

ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ БОЛЬШОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМОДРОМОМ УРОВНЯ SMARTCITY

Разумов Д.А.

ФГБОУ «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

DmitriRazumov@yandex.ru

Аннотация: В работе рассматриваются вопросы многофакторной оптимизации проектных параметров АСУ космодрома (АСУК) с помощью имитационной модели и метода многофакторной оптимизации ПРИНН[1, 2], который позволяет избежать недостатков традиционных подходов(ELECTRE, ЦИКЛ, ШНУР и др.)[3- 6], снизить влияние субъективного фактора на оценки и увеличить качество принятия решений.

Ключевые слова: АСУ, многофакторный анализ, проектирование, космодром.

Введение

В работах [7, 8] автор, проанализировав структуру и основные проблемные зоны построения АСУ космодрома, предложил постановку задачи, которая послужила основанием для разработки имитационной модели, позволяющей определить необходимое количество ресурсов системы в рамках имеющихся ограничений для выполнения ключевых показателей эффективности. На данном этапе планируется показать, как с помощью использования этой модели на базе принципов многофакторного анализа можно проводить оптимизацию проектных решений АСУ в части автоматизации деятельности подразделений дежурных диспетчерских служб и центров управления космодрома.

Основным показателем эффективности деятельности АСУК является сокращение времени реагирования эксплуатационных подразделений, аварийно-спасательных формирований и различных служб на события повседневного, чрезвычайного и комплексного характера, координация действий всех заинтересованных структур и органов управления для повышения качества выполнения задачи.

Сложность работы АСУК обусловлена, с одной стороны, тем, что организация таких систем не имеет однозначной структурной реализации и определяется множеством факторов (наличие каналов связи, уровень автоматизации дежурных служб, взаимодействие ведомств, уровень финансового обеспечения и т. д.). С другой стороны, проектирование подобных больших систем

связано с общей проблемой декомпозиции в рамках структурно - функциональной компонентной иерархии, в узлах которой находятся дежурные диспетчерские службы (ДДС) и центры управления объектами космодрома.

Задачи проектирования данной структуры до настоящего времени содержат во многом элементы неопределённости. Требования в проектной документации, касающиеся количества ресурсов эксплуатационных подразделений и аварийно-спасательных формирований, а также их оснащения, не имеют чёткого количественного и научного обоснования и разрабатываются в лучшем случае на базе сравнительных или экспертных оценок исходя из уже имеющегося опыта функционирования. Однако это не является достаточным основанием для определения параметров проектируемой системы. Нередки случаи, когда подобные решения приводят к краху проекта, неоптимальному использованию финансовых, материальных, кадровых и иных средств. В работах [7, 8] предложена концепция и реализация имитационной модели АСУК. Теперь покажем, как с помощью этой модели и метода многофакторного анализа можно получать адекватные рекомендации для формирования проектных решений.

1 Структура АСУ Космодрома

Объекты космодрома представляют собой космическую инфраструктуру: «стартовые комплексы и пусковые установки; командно-измерительные комплексы; центры и пункты управления полётами космических объектов; пункты приёма, хранения и обработки информации; базы хранения космической техники; районы падения отделяющихся частей космических объектов; полигоны посадки космических объектов и взлётно-посадочные полосы; объекты экспериментальной базы для отработки космической техники; центры и оборудование для подготовки космонавтов; другие наземные сооружения и технику, используемые при осуществлении космической деятельности»[9], «системы энерго-, водо- и теплоснабжения, систему транспортных (железнодорожных, шоссейных, грунтовых дорог) и инженерных коммуникаций»[10], включая места проживания персонала, который обеспечивает безопасную и надёжную эксплуатацию и развитие этой инфраструктуры в рамках организационных, научно-испытательных и эксплуатационных подразделений.

На самом верхнем уровне управления (Рис. 5) располагается ситуационный центр, в который входит центр обработки вызовов/сообщений, система поддержки принятия решений, иные технические средства, а также программное обеспечение,

Ситуационный центр/ССС				
Средства отображения и обработки информации				
Аналитики по направлениям	Центр обработки вызовов/сообщений (ЦОВ)	Система поддержки принятия решений (СППР)		
Общая интеграционная шина, IPC: Sockets, RPC, RMI, COM/DCOM...				
Автоматизированная система подготовки к пуску (АСПП)	АСУ ТП	АСУ ТП	АСУ ТП	OSS/BSS
Объекты космической инфраструктуры	Объекты муниципального образования	Инженерные коммуникации	Объекты транспортной инфраструктуры	Объекты телекоммуникационной инфраструктуры
Диспетчерские дежурные службы				
Ремонтно-восстановительные бригады, АСФ, экстренные оперативные службы				

Рис. 5. Общая структура АСУ космодрома

Общая интеграционная шина обеспечивает интеграцию АСУ (АСУ ТП) объектов космодрома с интерфейсами СППР, а также с другими подсистемами СЦ/ССС.

Каждый из объектов управления оснащается некоей специализированной АСУ ТП, поддерживающей процессы управления в рамках специфических задач.

Дежурные диспетчерские службы – это особые структуры, которые обеспечивают управление соответствующими дежурными подразделениями в рамках решения проблем, возникающих в определённых, в том числе кризисных и чрезвычайных ситуациях или в ходе мероприятий технического характера, например при транспортировке ракетносителя из монтажно-испытательного комплекса на старт, обрыве телекоммуникационного кабеля; разливе высокотоксичных компонентов топлива; взрыве на стартовой площадке и т. д. К дежурным также относятся экстренные оперативные службы скорой медицинской помощи, полиции, аварийно-спасательных формирований. Если состояние процесса не выходит за рамки того или иного технологического цикла, то им занимается соответствующее эксплуатационное подразделение. Если состояние нарушается или возникает ситуация, выходящая за пределы зоны ответственности этого подразделения, то привлекаются соответствующие ДДС. Кроме того, аналитики СЦ или кризисный штаб (в зависимости от ситуации) координируют деятельность всех служб.

Основной операционный процесс управления на уровне ситуационного центра и ДДС схематично представлен на Рис. 6.



Рис. 6. Основной операционный процесс управления

Естественно, что предложенная схема отражает наиболее общий подход, структурная реализация которого будет зависеть от ряда факторов, например таких, как:

- уровень взаимоотношений между государственными корпорациями (Роскосмос, ПАО «Россети», Спецстрой, Ростелеком и т.д.) и ведомствами центрального подчинения (МО, МВД и т.д.), степень влияния на процессы в данный момент каждого из них;
- полномочия и авторитет главного должностного лица – начальника космодрома или лица, выполняющего его обязанности;
- уровень взаимодействия с местными региональными властями и степень их заинтересованности в развитии проекта;
- наличие инфраструктуры региона и уровень её развития (каналы связи, средства вычислительной техники, электрогенерация и распределительные сети, железнодорожная и автомобильная инфраструктура и т. д.);
- объём финансирования (государственное, по линии отдельных ведомств, региональное);
- наличие в каждом из перечисленных ведомств локальных решений и уровень их адаптивности к Inter Process Communication (IPC);
- готовность локальных центров управления переходить к централизованному решению и наличие ресурсов для этого;
- наличие подготовленных кадров и многое другое.

В связи с этим возникают различные варианты построения структуры управления.

2 Постановка задачи

X_1 – вектор, описывающий событие, требующее реакции со стороны центра; X_2 – вектор, описывающий событие, требующее реакции со стороны ДДС непосредственно;

$R = \{R_p, T\}$ – ресурсы реагирования; где R_p – вектор средств реагирования, описываемый кортежем $\langle typ, ort, x, y, st, c \rangle$, typ – тип средства («мобильная ремонтная бригада», «цистерна», «бригада скорой помощи», «аварийно-спасательное формирование» и т. д.); ort – место дислокации («подстанция 1»); st – состояние («на месте дислокации», «следует к месту события», «на месте события», «вне службы»);

T – вектор, определяющий время прибытия ресурсов реагирования к месту события;

T^* – вектор временных нормативов для реагирования каждой ДДС;

U_p – вектор управляющих реакций ситуационного центра $\langle typ, o, ort, x, y, c \rangle$;

W – вектор внешних воздействий, зависящий от уже описанных факторов.



Рис. 8. Оптимизация ресурсных значений CCC АСУК с помощью графического представления ИМ Системы

С помощью серии экспериментов - прогонов модели выясняется, в какой степени эта комбинация значений ресурсов, в данном случае четырёх CCC, соответствует ограничениям, т.е. времени реакции системы на ситуацию или событие. Время реакции определяется через среднее нахождение заявки на обслуживание в очереди CCC, которое отображается в левом нижнем углу (Рис.2).

Очевидно, что возникает, как минимум несколько оптимизационных критериев, т.к. количество объектов управления в модели равно 4. Задачу многокритериальной оптимизации можно представить математически функционалом:

$$(2) \quad r^* = \underset{r \in R, t \leq t^*}{\operatorname{argmin}} f(r_i),$$

где $i = \overline{1, K}$, r_i – значение количества ресурсов, t – вектор времени реакции, t^* - нормативные значения времени реакции по каждому CCC.

Эксперименты с использованием имитационной модели позволяют определить оптимальное количество ресурсов в каждом из объектов (r^*_i), которое необходимо для выполнения задачи по обслуживанию заявок таким образом, чтобы среднее время обслуживания заявок t_i не превышало нормативных ограничений в отношении каждого объекта (дежурных диспетчерских служб - CCC).

3 Оптимизация ресурсов CCC с использованием метода многофакторного анализа

Для нашей имитационной модели (Рис. 3) это будет означать выбор среди $\{r^*\}$ таких, что выполняются ограничения $t \leq t^*$. При этом предполагается, что значения параметров эксперимента (Resource, или r_i) выбираются из некой оптимальной целесообразности или в простейшем случае простым перебором.

Другой вариант заключается в проведении линейной свёртки, когда каждому из критериев назначается весовой коэффициент α_i , характеризующий значимость соответствующего критерия и устанавливающий некий компромисс между ними. Коэффициенты α_i выбираются положительными и нормированными тем или иным способом, например, с помощью экспертов, так что:

$$(3) \quad \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1, \quad f(r) = \sum_{i=1}^k \alpha_i f_i(r_i)$$

Следует отметить, что для нашей имитационной модели (рис. 1), данная задача будет решаться на уровне нахождения весовых коэффициентов, чтобы определять приращения Δr_i на каждом шаге эксперимента для r_i . Например, определим суммарное приращение как:

$$(4) \quad \Delta R = \sum_{i=1}^k \Delta r_i, \text{ тогда } \Delta r_i = \alpha_i \Delta R$$

Рассмотрим теперь, каким образом можно выбирать весовые коэффициенты, если уже известны некоторые предпочтения по степени важности каждого из критериев. Здесь присутствует проблема выбора значимости, каждого из них и, следовательно, проблема неизбежного субъективного или тенденциозного фактора при экспертной оценке. Чтобы этого избежать предлагается использовать так называемый метод ПРИНН[1, 2].

«Сущность метода сводится к формированию множества допустимых способов учёта неопределённости, выделению в нём наиболее представительного набора способов учёта неопределённости и построению на его основе итеративной процедуры формирования комплексной оценки решений в условиях неопределённости». Считается, что такой подход несколько снижает неопределённость в смысле принятия решений экспертами и переносит часть этой работы на вычислительные мощности. «Способ учета неопределённости позволяет концентрированно выразить в нем "человеческий фактор" принятия решений, возложив остальную работу на компьютер». Таким образом, снижается степень субъективизма.

Предлагаемый алгоритм основан на том, что однозначно сопоставляет любому подмножеству X_A множества неопределённых факторов X некое число $F(y, X_A)$, характеризующее комплексную оценку варианта решения y на множестве X_A .

В случае конечномерного евклидова пространства в работе [2] предложен следующий способ учёта неопределённости:

$$(5) \quad F(X, y) = G^{-1}\left(\frac{1}{S_X} \int_{x \in X} G(f(x, y)) dx\right),$$

где S_X – мера области X неопределённых факторов x , $G(t)$ – некоторая порождающая функция, которая и формирует конкретный способ учёта неопределённых факторов x , $f(x, y)$ принятая свёртка частных критериев. В выражении

(5) y выступает в качестве параметра. Пусть порождающая функция имеет простейший вид:

$$(6) \quad G(t) = t$$

В этом случае:

$$(7) \quad F(X, y) = \frac{1}{S_X} \int_{x \in X} f(x, y) dx$$

Линейная свёртка двух частных критериев $f_1(y)$, $f_2(y)$ при равнозначных весах будет вычисляться по формуле:

$$(8) \quad F(X, y) = \frac{f^1(y) + f^2(y)}{2}$$

Если теперь ввести утверждение о том, что весовой коэффициент x_1 на много более значим, чем x_2 ($x_1 \geq x_2$), то получим следующее соотношение:

$$(9) \quad F(X, y) = \frac{1}{\frac{1}{2}} \int_{\frac{1}{2}}^1 (x^1 f^1(y) + (1 - x^1) f^2(y)) dx^1 = \frac{3f^1(y) + f^2(y)}{4}$$

Следовательно, при использовании данного способа учета неопределённости “более значимый” критерий имеет в линейной свертке весовой коэффициент, в 3 раза больший, чем менее значимый.

Для большего числа критериев линейной свёртки получаем следующую формулу для вычисления весов:

$$(10) \quad x^1 + 3x^1 + 3^2x^1 + \dots + 3^kx^1 = 1, \text{ откуда: } x^1 = \frac{2}{3^{k-1}}$$

Для рассматриваемого случая $\alpha_l = x^l$.

Следовательно, при $k = 4$ получаем, что

$$(11) \quad \alpha_1 = \frac{2}{3^4-1} = 0,025; \alpha_2 = 3 * \frac{2}{3^4-1} = 0,075; \alpha_3 = 9 * \frac{2}{3^4-1} = 0,225; \alpha_4 = 27 * \frac{2}{3^4-1} = 0,675$$

Рассмотрим ряд экспериментов в соответствии с предложенными методами многокритериального анализа.

3.1 Эксперимент1. Заход в множество допустимых альтернатив (множество Парето) простым перебором

Таблица 1. Эксперимент №1

№ прогона	CCC3	CCC2	CCC1	Main	CCC3	CCC2	CCC1	Main
	Количество ресурсов в ДДС				Среднее время заявки в очереди			
1	20	20	20	20	270	45	55	0
2	21	21	21	21	85	23	25	0
3	22	22	22	22	22	14	12,5	0
4	23	23	23	23	9	12,5	10	0
5	24	24	24	24	7,8	11,5	9,5	0

В таблице 1 представлены результаты эксперимента с прогонами модели при нескольких вариантах $R = \{r_1, r_2, r_3, r_4\}^T$. При этом величина приращения Δr_i , каждого из объектов равна 1,

$$(12) t^* = \{20, 20, 20, 3\}^T$$

Понятно, что решение, выделенное жёлтым цветом (Таблица 1) сложно назвать оптимальным, хотя бы потому, что t_4 (время реакции операторов центра обработки вызовов СЦ) оказалось близким к 0 (Рис. 9). Тем не менее, оно находится в множестве допустимых альтернатив в соответствии с (12). Поэтому в следующем эксперименте попробуем начинать перебор для r_4 с 1.

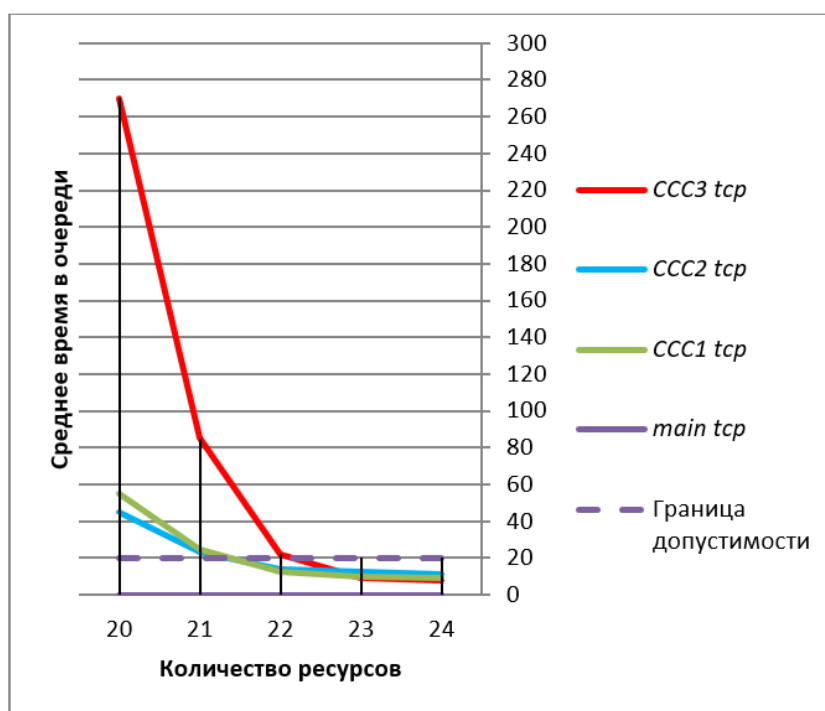


Рис. 9. Эксперимент №1

3.2 Эксперимент №2

Таблица 2. Эксперимент №2

№ прогона	CCC3	CCC2	CCC1	Main	CCC3	CCC2	CCC1	Main
	Количество ресурсов в подразделениях				Среднее время заявки в очереди			
1	20	20	20	1	1250	4300	3800	6400
2	21	21	21	2	63	23	24	5,6
3	22	22	22	3	23	14	12,5	0,75
4	23	23	23	4	13	12,5	11	0,13
5	24	24	24	5	7,3	11	9	0,015

Результат в последней строке удовлетворяет множеству Парето, однако также далёк от реальности, т.к. время реакции операторов ЦОВ в ситуационном центре с точки зрения здравого смысла не может быть равно 0,015 мин или 0,9 с. Поэтому, попробуем воспользоваться методом многокритериального анализа ПРИНН[1, 2] для оптимизации решения в границах множества допустимых альтернатив.

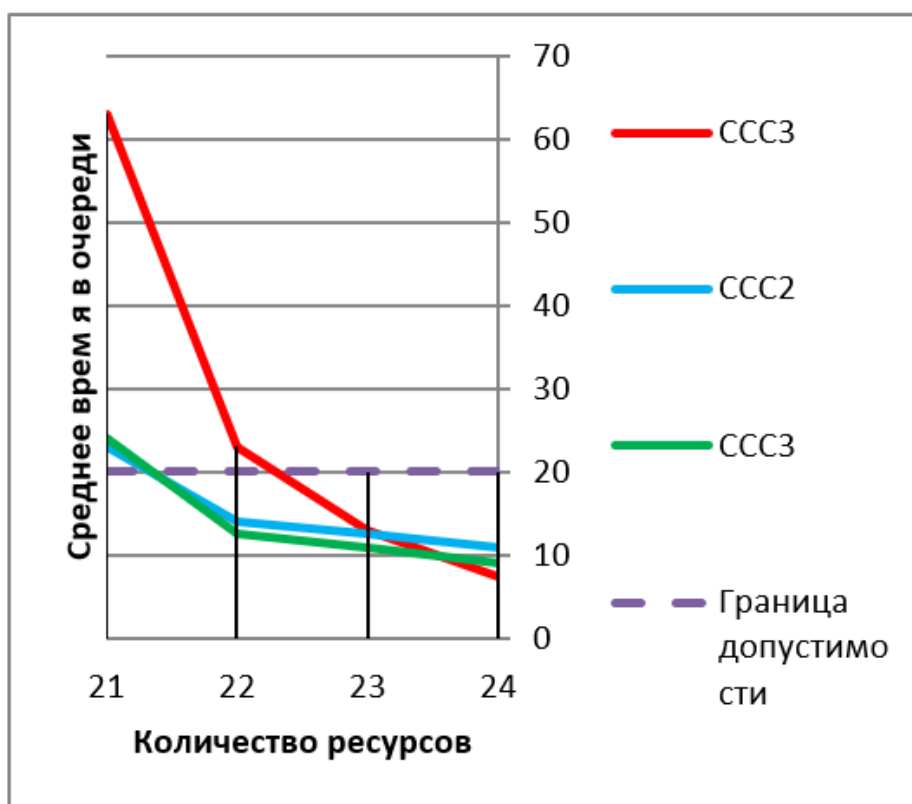


Рис. 10. Эксперимент №2

3.3 Эксперимент №3. Оптимизация решения приращением по методу ПРИНН в множестве Парето

Пусть ΔR - суммарное приращение для всех объектов модели = 10, т.е. согласно (4):

$$(13) \sum_{i=1}^4 \Delta r_i = \sum_{i=1}^4 \alpha_i 10 = 10, \text{ следовательно } \Delta r_i = \alpha_i 10$$

Теперь определим коэффициенты линейной свёртки для каждого из r_i в соответствии с (10)

Таблица 3. Расчёт коэффициентов линейной свёртки

1	$\alpha_3 =$	0,02500
2	$\alpha_2 =$	0,07500
3	$\alpha_1 =$	0,22500
4	$\alpha_4 =$	0,67500
Контрольная сумма		1,00000

В Таблица 3 представлен расчёт линейных коэффициентов свёртки для приращения количества ресурсов для очередного прогона в каждом из объектов имитационной модели по методу ПРИНН. Понятно, что количество бригад скорой помощи на линии существенно важнее, чем ресурсы энергетиков или ресурсы службы эксплуатации инженерной инфраструктуры. В соответствии со здравым смыслом и результатами экспериментов 1, 2 видно, что число операторов ЦОВ в ситуационном центре должно быть значительно меньше, чем всех остальных ресурсов в системе.

$$(14) r_{ij+1} = [r_{ij} - \alpha_i * \Delta R], \text{ где } j - \text{ номер прогона}$$

Таблица 4. Эксперимент №3

№ прогона	ССС3	ССС2	ССС1	Main	ССС3	ССС2	ССС1	Main
	Количество ресурсов				Среднее время в очереди			
1	24	24	24	24	9,00	12,00	10,00	0,00
2	24	22	23	17	7,5	12,5	9	0
3	24	20	22	10	8	14	9,5	0
4	24	18	21	3	8	19,5	11	0,8

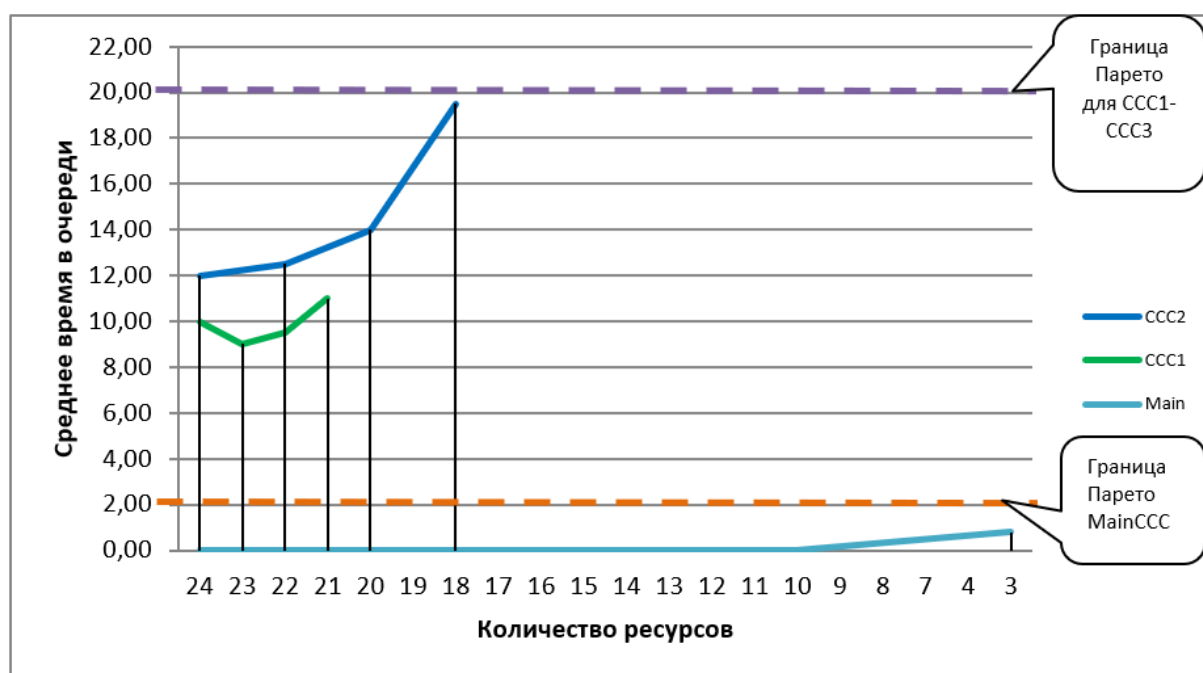


Рис. 11. Оптимизация решения по методу ПРИНН в множестве Парето

В Таблица 4. и на Рис. 11 видно, что через 4 прогона мы получаем выход на границу множества допустимых альтернатив. При этом получается вполне адекватное решение. Количество операторов главного центра обработки вызовов (СЦ) равно 3, ресурсы скорой помощи остались на уровне 24 бригад, дежурная служба энергообеспечения «потеряла» 2 единицы ресурсов, служба эксплуатации инженерных сетей – 6. Тем не менее, в целом решение удовлетворяет ограничениям (12) и тому, что называется «здравым смыслом».

Таким образом, авторы предлагают использовать довольно оригинальную идею метода ПРИНН, снижающую влияние субъективного экспертного фактора, для многокритериального выбора при оптимизации структуры АСУ космодрома с помощью имитационной модели. Данный подход позволяет делать на фазе проектного анализа научно-обоснованные оценки основных ресурсных параметров функционирования АСУ космодрома, обеспечивающие выполнение ключевых показателей эффективности.

Литература

1. Мальшев В.В., Пиявский Б.С., Пиявский С.А. Метод принятия решений в условиях многообразия способов учета неопределенности // Известия РАН. Теория и системы управления. 2010. № 1. С. 46–61.
2. Панов Д.В., Мальшев В.В., Пиявский С.А., Ковков Д.В. Сравнительный многокритериальный анализ сложных технических и социальных систем в экономико-управленческом аспекте // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7. № 2. С. 74–83. doi:10.18184/2079-4665.2016.7.2.74.83
3. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М: Логос, 2000 - 295 с.
4. Ларичев О.И. Вербальный анализ решений. – М: Наука, 2006 -181 с.
5. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. - М.: Наука, 1978. — 352 с.

6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий - М.: Радио и связь, 1993 – 287 с.
7. Dmitri Razumov, Prof., Dr. (Eng.) Vladimir Aleshin Simulation Modelling as a Tool for Design and Development in Large-Scale Automated Systems Smart City Application in Terms of Lack of Statistical Information. Advances in Systems Science and Applications (Scopus indexed). ISSN (Online) 1078-6236. 2018;03; 79-89 p. Published online at <http://ijassa.ipu.ru/index.php/ijassa/article/view/653>.
8. Бадалов А.Ю., Разумов Д.А. Методика моделирования в жизненном цикле большой автоматизированной системы космодрома уровня Smart City. Труды МАИ. Выпуск № 100. https://trudy.mai.ru/upload/iblock/08b/Badalov_Razumov_rus.pdf
9. Об утверждении Положения по выполнению требований безопасности при эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры космодрома Байконур (ПВТБЭ-2012). Федеральное космическое агентство (Роскосмос). Приказ №135. Москва. 22 июня 2012 г.
10. Фёдоров А.В. Основы устройства ракетно-космических комплексов. Учебное пособие, 2012г. <http://libed.ru/knigi-nauka/688830-6-fdorov-aleksey-vladimirovich-osnovi-ustroystva-raketno-kosmicheskikh-kompleksov-uchebnoe-posobie-2012-soderzhanie.php>