

УДК 623.618

А.В. Царевский

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ АСУ (ЧАСТЬ 2)

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

Рассмотрены пример синтеза проектных решений аппаратно-программного комплекса обработки информации корабельных АСУ и использования зависимостей стоимости средств сопряжения от производительности и надежности обработки в них информации от корабельных систем

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, системы обработки данных, корабельные АСУ.

Abstract

The article deals with an example of synthesis of design solutions for hardware and software system of data processing for shipborne C2 systems and use of dependencies of cost of interface facilities on performance and reliability of processing of data from shipborne systems within them.

Key words: computer-aided design, data processing systems, shipborne C2 systems

ВВЕДЕНИЕ

В первой части статьи, опубликованной в этом номере журнала, рассмотрена программная реализация методов автоматизированного синтеза проектных решений аппаратно-программных комплексов обработки информации (АПКОИ) корабельных АСУ. Рассмотрены примеры синтеза с использованием зависимостей стоимости средств сопряжения (СС) от производительности. Данная статья является продолжением темы автоматизированного синтеза проектных решений АПКОИ и рассматривает примеры синтеза проектных решений с использованием зависимостей стоимости СС от производительности и надежности обработки на них информации от корабельных систем.

Применительно к сложным системам надежность определяется как свойство системы выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования. Свойство надежности проявляется в том, что система выполняет поставленные перед ней задачи [1].

Надежность обработки информации на средствах сопряжения АПКОИ включает две составляющие: элементную составляющую — надежность технических средств (ТС) и функ-

циональную составляющую — надежность программных средств (ПС).

При оценке надежности АПКОИ исходят из того, что надежность ПС не является самостоятельным свойством, так как может проявиться только в процессе его функционирования в составе комплекса. Под надежностью ПС понимается вероятность того, что программа какой-то период времени работает без сбоев с учетом степени их влияния на выходные результаты. Правильным является подход, при котором надежность ПС оценивается по степени влияния на комплексные показатели надежности разрабатываемой системы, имеющей в своем составе ТС и ПС. Отказы ТС и ПС являются, вообще говоря, взаимозависимыми событиями. Взаимозависимость может возникнуть по многим причинам, в том числе из-за влияния режимов применения, влияния отказов друг на друга. Вместе с тем с целью декомпозиции возможно получение отдельных оценок показателей надежности ТС и ПС с последующим их объединением по схеме независимых событий [2]. Игнорирование взаимозависимости отказов приводит к оценке снизу для показателей надежности обработки на средствах сопряжения АПКОИ.

Надежность обработки информации на одном СС можно записать как произведение двух независимых величин: надежности работы данного ТС (вероятность безотказной работы) и надежности функционирования ПС (вероятность безошибоч-

ной работы) обработки информации на данном СС - $p = P_{TC} P_{ПО}$. Надежность $P_{ПО}$ - требуемая надежность, достигнутая в процессе создания ПС на момент окончания разработок и сдачи системы в эксплуатацию. Надежность P_{TC} - эксплуатационная надежность ТС на момент сдачи системы в эксплуатацию. Это обеспечивает оценку снизу надежности АПКОИ. Оценка надежностей проводится по результатам статистических данных с расчетом интенсивностей появления отказов/ошибок. Надежность ТС определяется путем обработки статистических данных о результатах нормальной эксплуатации. Надежность ПС оценивается по результатам отладки и опытной или нормальной эксплуатации с применением методов статистической оценки надежности (вероятностная модель, модели Джелинского-Моранды, Липова, Сукерта и т.д. [2]).

1 Модель оценки надежности программных средств АПКОИ и зависимость стоимости их разработки от надежности

Для построения зависимости стоимости ПС АПКОИ от надежности функционирования необходимо выбрать модель оценки надежности. В качестве такой модели была выбрана модель теории надежности технических средств - модель вероятностного распределения ошибок в ПС. Для выбора модели сначала выявляется характер зависимости интенсивности появления ошибок от длительности отладки и эксплуатации. Затем подбором определяется модель, наиболее точно описывающая выявленный характер появления ошибок.

Надежность функционирования ПС можно представить функцией

$$P = e^{-\int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt}$$

где $\varepsilon(t)$ — интенсивность возникновения ошибки, t - средний интервал между ошибками.

Интенсивность ошибок - убывающая функция от времени. Определить вид этой функции можно двумя путями. Первое - $\varepsilon(t)$ определяется по экспериментальным данным (по фиксации моментов времени возникновения ошибок) на всех этапах отладки ПС, а затем проводится аппроксимация полученных данных (при необхо-

димости). Второе - строится зависимость интенсивности ошибок ε от номера этапа отладки при предположении, что внутри этапа ε постоянна. Именно такой подход был использован в модели оценки надежности ПС АПКОИ. При предположении, что интенсивность ошибок постоянна на исследуемом интервале можно записать функцию безотказной работы ПС (надежность функционирования) $P(t) = e^{-\varepsilon t}$.

По опыту создания ПС в ФНПЦ ОАО «НПО «Марс» для различных проектов АПКОИ получена экспериментальная зависимость стоимости разработки ПС от надежности, которая представлена в таблице 1. Данная зависимость отражает весь технологический процесс создания ПС АПКОИ. Количество ошибок, допущенных при создании ПС и выявленных на стадиях тестирования, зависит от принятой технологии проектирования ПС, квалификации разработчиков и от организации работ. Длительность этапа зависит от применяемой технологии тестирования. Более подробно вопросы проектирования ПС АПКОИ раскрыты в [3].

Наибольшая интенсивность ошибок приходится на начало автономной отладки ПС АПКОИ, когда выявляются ошибки разработки, на начало интеграции ПС АПКОИ в АСУ, когда выявляются ошибки проектирования ПС (системные ошибки) и ошибки взаимодействия с другими задачами, на начало отладки с реальными абонентами на заказах, когда выявляются ошибки проектирования ПС и протокольные ошибки взаимодействия, на начало отладки после исправления ошибок.

Первый этап создания ПС — это автономная отладка ПС на макетах средств сопряжения. Этап характеризуется разработкой ПС и его тестированием с применением статических тестов.

Второй этап создания ПС — это комплексная отладка ПС АПКОИ на стендовом образце. Этап характеризуется тестированием ПС с применением динамических тестов.

Третий этап создания ПС — это этап проведения комплекса работ по отладке ПС АПКОИ в составе ПС АСУ на стендовом образце. Этап характеризуется проведением тестирования с использованием имитационных моделей абонентов (применение интегрированных тестовых программ).

Таблица 1

Этап создания ПС	Количество дней этапа, d	Стоимость этапа (условные единицы)	Количество ошибок за этап, k	Средний интервал между ошибками $t = d/k$ (дни)	Интенсивность ошибки $\varepsilon = 1/t$	Надежность $P(t) = e^{-\varepsilon t}$ $t=1$ день
1	70	5,9	100	0,7	1,4290	0,240
2	60	2,2	30	2,0	0,5000	0,600
3	30	1,1	10	3,0	0,3333	0,720
4	200	6,5	25	8,0	0,1250	0,880
5	365	2,7	3	121,0	0,0082	0,990
6	730	5,5	1	730,0	0,0014	0,999

Четвертый этап создания ПС — это этап проведения комплекса работ по отладке ПС АПКОИ на объекте заказчика. Этап характеризуется реальной работой с абонентами, но абоненты используют имитационные модели формирования выходных данных. Этап проводится на заказах, начинается пусконаладочными работами и заканчивается предварительными испытаниями.

Пятый этап создания ПС — это этап комплексных испытаний систем корабля в реальных условиях. На этапе проводится доводка ПС до требуемого уровня надежности и определяется эксплуатационная надежность ПС АПКОИ. Этап характеризуется реальным функционированием абонентов.

Шестой этап — это гарантийный срок эксплуатации АПКОИ.

На каждом этапе условия отладки ПС отличаются друг от друга. Это связано, в первую очередь, с добавлением новых комбинаций обрабатываемых данных, неоднозначным восприятием протоколов сопряжения, ошибками, допущенными при разработке ПС. В пределах каждого этапа интенсивность ошибок ε можно

считать постоянной, так как каждый этап характеризуется неизменными внешними и внутренними условиями отладки, что позволяет на каждом этапе использовать функцию надежности ПС вида $P(t) = e^{-\varepsilon t}$.

На рисунке 1 представлен графический вид зависимости стоимости ПС АПКОИ от надежности функционирования.

2 ПРИМЕРЫ СИНТЕЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Выбор проектных решений проводился с применением разработанных программных средств автоматизации и выявленных экспериментальных зависимостей:

- стоимость ТС от производительности и надежности

$$C_3(v, p) = \{v_k, p_{ki}, C_{ki}\},$$

где $k = 1, 2, \dots, 26, i = 1, \dots, 4$, которая представлена в таблице 2;

- пример зависимости стоимости разработки ПС АПКОИ от надежности представлен в таблице 3.

Стоимость в таблицах, на рисунках и в расчетах дана в условных единицах. Производитель-

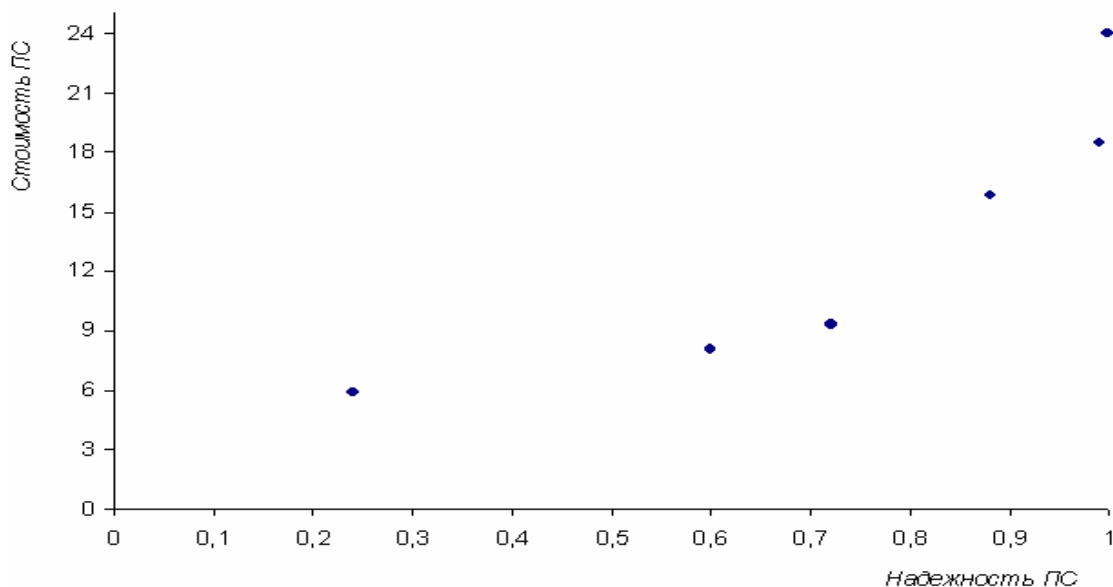


Рис. 1. Экспериментальная зависимость стоимости разработки ПС АПКОИ от надежности

Таблица 2

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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
C_{k1} $p_{k1} = 0,9$	1,1	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	5,5	6,0	10,0	12,0	14,0	15,0	19,0
C_{k2} $p_{k2} = 0,99$	2,2	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	11,0	12,0	16,0	24,0	28,0	30,0	38,0
C_{k3} $p_{k3} = 0,999$	3,3	10,5	12,0	12,0	12,0	12,0	16,5	18,0	24,0	36,0	42,0	45,0	57,0
C_{k4} $p_{k4} = 0,9999$	4,4	14,0	16,0	16,0	16,0	16,0	22,0	24,0	32,0	48,0	56,0	60,0	76,0

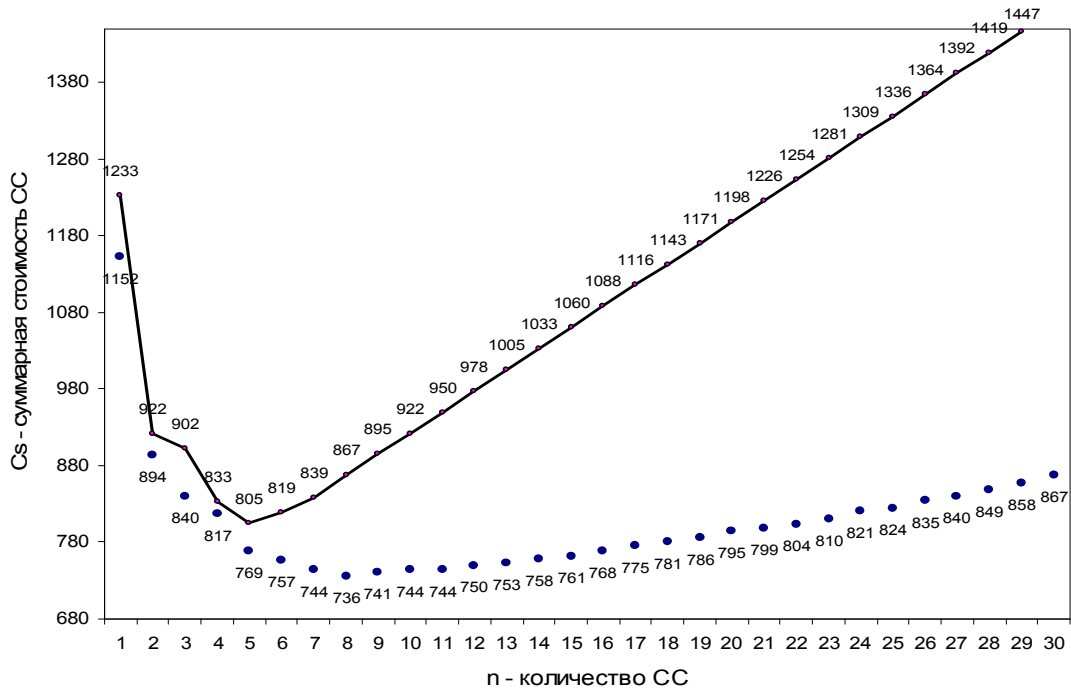


Рис 2. Область распределения стоимости АПКОИ примера 1

Второй пример синтеза проектных решений

Параметры информации абонентов даны в таблице 6.

На рисунке 3 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 - [0,24], среднее снижение стоимости - 20%. Параметры СС даны в таблице 7 (таблица приведена в сокращенном варианте до проекта АПКОИ с минимальной стоимостью).

Проектное решение АПКОИ с ограничением на количество СС ($n \leq 4$):

$$R = \{n = 4\}$$

$$v_1 = v_2 = 0,8$$

$$v_3 = v_4 = 0,7$$

$$P_{1ПО} = 0,98 \quad P_{2ПО} = 0,991$$

$$P_{3ПО} = 0,992 \quad P_{4ПО} = 0,999$$

$$P_{1ТС} = 0,99 \quad P_{2ТС} = 0,999$$

$$P_{3ТС} = 0,999 \quad P_{4ТС} = 0,999$$

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

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

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

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

$$C_s = 786\}$$

Таблица 6

Номер абонента j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v_{aj}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Требуемая надежность обработки P_{aj}	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94
Номер абонента j	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
v_{aj}	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Требуемая надежность обработки P_{aj}	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,991	0,992	0,993	0,994	0,995	0,996	0,997	0,998	0,99

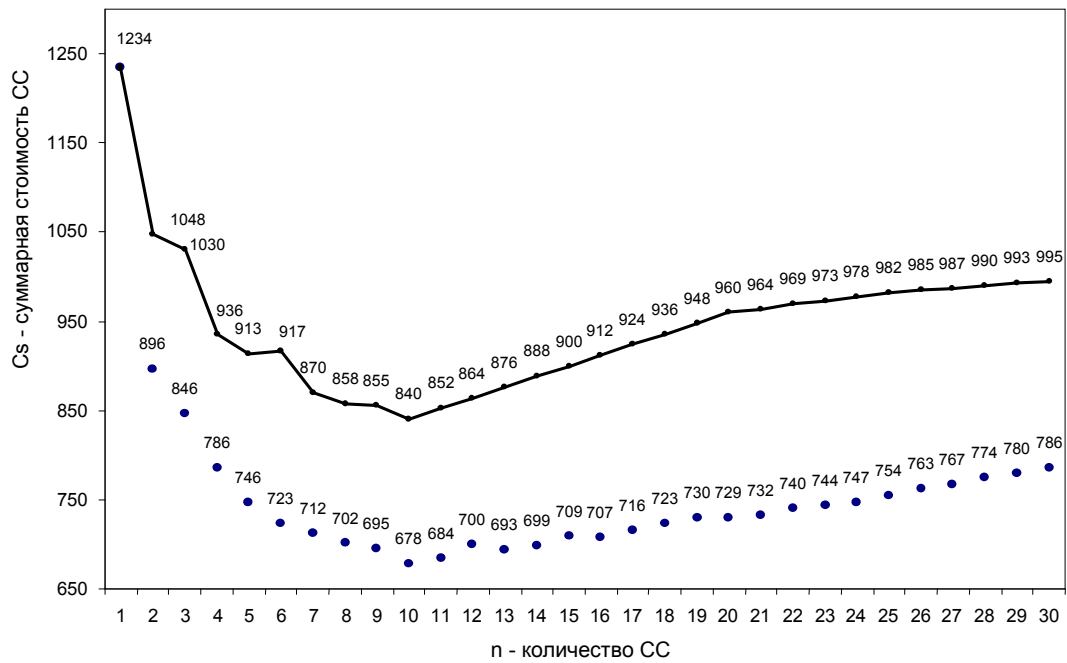


Рис 3. Область распределения стоимости АПКОИ примера 2

Таблица 7

Количество СС n	Суммарная стоимость СС	Параметры СС	Номер СС i											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1234	v_i	3,0											
		p_i	0,998											
		$P_{iПО}$	0,999											
		$P_{iТС}$	0,999											
2	896	v_i	2,200	0,8										
		p_i	0,990	0,998										
		$P_{iПО}$	0,991	0,999										
		$P_{iТС}$	0,990	0,999										
3	846	v_i	0,80	1,4	0,8									
		p_i	0,970	0,99	0,998									
		$P_{iПО}$	0,980	0,991	0,999									
		$P_{iТС}$	0,990	0,999	0,999									
4	786	v_i	0,800	0,8	0,7	0,7								
		p_i	0,970	0,99	0,991	0,998								
		$P_{iПО}$	0,980	0,991	0,992	0,999								
		$P_{iТС}$	0,990	0,999	0,999	0,999								
5	746	v_i	0,7	0,4	0,8	0,4	0,7							
		p_i	0,95	0,99	0,98	0,993	0,998							
		$P_{iПО}$	0,96	0,991	0,99	0,994	0,999							
		$P_{iТС}$	0,99	0,999	0,99	0,999	0,999							

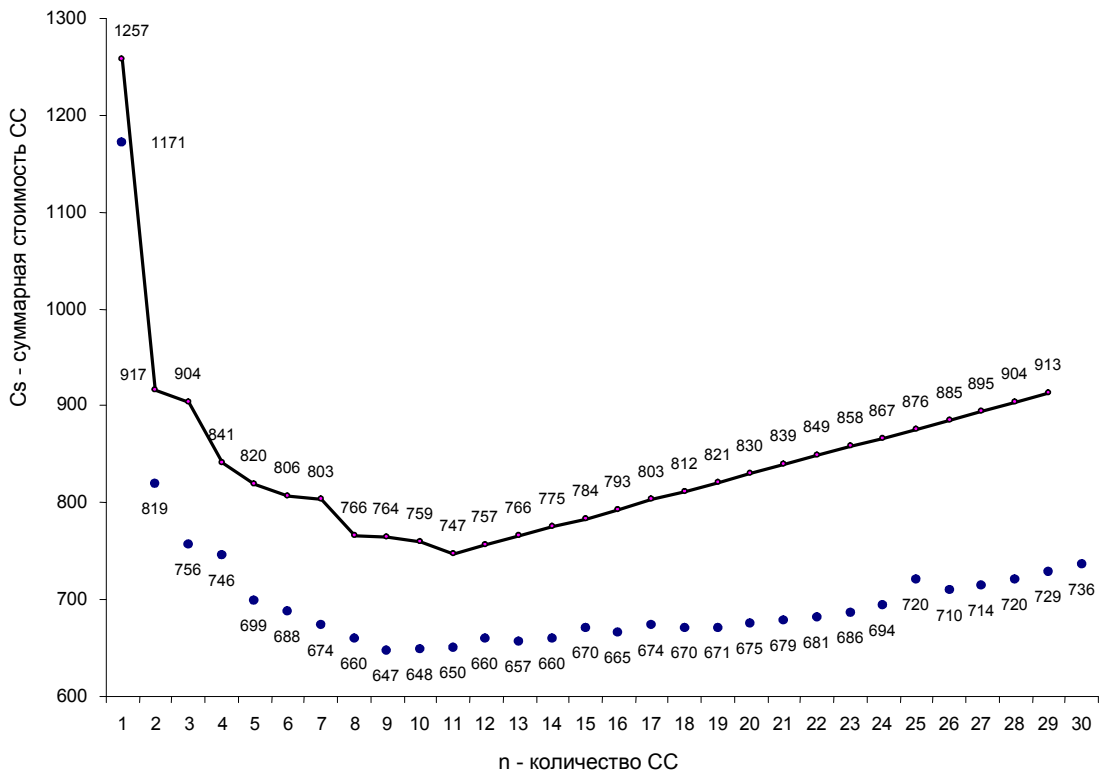


Рис 4. Область распределения стоимости АПКОИ примера 3

Таблица 9

Количество СС n	Суммарная стоимость СС	Параметры СС	Номер СС i								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1257	v_i	3,3								
		p_i	0,99								
		$P_{\text{ИПО}}$	0,991								
		$P_{\text{ИТС}}$	0,999								
2	819	v_i	2,15	1,15							
		p_i	0,95	0,99							
		$P_{\text{ИПО}}$	0,96	0,991							
		$P_{\text{ИТС}}$	0,99	0,999							
3	756	v_i	2,0	0,6	0,7						
		p_i	0,9	0,99	0,99						
		$P_{\text{ИПО}}$	0,91	0,991	0,991						
		$P_{\text{ИТС}}$	0,99	0,999	0,999						
4	746	v_i	1,4	0,72	0,38	0,8					
		p_i	0,9	0,95	0,99	0,99					
		$P_{\text{ИПО}}$	0,91	0,96	0,99	0,991					
		$P_{\text{ИТС}}$	0,99	0,99	0,999	0,999					

Четвертый пример синтеза проектных решений

Параметры информации абонентов даны в таблице 10.

На рисунке 5 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 - [4,24], среднее снижение стоимости - 18%. Параметры СС даны в таблице 11 (таблица приведена в сокращенном варианте до проекта АПКОИ с минимальной стоимостью).

Проектное решение с минимальной стоимостью:

$$R = \{n = 5$$

$$v_1 = 0,45 \quad v_2 = 0,3 \quad v_3 = 0,35$$

$$v_4 = 0,3 \quad v_5 = 0,4$$

$$P_{1ПО} = P_{5ПО} = 0,91 \quad P_{2ПО} = P_{3ПО} = P_{4ПО} = 0,991$$

$$P_{1ТС} = P_{5ТС} = 0,99$$

$$P_{2ТС} = P_{3ТС} = P_{4ТС} = 0,999$$

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

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

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

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

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

$$C_s = 602\}$$

Таблица 10

Номер абонента j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
v_{a_j}	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Требуемая надежность обработки P_{a_j}	0,9	0,9	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9
Номер абонента j	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
v_{a_j}	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
Требуемая надежность обработки P_{a_j}	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99	0,9	0,99

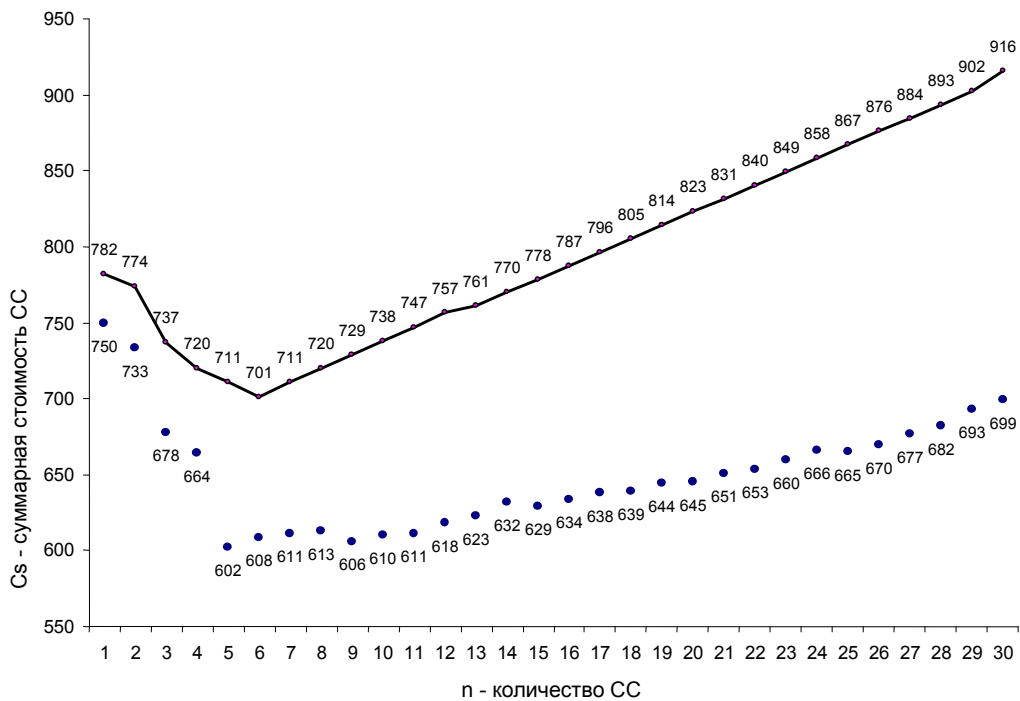


Рис 5. Область распределения стоимости АПКОИ примера 4

Таблица 11

Количество СС n	Суммарная стоимость СС	Параметры СС	Номер СС i				
			1	2	3	4	5
1	750	v_i	1,8				
		P_i	0,99				
		$P_{iПО}$	0,991				
		$P_{iТС}$	0,999				
2	733	v_i	0,73	1,07			
		P_i	0,99	0,99			
		$P_{iПО}$	0,991	0,991			
		$P_{iТС}$	0,999	0,999			
3	678	v_i	0,7	0,38	0,72		
		P_i	0,99	0,99	0,99		
		$P_{iПО}$	0,991	0,991	0,991		
		$P_{iТС}$	0,999	0,999	0,999		
4	664	v_i	0,4	0,39	0,3	0,71	
		P_i	0,99	0,99	0,99	0,99	
		$P_{iПО}$	0,991	0,991	0,991	0,991	
		$P_{iТС}$	0,999	0,999	0,999	0,999	
5	602	v_i	0,45	0,3	0,35	0,3	0,4
		P_i	0,9	0,99	0,99	0,99	0,9
		$P_{iПО}$	0,91	0,991	0,991	0,991	0,91
		$P_{iТС}$	0,99	0,999	0,999	0,999	0,99

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шураков В.В. Надежность программного обеспечения систем обработки данных. Изд. 2-е. - М.: Финансы и статистика, 1987.

2. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. - М.: Питер, 2005.

3. А.В. Царевский. Методология разработки программного обеспечения систем обмена данными с заданным уровнем надежности для корабельных АСУ // Автоматизация процессов управления. - 2007. - № 2 - С. 37-48.