$$

x_j^* – варьируемые элементы вектора \mathbf{x} .
В результате имитационного моделирования получаем m вариантов значений вектора \mathbf{y} : $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_m$.

Выбор оптимального варианта $\mathbf{y}_k(\mathbf{x})$:

$$\mathbf{y}_k : (\forall y_l \exists p \in \overline{1, n-1} : (\hat{y}_{1k} = \hat{y}_{1l}) \wedge \dots \wedge (\hat{y}_{pk} = \hat{y}_{pl}) \wedge (\hat{y}_{(p+1)k} > \hat{y}_{(p+1)l})),$$

\hat{y}_{ij} – оценка значения i -го элемента вектора \mathbf{y}_j , $i \in \overline{1, n}$, $j, k, l \in \overline{1, m}$, $k \neq l$.

Формирование управляющих воздействий: $u_r = x_{i_r}^*$.



Отличительные особенности ИК Orlando

Специализированная Grid для решения задач складской логистики



Сервис имитационного моделирования складской логистики

☰ SERVICES TASKS RESULTS RESOURCES

Modeling of loading and unloading works Task name

Model runs number for transition to the operating mode

Model runs number in the operating mode

Files of source data variants:

Choice of observed parameters:

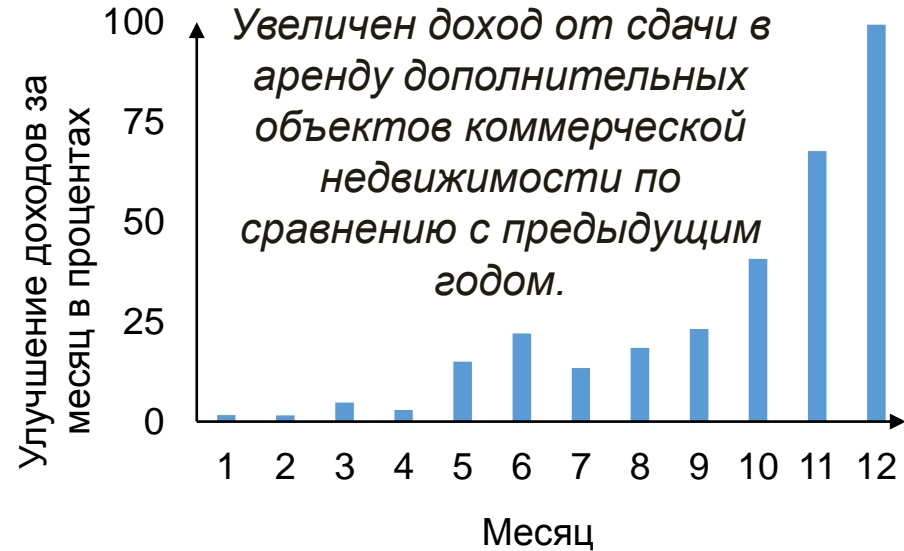
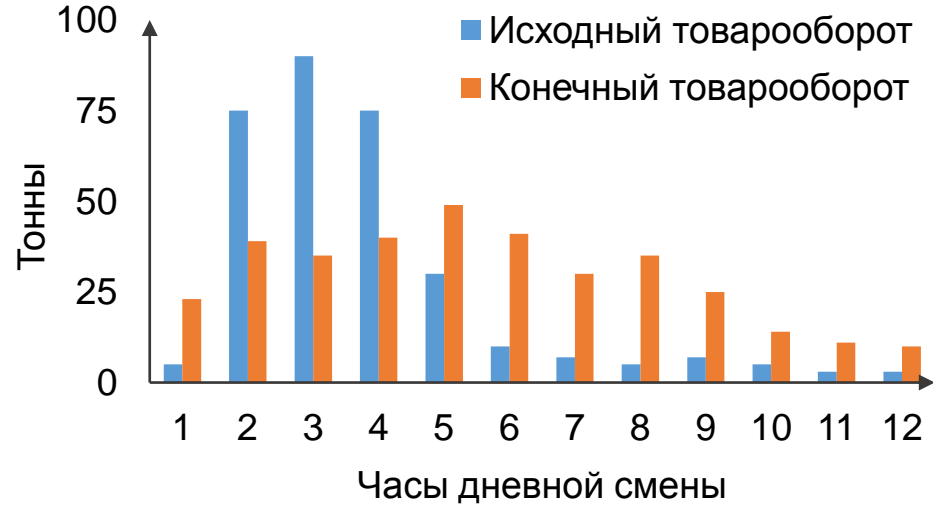
SAVEVALUE VALUE
STORAGE ENTRIES

Statistics analysis method:

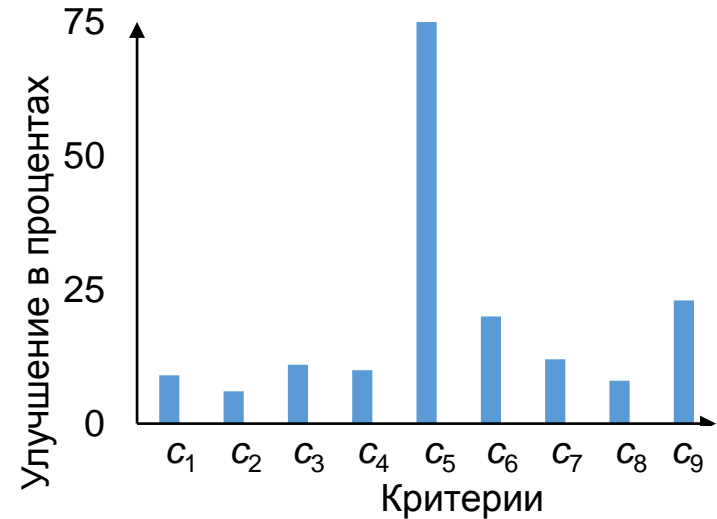
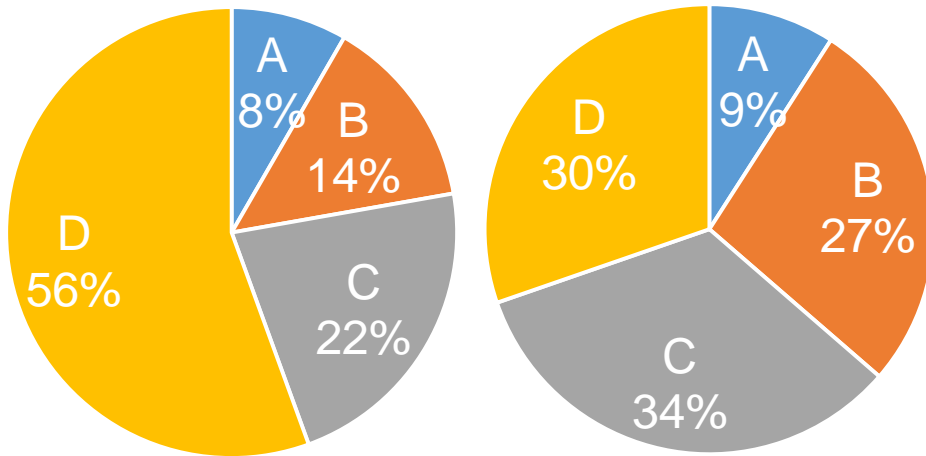
Sorting order:



Полученные результаты



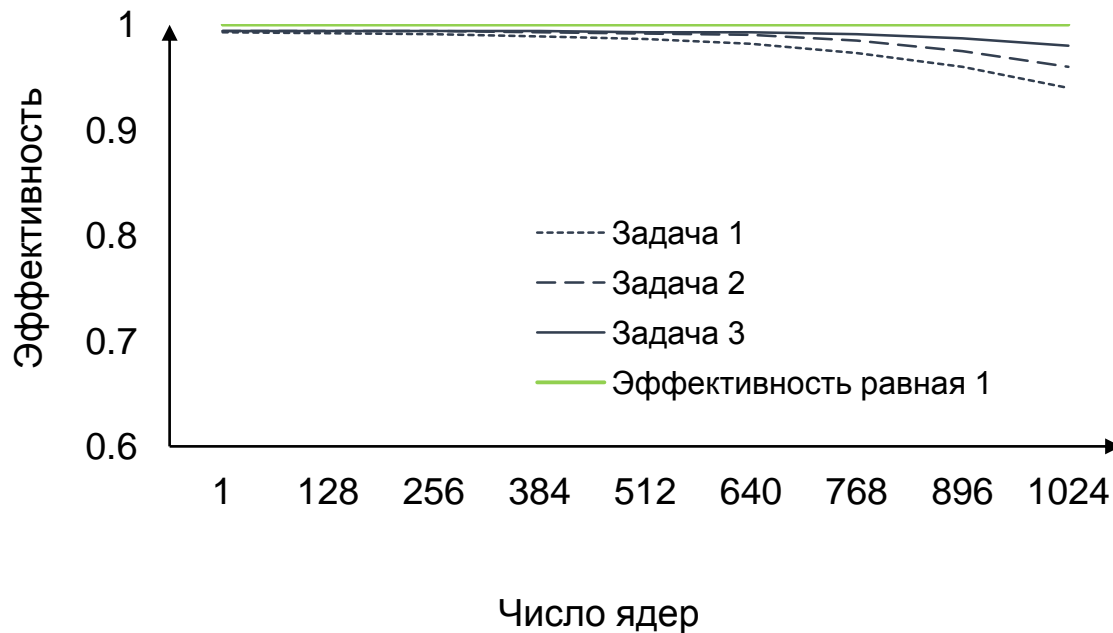
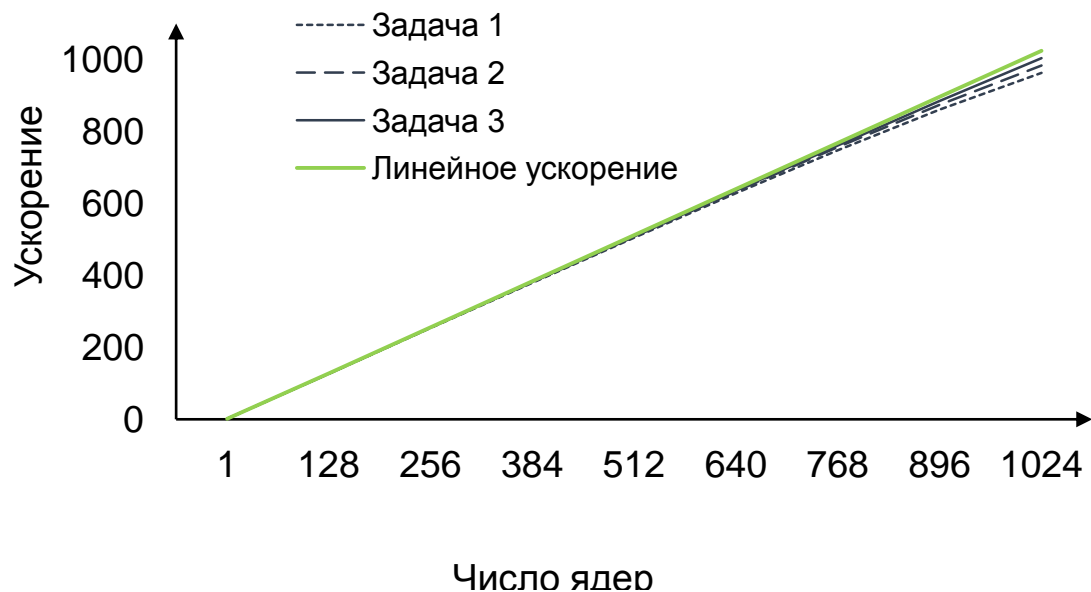
Увеличен и сбалансирован суточный товарооборот.



Улучшена структура клиентов (существенно снижена доля мелких клиентов D, увеличена доля клиентов A, B и C, а также повышена рентабельность логистических операций.



Ускорение и эффективность вычислений



Имитационные модели
на языке GPSS под
управлением ОС
Windows

Время счета на 1 ядре:
Задача 1: 8.3 ч.
Задача 2: 2.5 ч.
Задача 3: 20.7 ч.

T-Blade V205S (2x16
cores CPU AMD
Opteron 6276, 2.3
GHz, 16 MB L3 cache, 4
FLOP/cycle, 64 GB RAM
DDR3-1600)

Оптимизация многоэкстремальных функций



Постановка задачи

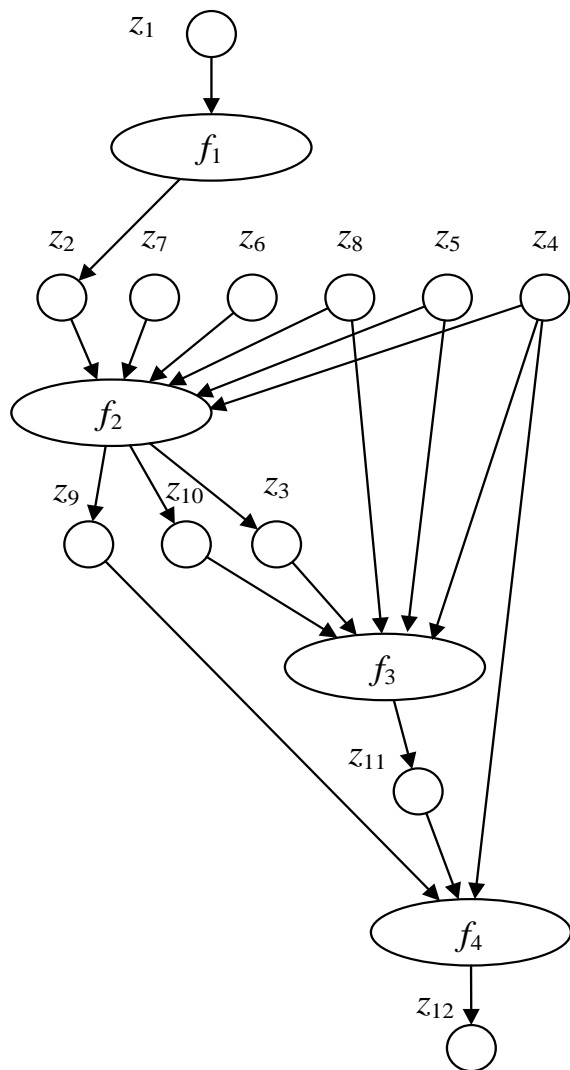
Метод мультистарта основывается на сведении поиска глобального минимума функции к случайному поиску ее локальных минимумов. Для их поиска в данном методе используются различные алгоритмы спуска, осуществляемого из некоторого множества X , включающего m начальных точек, в ее локальные минимумы u_1, u_2, \dots, u_m . Наименьшее значение $u^* = \min_{i=1, m} u_i$ функции выбирается в качестве ее глобального минимума.

В общем виде, схема решения задачи включает три основных этапа:

- построение множества X начальных точек;
- параллельное выполнение спуска из начальных точек для поиска локальных минимумов u_1, u_2, \dots, u_m ;
- выбор глобального минимума u^* .



Описание предметной области



Параметры:

- z_1 – число экземпляров операций,
- z_2 – информация о выделенных ресурсах и их производительности,
- z_3 – ресурсы, на которых будут запущены экземпляры операции,
- z_4 – минимизируемая многоэкстремальная функция в текстовом виде,
- z_5 – размерность функции,
- z_6 – параметры минимизации,
- z_7 – область генерации начальных точек,
- z_8 – число начальных точек,
- z_9 – число групп с начальными точками,
- z_{10} – параллельный список групп начальных точек,
- z_{11} – параллельный список локальных минимумов и их координат,
- z_{12} – минимальное значение многоэкстремальной функции и координаты точки, в которой оно найдено.

Операции:

- $f_1(z_1 \rightarrow z_2)$ – резервирование ресурсов,
- $f_2(z_2, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8 \rightarrow z_3, z_9, z_{10})$ – генерация начальных точек,
- $f_3(z_{10} \rightarrow z_{11})$ – осуществление спуска из начальной точки методом градиента,
- $f_4(z_9, z_{11} \rightarrow z_{12})$ – нахождение минимального значения функции.



Описание предметной области в Orlando Tools

```
<!-- Parameter specification section -->
<parameters>
  <parameter name='list' type='filelist'
    filepattern='list_%1.txt' />
  <parameter name='result' type='filelist'
    filepattern='result_%1.txt' />
</parameters>
<!-- Module Specification section -->
<modules>
  <module name='solver'>
    <commands os='Linux'>
      <start>./start.sh</start>
      <stop>./stop.sh</stop>
    </commands>
    <parameters>
      <input>
        <parameter name='list' />
      </input>
      <output>
        <parameter name='result' />
      </output>
    </parameters>
  </module>
</modules>
<scheme>
  <stage>
    <listmodule name='solver'
      onFinish='checkResult($el_num)' />
  </stage>
</scheme>
<control><![CDATA[
  function checkListResult (element_num) {
  // Get output element value of the parameter
  // "result" with the number "el_num"
    var res = DiscompAPI.getLPV('result',
      el_num);
  // If element value contain substring
  // "RESULT FOUND", then stop all
  // modules on current stage and go next
    if ( res.match(/RESULT FOUND/) ) {
      DiscompAPI.stopStageModules (); } }
  ]]></control>
```

[Home page](#) [Package editor](#) [Servers](#) [Tasks](#) [Project](#) [gradient](#)

- Projects
- Modules
- Parameters
- Operations
- Problems
- Graph

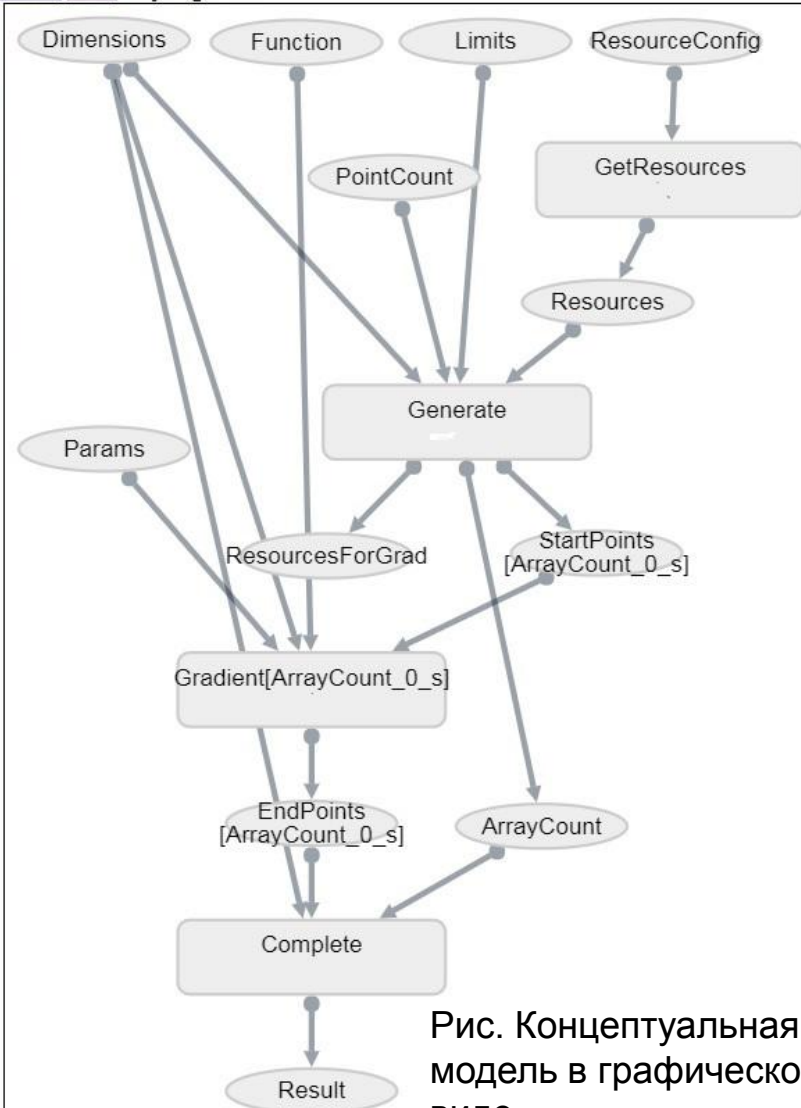


Рис. Концептуальная модель в графическом виде

Рис. Концептуальная модель на языке XML

Сравнение различных тактик распределения начальных точек

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1, \quad \tau = \left[\max_{i=1, k} \left(\varepsilon_i + \alpha(h) \frac{d_i}{\pi_i} \right) \right] \rightarrow \min;$$

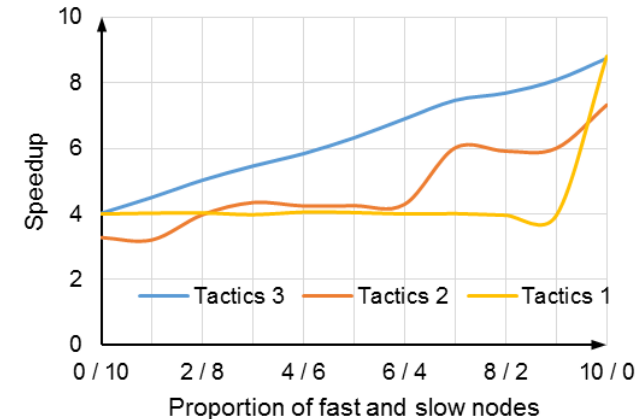
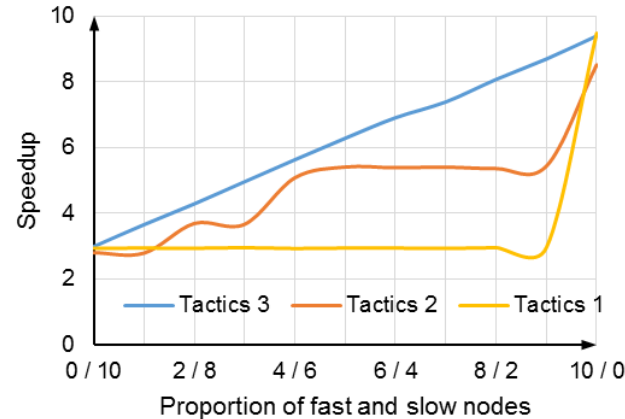
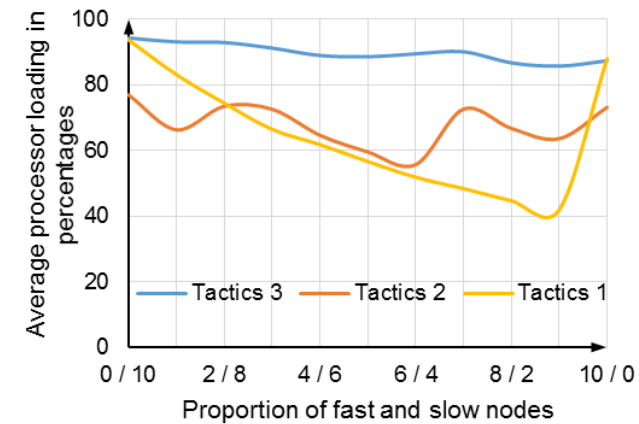
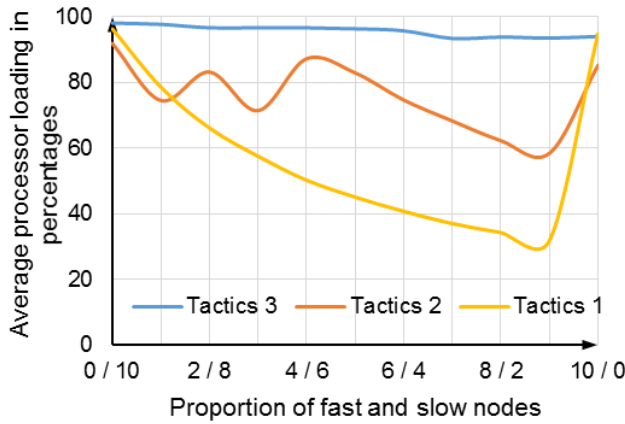
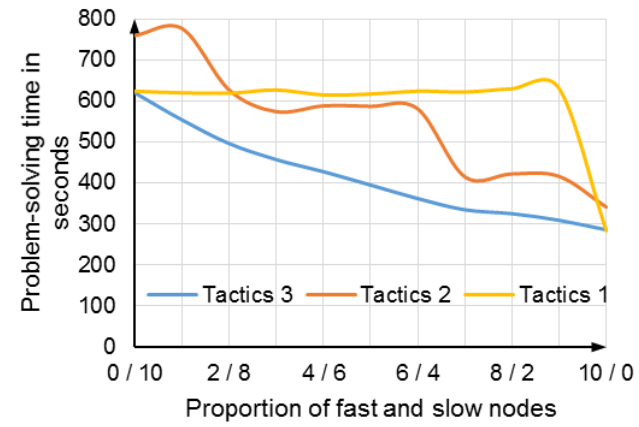
$$-28 \leq x_i \leq 28, \quad i = \overline{1, n}.$$

$$\sum_{i=1}^k d_i = m.$$

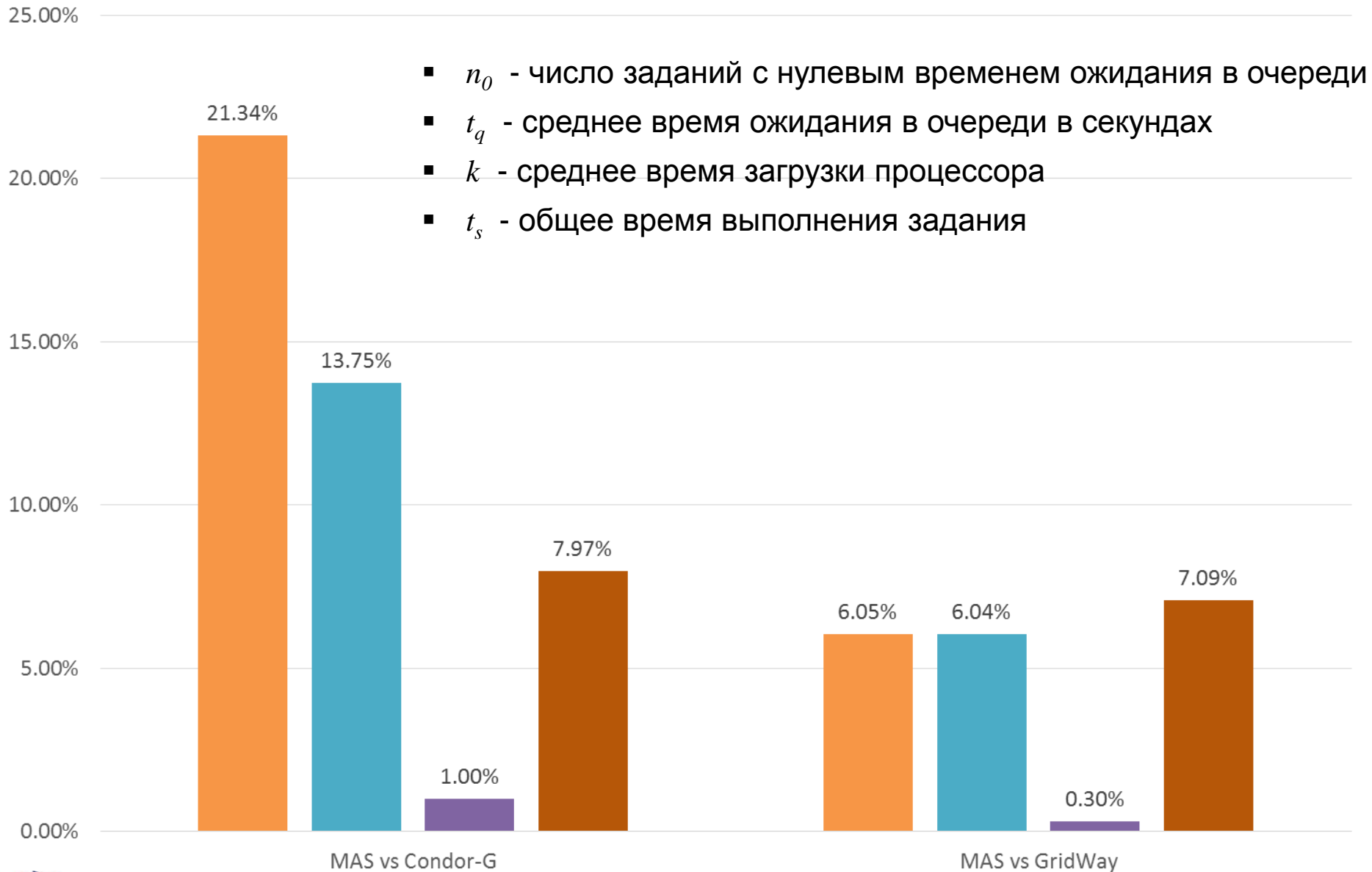
Показатель	Тактика 1	Тактика 2	Тактика 3
Время, с	1580	1381	843
Ускорение	4.54	5.20	8.51
Эффективность	0.45	0.52	0.85



Сравнение различных тактик распределения начальных точек



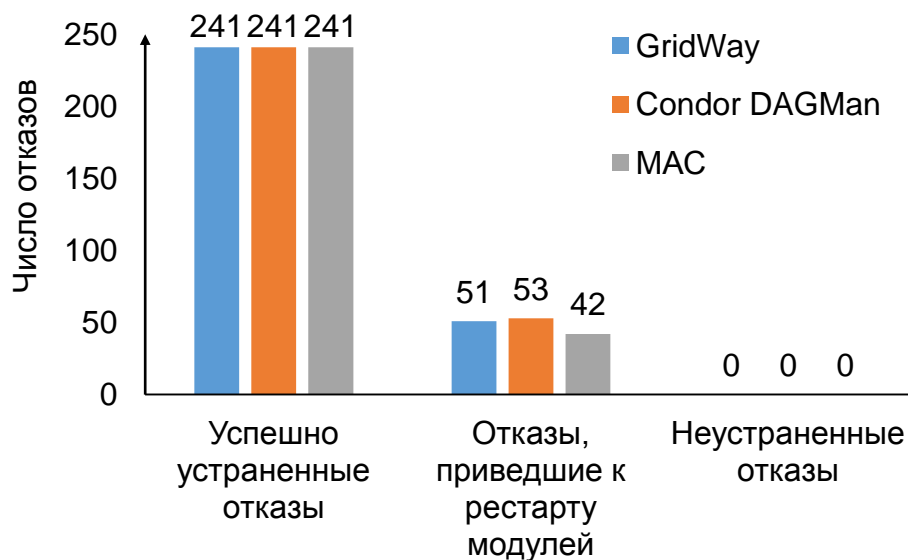
Сравнение с традиционными метапланировщиками (1)



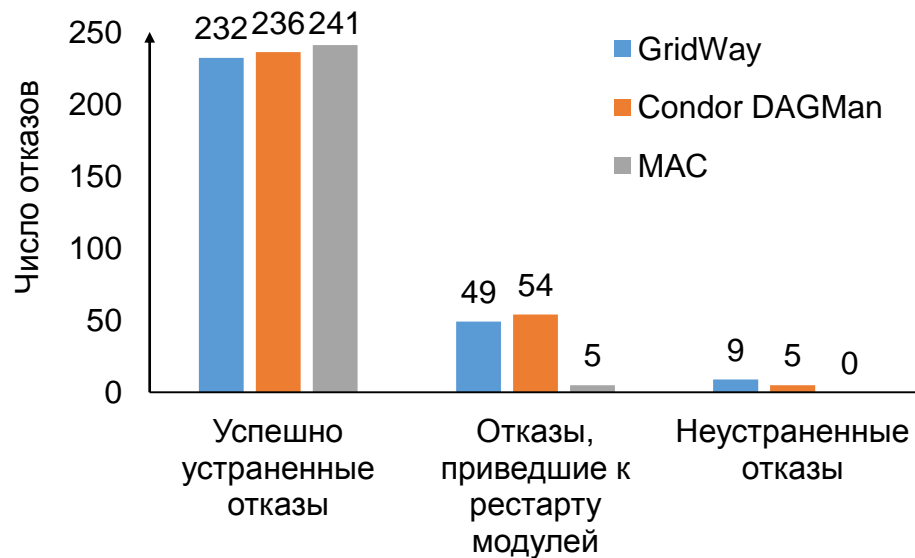
- n_0 - число заданий с нулевым временем ожидания в очереди
- t_q - среднее время ожидания в очереди в секундах
- k - среднее время загрузки процессора
- t_s - общее время выполнения задания



Сравнение с традиционными метапланировщиками (2)



а)



б)

Рис. Статистика по выполнению заданий при отказе узлов (а) и элементов систем управления (б)

