

ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ЭЛЕМЕНТОВ КОРАБЕЛЬНЫХ АСУ

УДК 623.618

А.В. Царевский

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ АСУ (ЧАСТЬ 1)

Царевский Андрей Валентинович, окончил физический факультет Казанского государственного университета. Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области разработки общесистемного программного обеспечения для корабельных систем управления и автоматизации проектирования систем обработки информации. [Тел.: (8422) 26-26-44].

Аннотация

В статье представлена программная реализация разработанных в ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» методов для автоматизированного синтеза проектных решений аппаратно-программных комплексов обработки информации (АПКОИ) корабельных АСУ. Функциональное назначение АПКОИ - это совокупная обработка информации от корабельных систем и автоматическая выработка ряда управляющих воздействий на корабельные системы в реальном масштабе времени и с заданным уровнем надежности. Представлены отличительные особенности проектных решений, синтезированные разработанными методами и применяемым в настоящее время подходом.

Ключевые слова: системы автоматизации, синтез проектных решений, математические модели.

Abstract

The article presents a software implementation of methods developed at FRPC OJSC 'RPA 'Mars' for computer-aided synthesis of design solutions of hardware and software systems of data processing for shipborne C2 systems. The functional purpose of the hardware and software systems of data processing is an aggregate processing of data from shipborne systems and automatic generation of a range of control actions to shipborne systems in real-time mode and at a given reliability. It also gives distinctive features of design solutions synthesized using developed methods and the approach applied actually.

Key words: automatization system, synthesis of design solutions, mathematical models.

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование — это комплекс работ с целью получения описаний нового или модернизируемого технического объекта, достаточных для реализации или изготовления объекта в заданных условиях [1]. Сущность проектирования заключается в принятии проектных решений, обеспечивающих выполнение будущим объек-

том предъявляемых к нему требований. В САПР выделяются функциональное, конструкторское и технологическое проектирование. Функциональное проектирование — это система САЕ (Computer Aided Engineering) — система инженерного анализа проектных решений, используется в САПР для решения задач моделирования и анализа объектов производства. Функции САЕ —

это проектные процедуры анализа, моделирования и оптимизации проектных решений. Одним из видов обеспечения САПР, входящим в систему САЕ, является математическое обеспечение, объединяющее математические модели, методы и алгоритмы для выполнения проектирования, в частности для синтеза проектных решений. Разработанное в НПО «Марс» программное обеспечение для автоматизации проектирования АПКОИ корабельных АСУ включает математические модели, алгоритмы и формальные зависимости для синтеза проектных решений [2, 3]. Рассматриваемые средства автоматизации являются элементами САПР корабельных АСУ, разработка которых ведется на ряде предприятий [4].

1 Программный комплекс синтеза проектных решений АПКОИ

Программный комплекс (ПК) реализован под ОС Linux с применением ЯВУ С++ и графического интерфейса GTK+.

На рисунке 1 представлена модель работы ПК «Оптимизация аппаратно-программных комплексов обработки информации» в виде UML-диаграммы последовательности.

Модель ПК содержит пять объектов:

«Панель управления» - диалоговая часть, позволяющая оператору управлять ПК (выбор задачи оптимизации, организация процесса расчетов, управление окнами, набор исходных данных).

«Ввод данных» - считывание набора исходных данных (экспериментальные зависимости по техническим средствам (ТС) и программным средствам (ПС), параметры информации абонентов) и их проверка. Проверяется полнота введения при решении выбранной задачи.

«Расчет» - выполнение выбранного алгоритма синтеза проектных решений АПКОИ.

«Сохранение результатов» - запись синтезированных проектов АПКОИ в файл по каждому количеству средств сопряжения (СС). Объект выполняется в итерациях.

«Окно результатов» - вывод синтезированных проектов для просмотра

На рисунке 2 показана панель ПК «Оптимизация аппаратно-программных комплексов обработки информации».

Панель ПК состоит из трех блоков: «Экспериментальные зависимости», «Исходные параметры информации» (параметры информации абонентов), «Управление».

Блок «Экспериментальные зависимости».

Экспериментальная зависимость стоимости ТС от производительности и надежности вводится в подблоке «Технические средства».

Строка ввода «Производительности» - вводится перечень производительностей ТС, которые могут быть использованы в СС.

Строка ввода «Стоимости» - вводится перечень стоимостей ТС для каждой производительности.

Строка ввода «Минимальные значения надежности» - вводится перечень минимальной надежности ТС для каждой производительности.

В строках ввода «Второй набор надежностей» и «Стоимости» - вводится второй перечень надежности и стоимости ТС для каждой производительности.

В строках ввода «Третий набор надежностей» и «Стоимости» - вводится третий перечень надежности и стоимости ТС для каждой производительности.

В строках ввода «Четвертый набор надежностей» и «Стоимости» - вводится четвертый перечень надежности и стоимости ТС для каждой производительности.

При отсутствии наборов расчет надежностей проводится по формуле резервирования

$$p = (1 - (1 - P_{ТС})^k),$$

где k - степень резервирования,

$P_{ТС}$ - минимальная надежность ТС.

Экспериментальная зависимость стоимости ПС от надежности вводится в подблоке «Программные средства» в строках ввода «Надежности», «Стоимости».

Блок «Исходные параметры информации».

Строка ввода «Объем информации (байт/с)» - вводятся значения параметров v (объем поступающих данных в единицу времени — байт в секунду) по каждому абоненту.

Строка ввода «Надежности обработки» - вводится перечень требуемых надежностей обработки каждого абонента.

Блок «Управление».

Строка ввода «Ограничение на распределение» - вводится количество подряд идущих вариантов распределения абонентов по СС, при котором не уменьшается суммарная стоимость СС. Параметр используется в алгоритмах, основанных на случайном распределении.

Строка ввода «Ограничение на количество ТС» - вводится максимальное количество СС, по которым производится распределение абонентов. При введении «0» или пустой строки распределение происходит по всему допустимому количеству СС (максимальное количество СС равно количеству распределяемых абонентов).

Кнопка «Сохранить данные» - отображается диалоговое окно «Выбор файла для записи исходных данных проектирования» (рис. 4). Окно позволяет выполнять ряд операций с файлами или каталогами, которые указаны на рисунке 3. Выбирается или вводится новое имя файла, где сохраняются введенные данные по экспериментальным зависимостям и параметрам информации.

Кнопка «Загрузить данные» - отображается диалоговое окно «Выбор файла с исходными данными проектирования» (рис. 3). Данные из файла загружаются в строки ввода по экспериментальным зависимостям и параметрам информации.

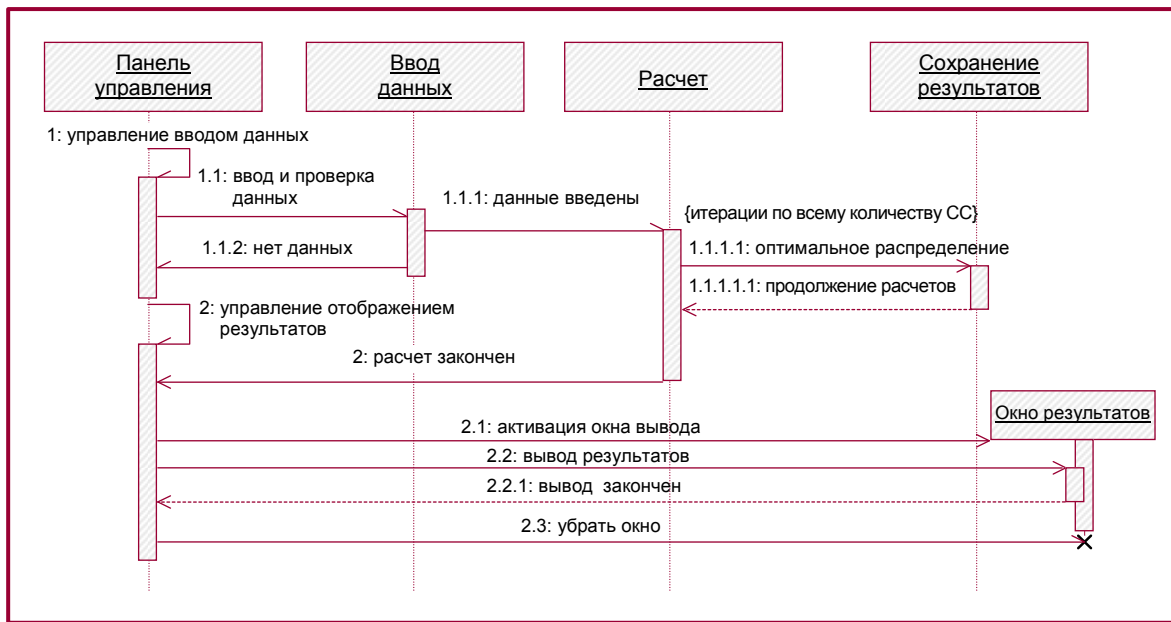


Рис. 1. UML-диаграмма последовательности программы «Оптимизация аппаратно-программных комплексов обработки информации»

Кнопка «Первая задача (1)» - синтез проектных решений с использованием экспериментальных зависимостей стоимости ТС от производительности.

Кнопка «Первая задача (2)» - синтез проектных решений с использованием экспериментальных зависимостей стоимости ТС от производительности.

Кнопка «Вторая задача» - синтез проектных решений с использованием экспериментальных зависимостей стоимости ТС от производительности и надежности, стоимости разработки ПС от надежности.

При нажатии кнопок «Первая задача (1)», «Первая задача (2)» или «Вторая задача» отображается диалоговое окно «Выбор

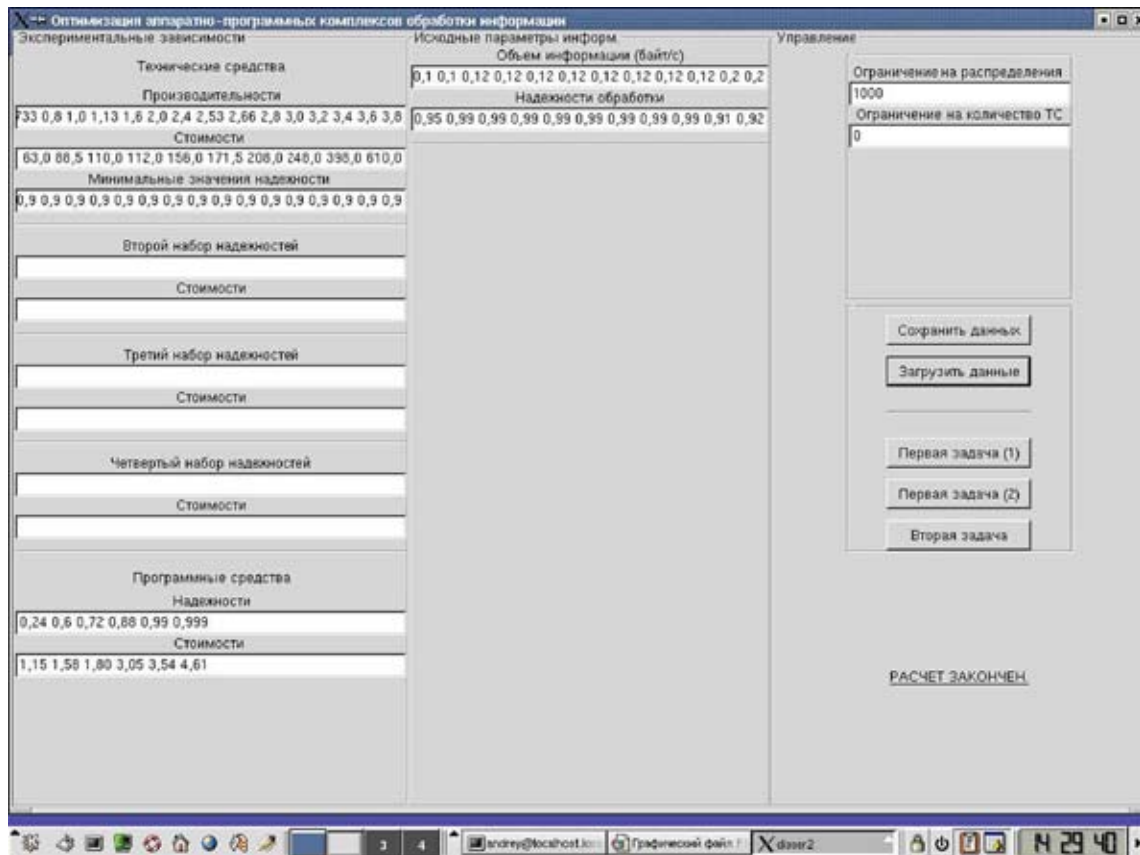


Рис. 2. Панель ПК «Оптимизация аппаратно-программных комплексов обработки информации»

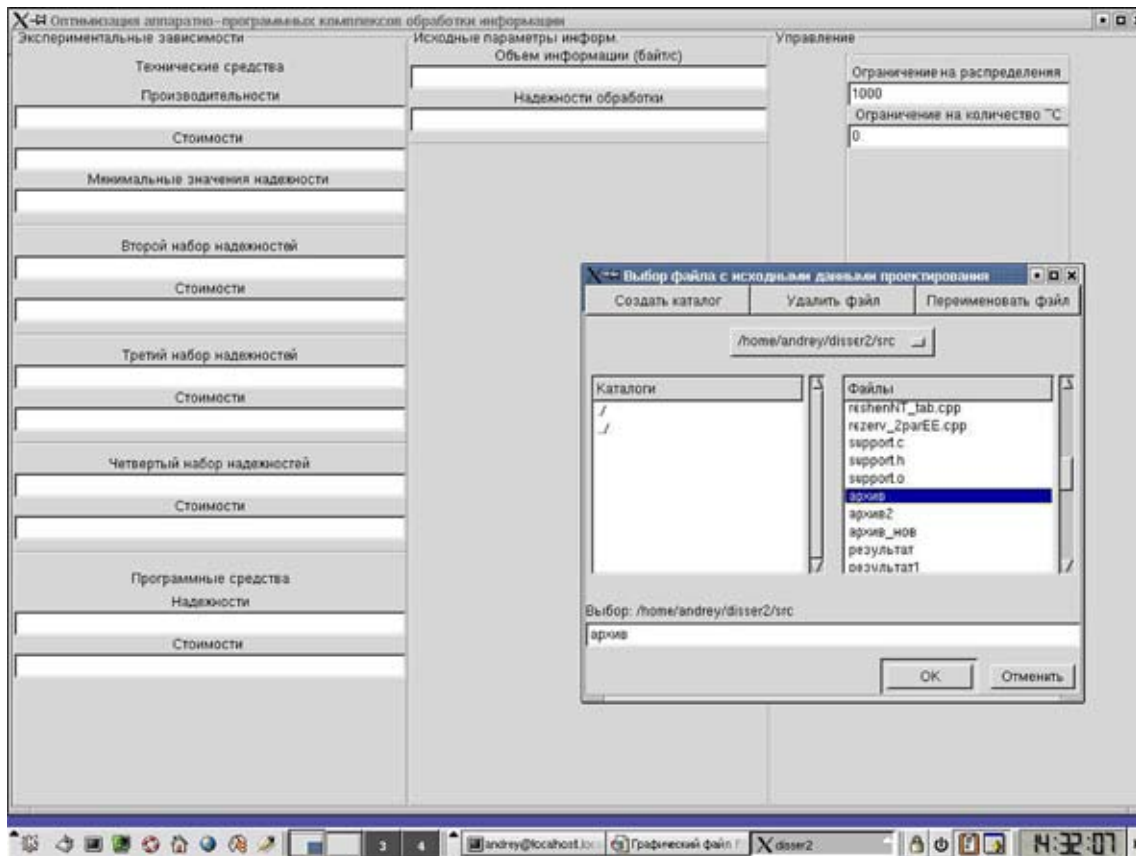


Рис. 3. Главная панель с диалоговым окном выбора файла с исходными данными проектирования

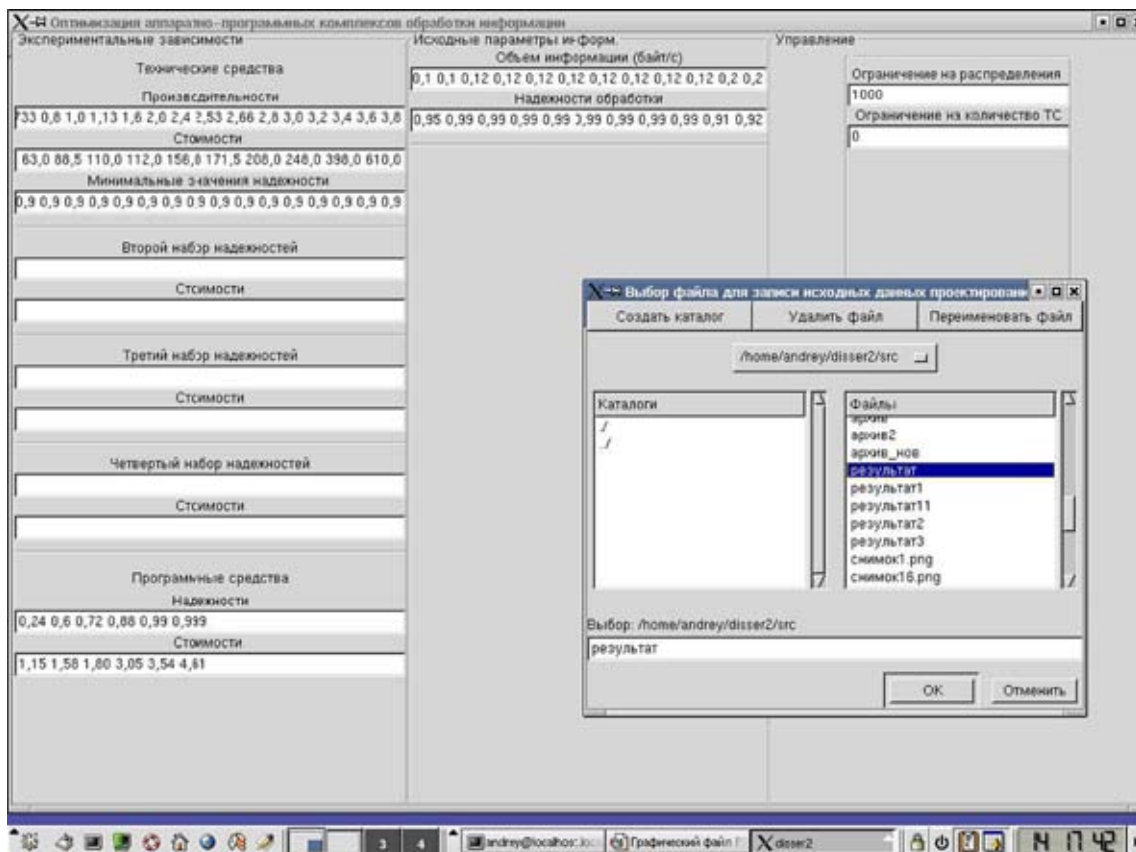


Рис. 4. Главная панель с диалоговым окном выбора файла для записи исходных данных проектирования

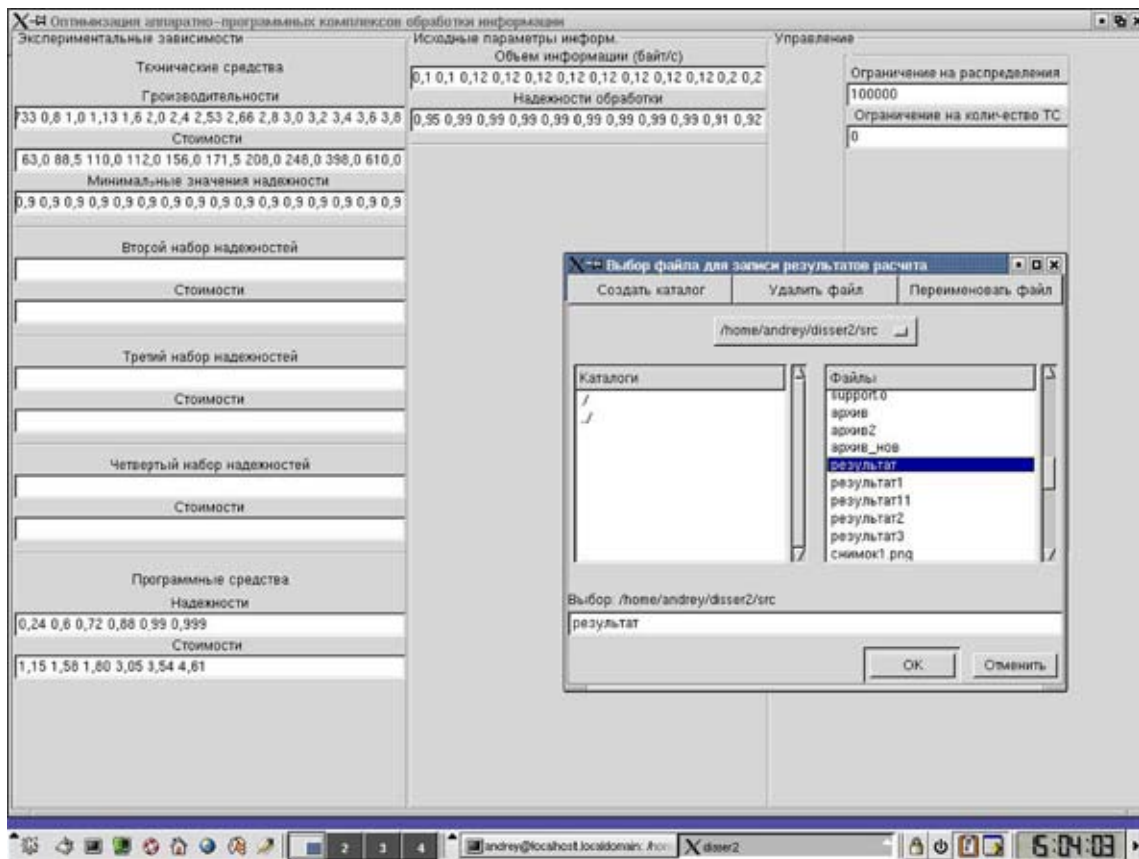


Рис. 5. Главная панель с диалоговым окном выбора файла для записи результатов расчета

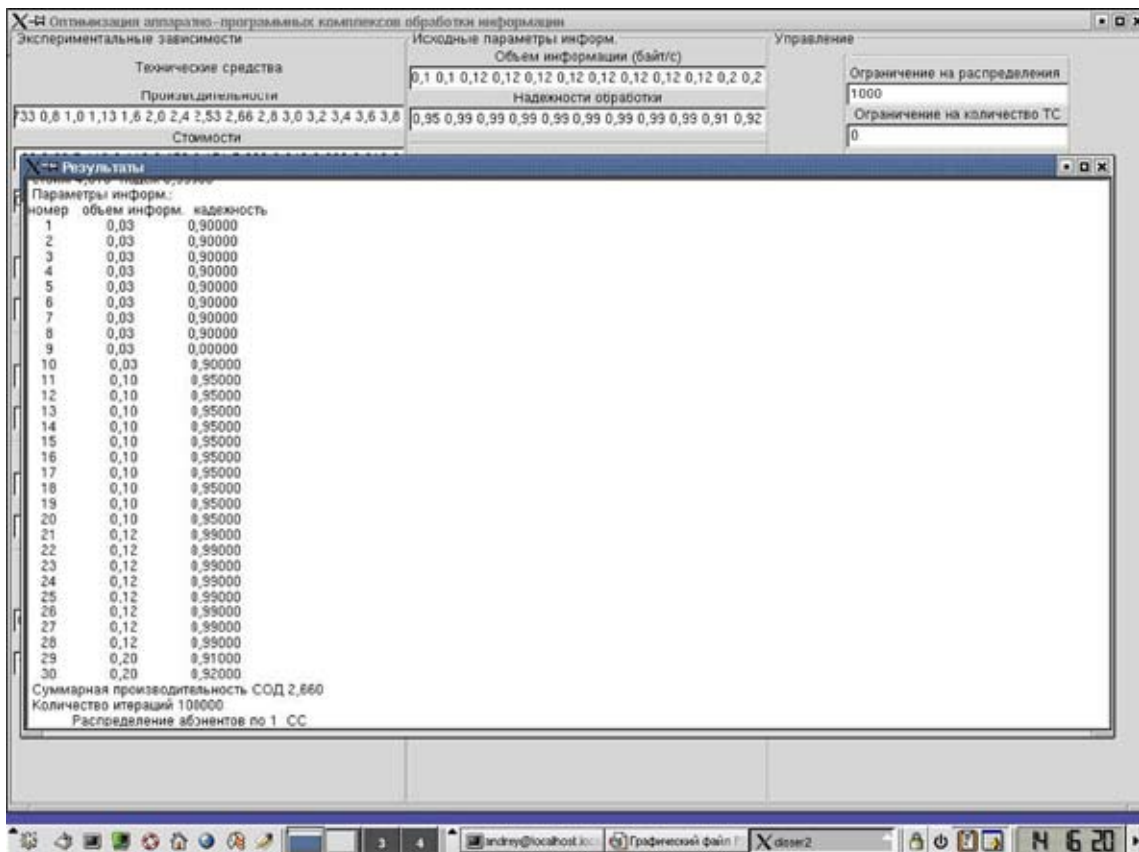


Рис. 6. Окно «Результаты» с данными по параметрам информации

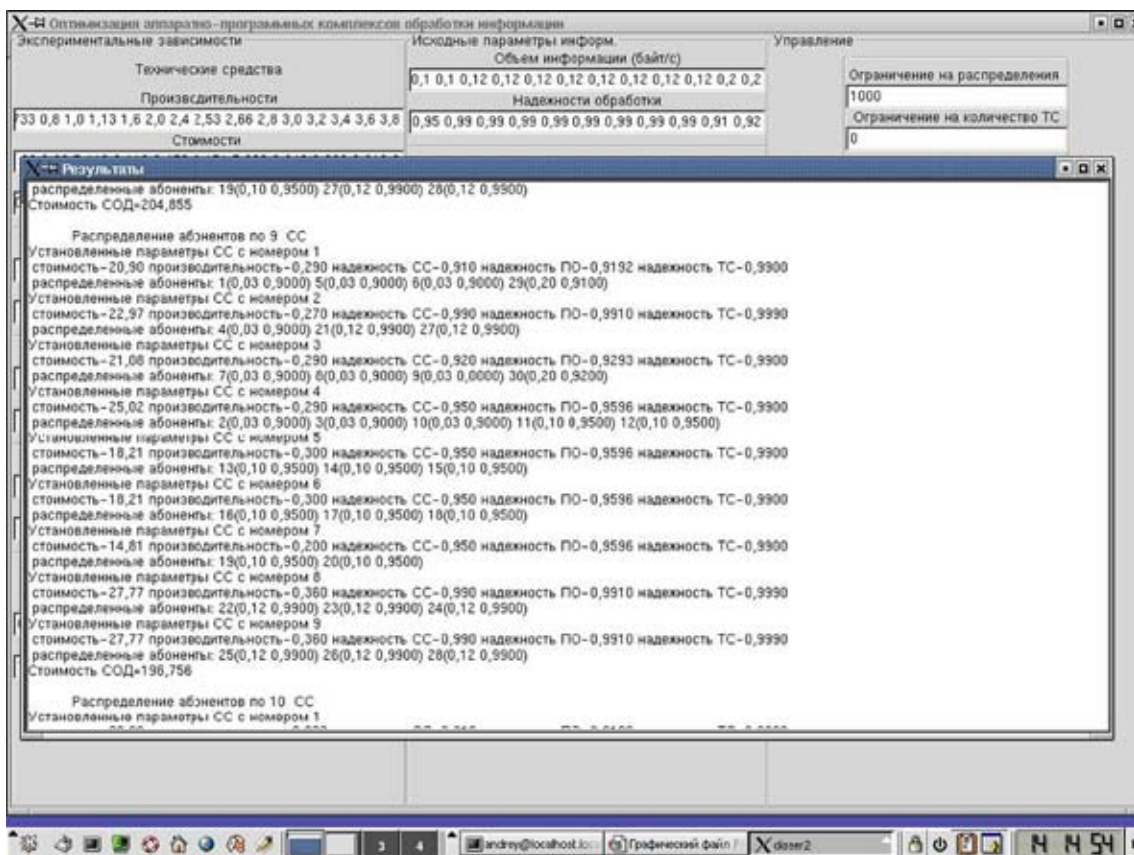


Рис. 7. Окно «Результаты» с оптимальным распределением абонентов по 9 СС

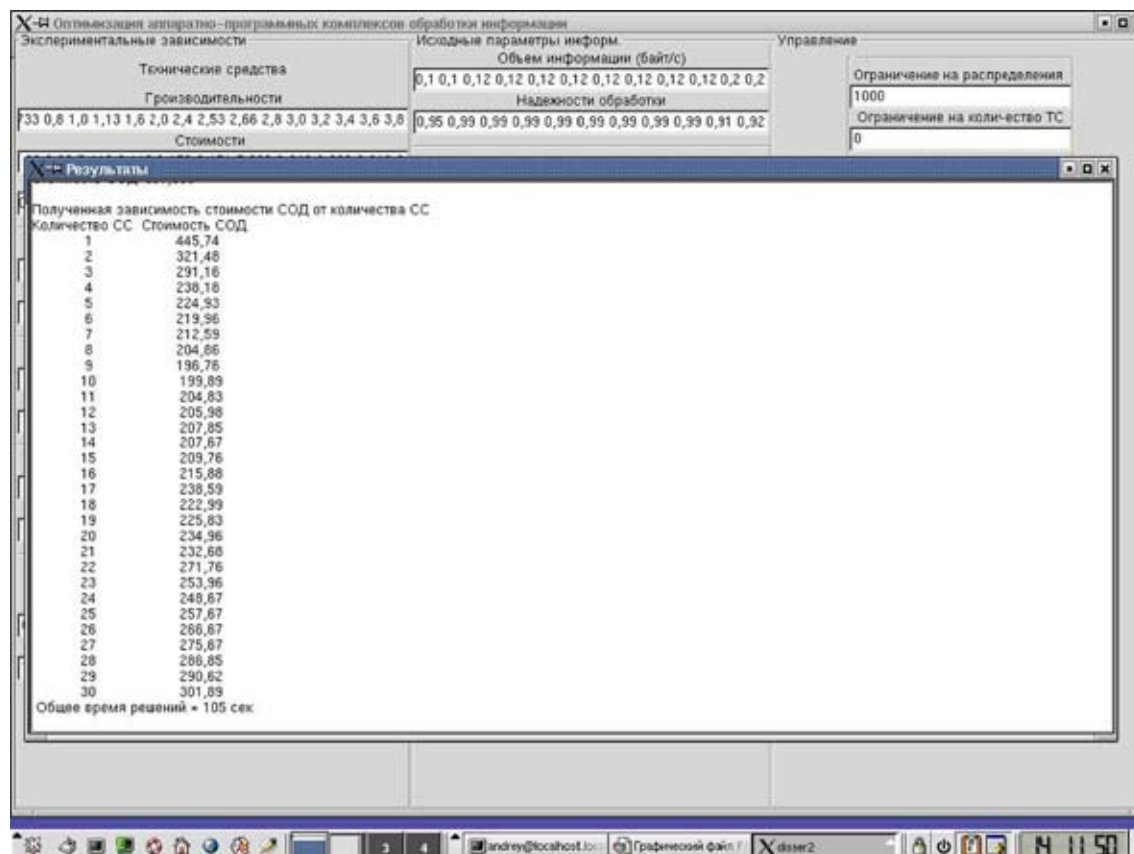


Рис. 8. Окно «Результаты» с зависимостью стоимости АПКОИ от количества СС

файла для записи результатов расчета» (рис. 5). Окно позволяет выполнять ряд операций с файлами или каталогами, которые указаны на рисунке 5. Операции обеспечивают систематизацию файлов синтезированных проектов. Выбирается или вводится новое имя файла хранения исходных данных и синтезированных проектных решений. По завершении расчетов отображается окно «Результаты» (рис. 6, 7, 8) и выводится полный файл с исходными данными и проектными решениями. Окно вывода позволяет просматривать весь файл расчетов.

Структура файла расчета. В начале файла записываются в форме таблиц экспериментальные зависимости и параметры информации абонентов (рис. 6), которые вводятся в блоках «Экспериментальные зависимости» и «Исходные параметры информации». Абоненты пронумерованы в порядке их ввода. Далее записываются синтезированные проектные решения по всему интервалу допустимых значений количества СС (рис. 7). В конце файла (рис. 8) записывается полученная зависимость стоимости создания АПКОИ от количества СС в табличном виде. Форма представления расчетов позволяет визуально выбирать проект АПКОИ или проводить сравнения полученных проектов.

Пояснения к форме представления расчетов (рис. 7). Для каждого СС записываются оптимальные характеристики: стоимость, производительность, надежность обработки информации на СС и ее составляющие: надежность ПС и надежность ТС. Строки «распределенные абоненты» содержат список номеров абонентов (номера даны по таблице в начале файла), распределенные на данное СС; в скобках за номером абонента записываются заданные параметры информации: объем данных в единицу времени и требуемая надежность обработки (если надежность задана).

2 ПРИМЕРЫ СИНТЕЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Экспериментальная зависимость стоимости технических средств от производительности

Для выбора проектных решений R использовались выявленные экспериментальные зависимости стоимости ТС от производительности -

$$C_s(v) = \{v_k, C_k\} \quad k = 1, 2, \dots, 26.$$

Пример представлен таблицей 1. Графически она показана на рисунке 9.

Варианты проектных решений носят рекомендательный характер, окончательное решение о

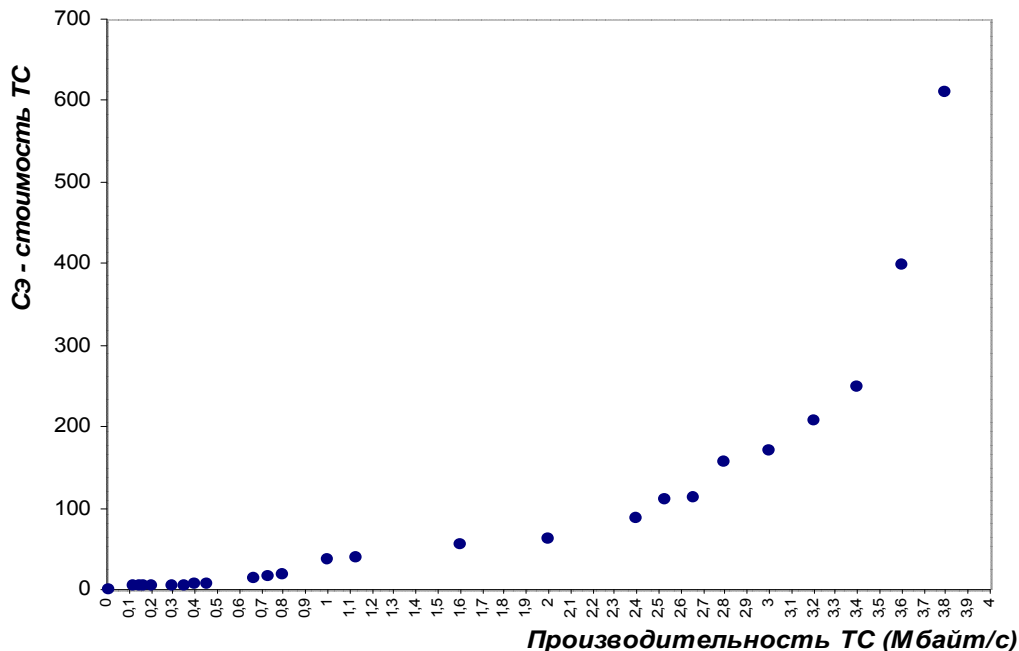


Рис. 9. Графический вид экспериментальной зависимости стоимости ТС от производительности

Таблица 1

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C_k	1,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	5,5	6,0	8,0	12,0	14,0	15,0	19,0
v_k	0,01	0,12	0,15	0,17	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,67	0,73	0,8
k	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
C_k	36,5	40,0	55,0	63,0	88,5	110,0	112,0	156,0	171,5	208,0	248,0	398,0	610,0
v_k	1,0	1,13	1,6	2,0	2,4	2,53	2,66	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8

реализации проекта АПКОИ принимается по совокупности всех внешних факторов.

Стоимость в таблицах, на рисунках и в расчетах дана в условных единицах, производительность ν в Мбайт/с.

Расчеты проводились на ЭВМ с процессором 1,6 ГГц.

Значения производительности между экспериментальными точками определялись линейной интерполяцией.

Аппроксимация экспериментальной зависимости стоимости технических средств от производительности

На рисунке 10 дефисом показана аппроксимация участка $\nu \in [0.01, 0.9]$ экспериментальной зависимости полиномом второй степени

$C(\nu) = 4 - 11\nu + 41\nu^2$ по методу наименьших квадратов. При положительных коэффициентах аппроксимирующего полинома

$a_0 = 4, a_2 = 41$ и при использовании в расчетах

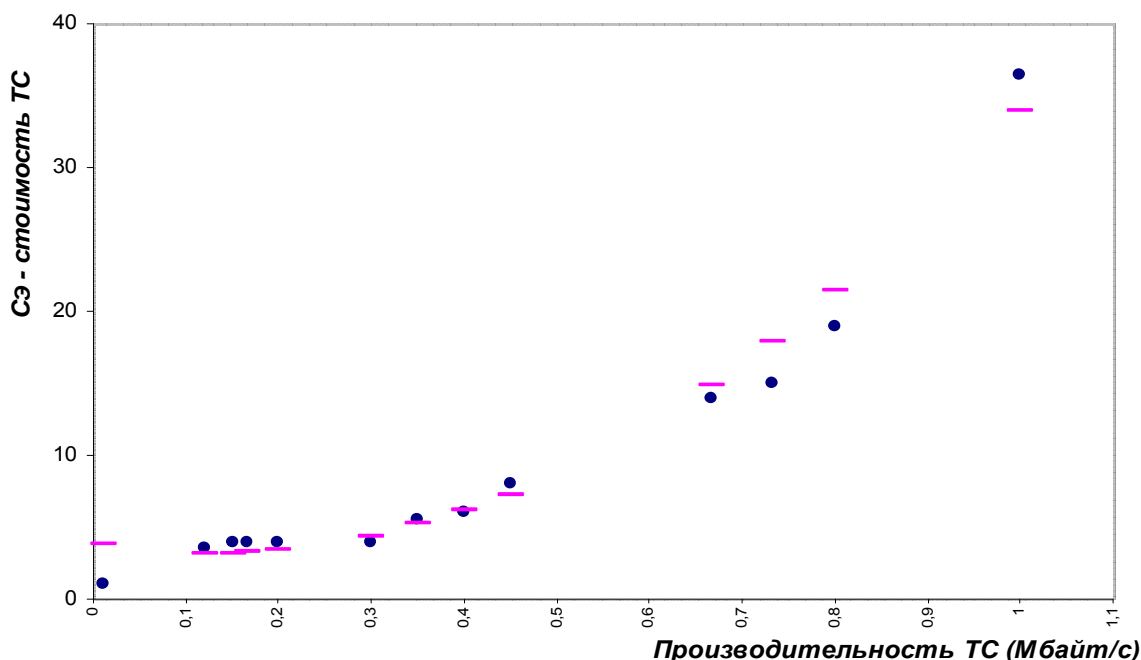


Рис. 10. Аппроксимация участка $\nu \in [0.01, 0.9]$ экспериментальной зависимости полиномом второй степени

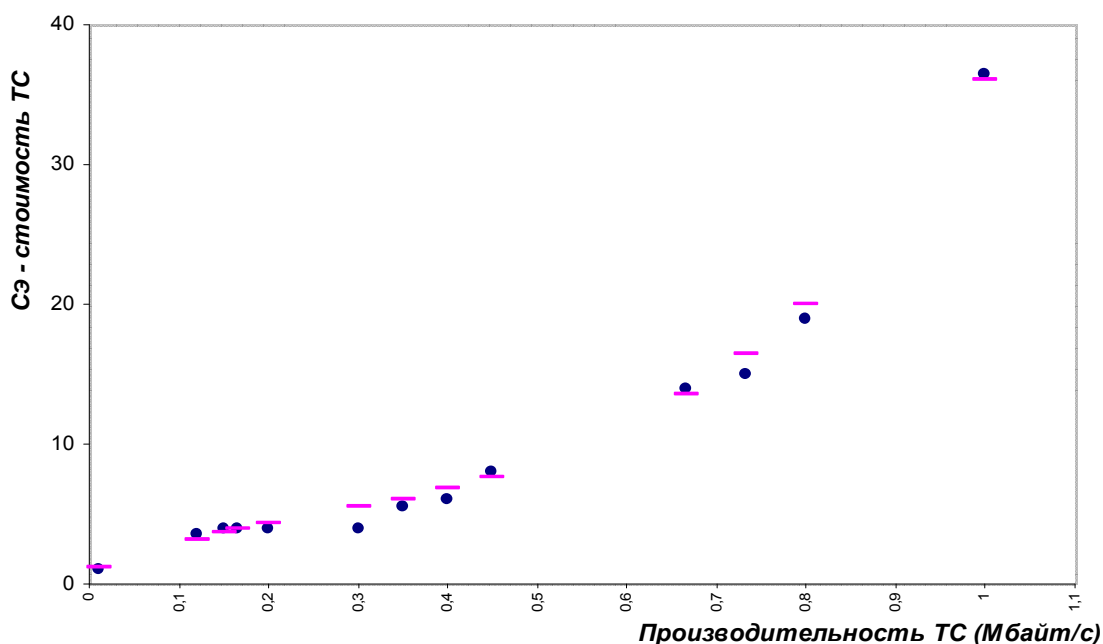


Рис. 11. Аппроксимация участка $\nu \in [0.01, 0.9]$ экспериментальной зависимости полиномом третьей степени

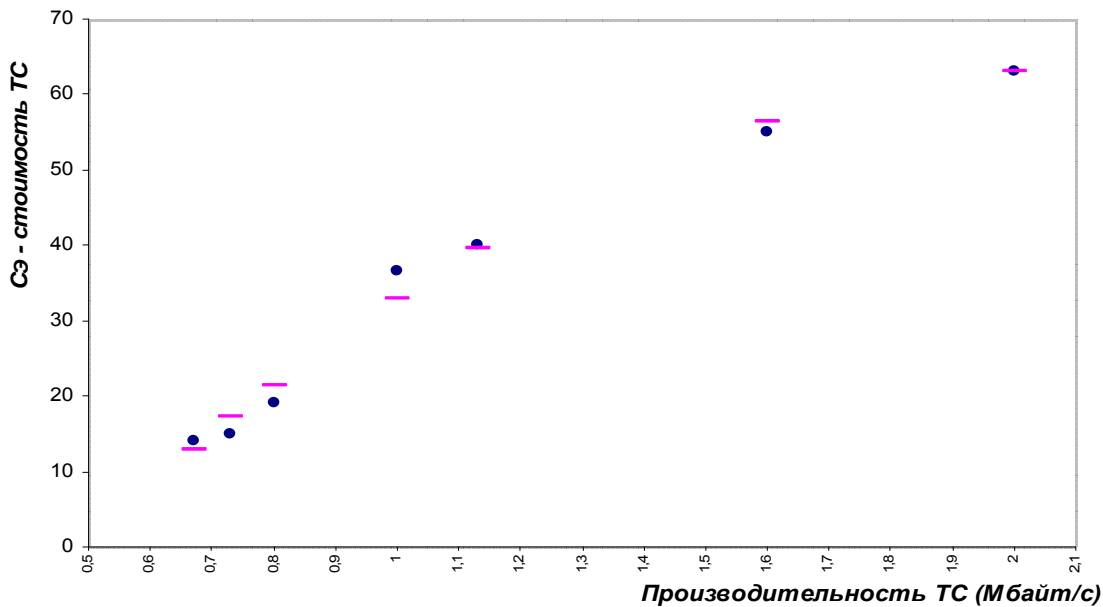


Рис. 12. Аппроксимация участка $v \in [0.67, 2.0]$ экспериментальной зависимости полиномом второй степени

данного участка экспериментальной зависимости для получения оптимального проектного решения можно использовать формальную зависимость $n = v\sqrt{a_2/a_0} = 3,2 \cdot v$, при условии использования СС с одинаковыми производительностями $\sigma v_1 = \dots = \sigma v_n = \sigma v/n$.

На рисунке 11 дефисом показана аппроксимация участка $v \in [0.01, 0.9]$ экспериментальной зависимости полиномом третьей степени $C(v) = 1 + 23v - 43v^2 + 55v^3$ по методу наименьших квадратов. При полученных коэффициентах аппроксимирующего полинома для получения оптимального проектного решения можно использовать формальную зависимость

$$n_1 = v \left(\sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0} + \sqrt{\frac{a_3^2}{a_0^2} + \frac{|a_2|^3}{27a_0^3}}} + \sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0} - \sqrt{\frac{a_3^2}{a_0^2} + \frac{|a_2|^3}{27a_0^3}}} \right) = 3,5 \cdot v,$$

при условии использования СС с одинаковыми производительностями.

На рисунке 12 дефисом показана аппроксимация участка $v \in [0.67, 2.0]$ экспериментальной зависимости полиномом второй степени $C(v) = -43 + 99v - 23v^2$ по методу наименьших квадратов. При полученных коэффициентах аппроксимирующего полинома $a_0 = -43$, $a_2 = -23$ формальные зависимости не применимы. Оптимальное проектное решение с использованием данного участка экспериментальной зависимости может быть получено только программными средствами автоматизации.

Первый пример синтеза проектных решений

Параметры информации абонентов даны в таблице 2.

Таблица 2

Номер абонента j	1	2	3	4	5
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	6	7	8	9	10
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	11	12	13	14	15
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	16	17	18	19	20
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	21	22	23	24	25
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	26	27	28	29	30
v_{aj}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03

На рисунке 13 представлена область распределения стоимости АПКОИ, рассчитанная разработанными средствами автоматизации. Минимальная стоимость отмечена точками. Линией отмечена зависимость, выбранная применяемыми в настоящее время методами поиска проектных решений. Основу составляет использование в корабельных АСУ однородных ТС, включая и

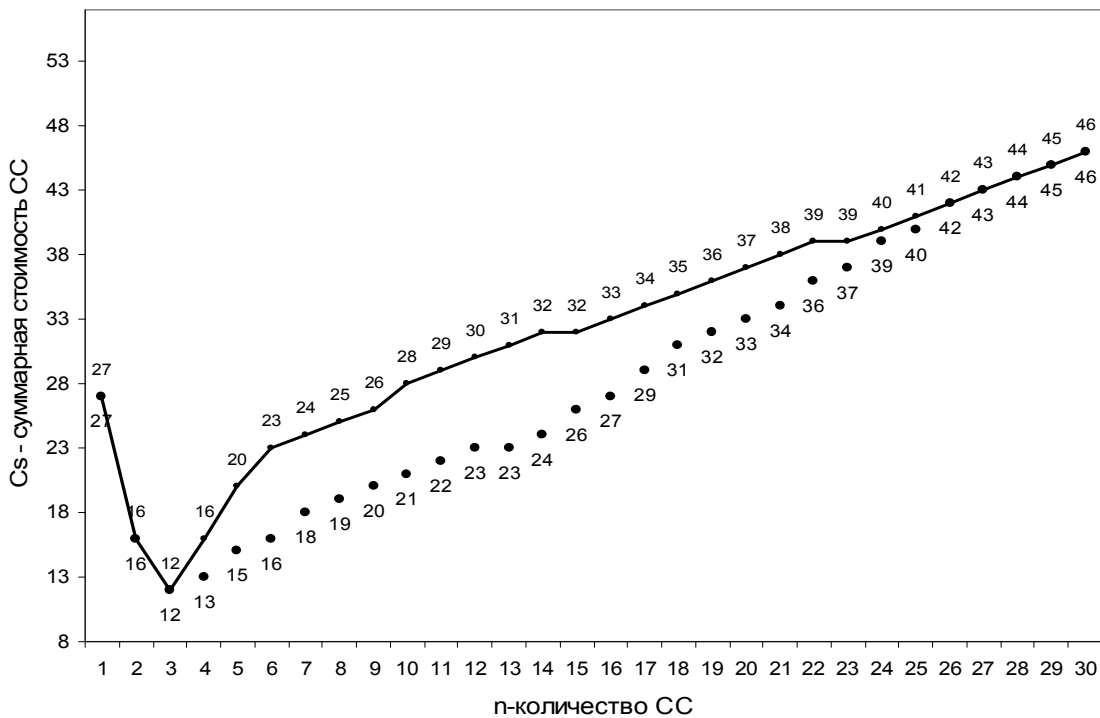


Рис. 13. Область распределения стоимости АПКОИ примера 1

АПКОИ. Интервал снижения стоимости в процентах - $[0,30]$, среднее снижение стоимости на 13%. Производительности СС даны в таблице 3 (таблица приведена в сокращенном варианте до проектного решения АПКОИ с минимальной стоимостью).

Таблица 3

n	Производительности СС		
	1	2	3
1	0,90		
2	0,45	0,45	
3	0,30	0,30	0,30

Проектное решение с минимальной стоимостью:

$$R = \{n = 3\}$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = 0,3$$

$$y_{1j} \in \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0\}$$

$$y_{2j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{3j} \in \{0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

$$C_s = 12\}$$

y_{ij} - распределение ПС на СС с номером i .

Участок реальной кривой находится в пределах $v \in [0,01, 0,9]$. Аппроксимирующий полином этого участка $C(v) = 4 - 11v + 41v^2$. Оптимальное количество СС находится по формуле

$$n = \left(\sum_{j=1}^{30} v_{a_j}\right) \sqrt{a_2 / a_0} = 0,9 \sqrt{41 / 4} = 2,88.$$

Находим суммарную стоимость СС при $n = 2$, $n = 3$ для более точного определения оптимального проектного решения АПКОИ.

$$C_s(n = 2) = C(v_1 = 0,45) + C(v_2 = 0,45) = 14,7$$

$$C_s(n = 3) = C(v_1 = 0,3) + C(v_2 = 0,3) + C(v_3 = 0,3) = 13,2$$

Проектное решение с минимальной стоимостью:

$$R = \{n = 3\}$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = \left(\sum_{j=1}^{30} v_{a_j}\right) / n = 0,9 / 3 = 0,3$$

$$y_{1j} \in \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0\}$$

$$y_{2j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{3j} \in \{0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

$$C_s = 13,2\}.$$

Решение совпало с решением, найденным средствами автоматизации.

Аппроксимирующий полином третьей степени $C(v) = 1 + 23v - 43v^2 + 55v^3$.

$$n = \left(\sum_{j=1}^{30} v_{a_j}\right) \cdot 2,3 = 0,9 \cdot 2,3 = 2,1.$$

Находим суммарную стоимость СС при $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$ для более точного опреде-

ления оптимального проекта АПКОИ.

$$C_s(n=1) = C(v=0,9) = 26,9.$$

$$C_s(n=2) = C(v_1=0,45) + C(v_2=0,45) = 15,3.$$

$$C_s(n=3) = C(v_1=0,3) + C(v_2=0,3) + \\ + C(v_3=0,3) = 16,5.$$

Проектное решение АПКОИ:

$$R = \{n=2\}$$

$$v_1 = v_2 = v_3 = 0,45$$

$$y_{1j} \in \{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{2j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \\ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$$

$$C_s = 15,3\}.$$

Получено проектное решение АПКОИ, близкое к проектному решению средствами автоматизации. Решение можно считать первоначальным вариантом АПКОИ, которое показывает ориентировочную стоимость создания и ориентировочное количество СС при условии использования СС с одинаковой производительностью. Результаты используются как экспертные оценки.

Второй пример синтеза проектных решений

Параметры информации абонентов даны в таблице 4.

На рисунке 14 представлена область распределения стоимости АПКОИ, рассчитанная разработанными средствами автоматизации. Минимальная стоимость отмечена точками. Линией отмечена зависимость, выбранная применяемыми в настоящее время методами поиска проектных решений. Интервал снижения стоимости в процентах - [0,22], среднее снижение стоимости на 12%. Производительности СС даны в таблице 5 (таблица приведена в сокращенном варианте до проектного решения АПКОИ с минимальной стоимостью).

Таблица 4

Номер абонента j	1	2	3	4	5
v_{a_j}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	6	7	8	9	10
v_{a_j}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Номер абонента j	11	12	13	14	15
v_{a_j}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Номер абонента j	16	17	18	19	20
v_{a_j}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Номер абонента j	21	22	23	24	25
v_{a_j}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Номер абонента j	26	27	28	29	30
v_{a_j}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Проектное решение с минимальной стоимостью:

$$R = \{n=11\}$$

$$v_1 = 0,32$$

$$v_2 = v_3 = v_4 = v_5 = v_6 = v_7 = v_8 = v_9 = v_{10} = 0,3$$

$$v_{11} = 0,28$$

$$y_{1j} \in \{1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{2j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{3j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{4j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$y_{5j} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

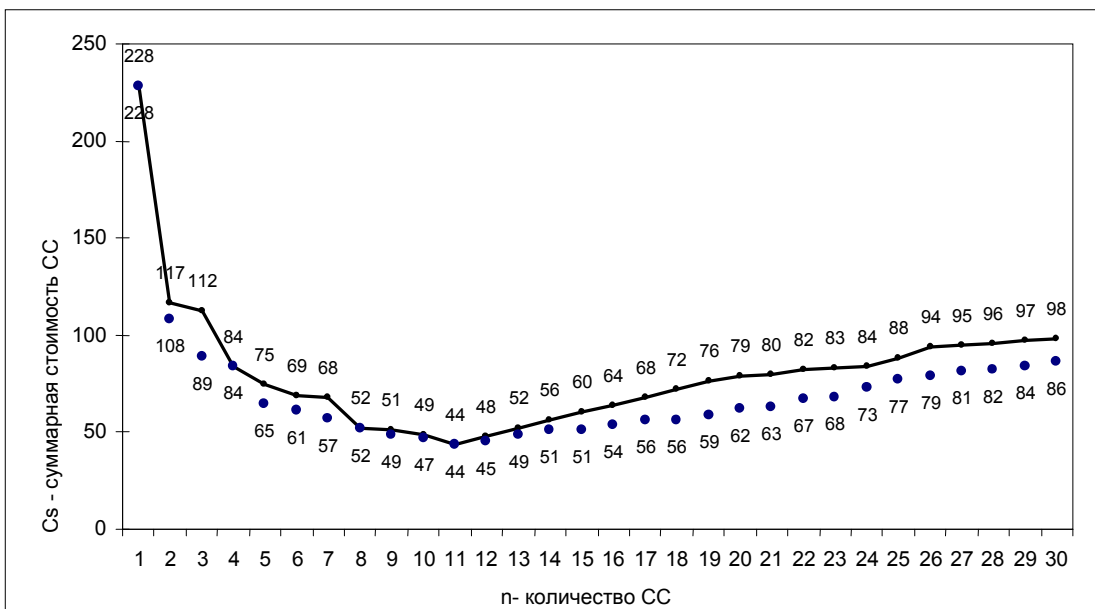


Рис. 14. Область распределения стоимости АПКОИ примера 2

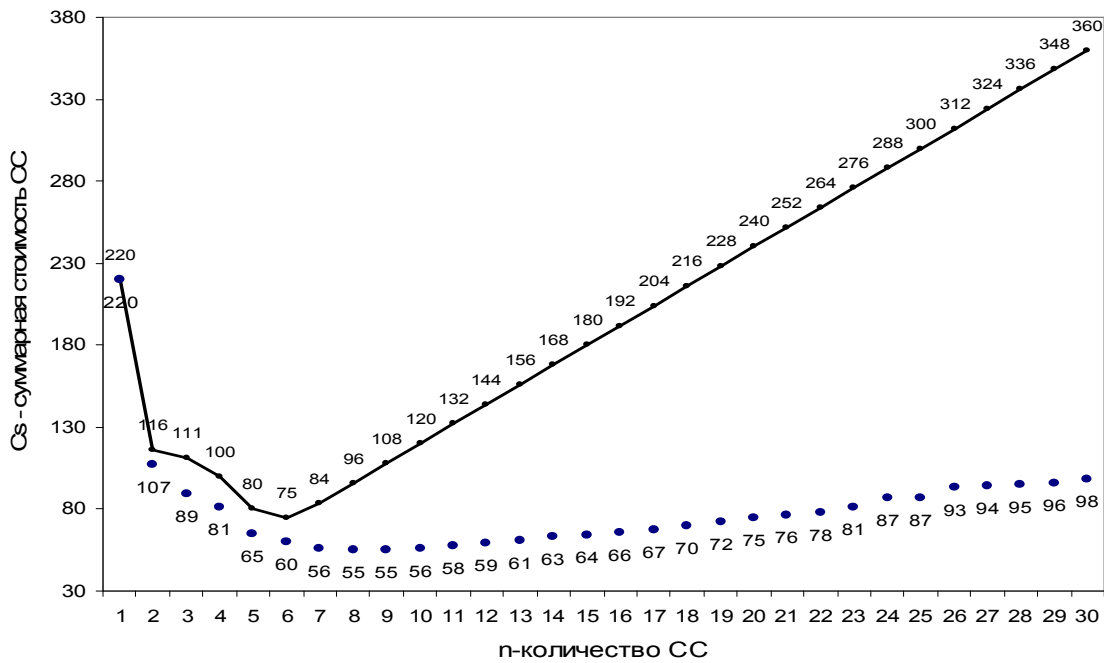
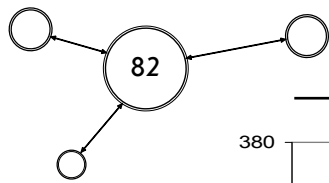


Рис. 15. Область распределения стоимости АПКОИ примера 3

$y_{ij} \in \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,$
 $0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$
 $C_s = 55\}$.

Таблица 8

Номер абонента j	1	2	3	4	5
V_{a_j}	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Номер абонента j	6	7	8	9	10
V_{a_j}	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
Номер абонента j	11	12	13	14	15
V_{a_j}	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
Номер абонента j	16	17	18	19	20
V_{a_j}	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Номер абонента j	21	22	23	24	25
V_{a_j}	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
Номер абонента j	26	27	28	29	30
V_{a_j}	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30

Четвертый пример синтеза проектных решений

Параметры информации абонентов даны в таблице 8.

На рисунке 16 представлена область распределения стоимости АПКОИ, рассчитанная разработанными средствами автоматизации. Минимальная стоимость отмечена точками. Линией отмечена зависимость, выбранная применимы-

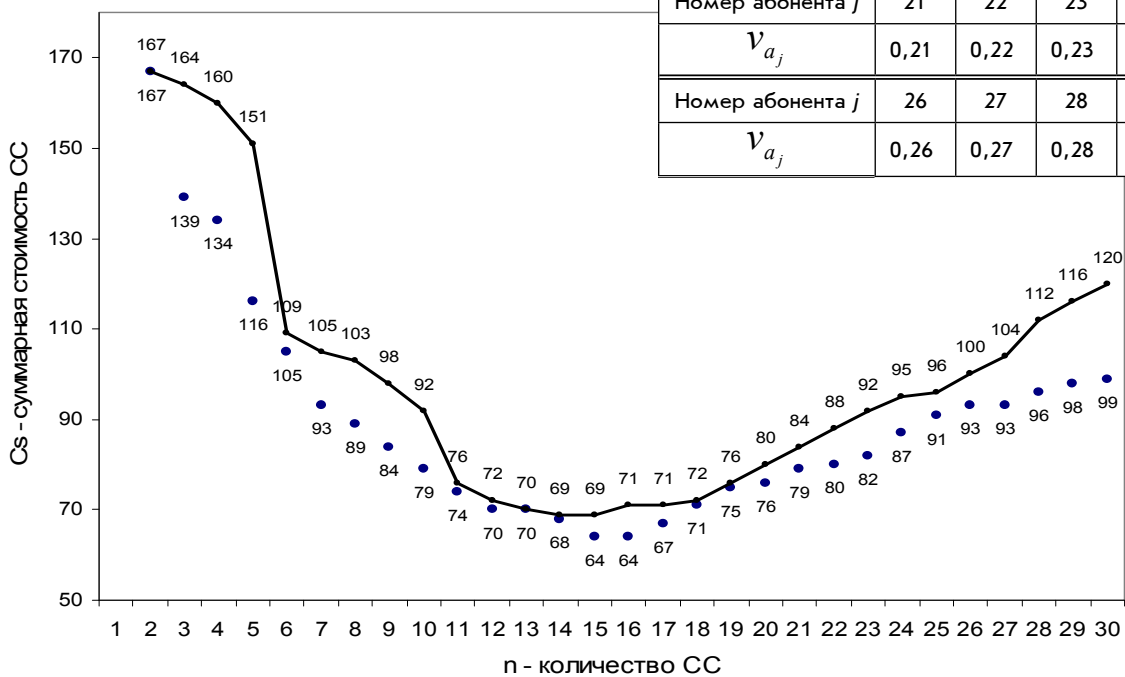


Рис. 16. Область распределения стоимости АПКОИ примера 4

$K_{пер}^*$), при которых суммарная стоимость СС не уменьшалась и поиск при заданном количестве СС прекращался: 1000000, 2000000, 3000000, 4000000, 5000000, 6000000. Время решения — это общее время решения для всего интервала допустимых значений количества СС при $n = 30$. Расчеты проводились на ЭВМ с процессором 1,6 ГГц.

Как видно из таблицы, алгоритм 2 дал более точное решение и за значительно меньшее время. При увеличении количества подряд идущих перераспределений, при котором не уменьшается суммарная стоимость СС, сильно увеличивается время решения, но незначительно изменяется точность решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Норенков И.П., Маничев В.Б. Основы теории и проектирования САПР. - М.: Высшая школа, 1990.- 335 с.
2. Царевский А.В. Поиск оптимального выбора станций сопряжения в корабельных системах обмена данными // Морская радиоэлектроника. - 2007. - № 1. — С. 36-39.
3. Иванов А.К., Царевский А.В. Задача оптимизации выбора характеристик станций сопряжения в корабельных системах обмена данными // Морская радиоэлектроника. - 2007. - № 2. — С. 12-15.
4. Гусев В.И. Гадебский И.И. САИПР кораблей и подводных лодок: новые задачи в едином информационном пространстве // Морская радиоэлектроника. - 2008. - № 1. — С. 42-44.