

УДК 623.618

А.В. Царевский

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

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 обмена информацией. [e-mail: charevsk@mail.ru].

Аннотация

В статье формулируются две задачи поиска оптимальных проектных решений (ОПР) аппаратно-программных комплексов обмена информацией (АПКОИ), представлена совокупность моделей синтеза ОПР с минимальной стоимостью создания комплекса при заданной производительности и надежности обработки информации.

Ключевые слова: синтез проектных решений, математические модели, оптимизация проектных решений.

Abstract

The article defines two tasks of search for optimal design solutions of hardware and software systems of data exchange, presents a set of models for synthesis of optimal design solutions at minimum cost of system creation at a given performance and reliability of data processing.

Key words: synthesis of design solutions, mathematical models, optimization of design solutions.

ВВЕДЕНИЕ

АПКОИ выполняет функции обмена информацией с корабельными системами в реальном масштабе времени, а также автоматическую выработку ряда управляющих воздействий на корабельные системы [1]. Для этого необходимо решение ряда проектных задач, целью которых является создание аппаратно-программной системы с заданными характеристиками функционирования. Количество обрабатываемых видов информации исчисляется сотнями, поэтому выбор ОПР АПКОИ невозможен без применения средств автоматизации проектирования. Формализация задач проектирования позволяет автоматизировать процесс синтеза ОПР АПКОИ.

При решении задач используются экспериментальные зависимости: стоимость технических средств (ТС) от производительности; стоимость ТС от производительности и надежности обработки; стоимость разработки программных средств (ПС) от надежности. При этом возможна неопределенность в экспериментальных зависимостях, а при общем подходе к рассматриваемой задаче устанавливается рациональный объем поступающих от абонента данных. Задачи относятся к классу задач нелинейного программирования.

Первая задача — поиск ОПР АПКОИ по известному количеству абонентов и интервальным заданием объема данных, поступающих от каждого абонента в единицу времени, с использованием экспериментальных зависимостей стоимости ТС от производительности и с учетом их возможной неопределенности. Проектные решения включают количество и производительность ТС, распределение абонентов по ТС, при которых стоимость создания АПКОИ минимальна и обеспечивается обработка поступающей информации с заданными критериями качества.

Вторая задача — поиск ОПР АПКОИ по известному количеству абонентов и интервальным заданием объема данных, поступающих от каждого абонента в единицу времени, по требуемым надежностям обработки данных с использованием экспериментальных зависимостей стоимости ТС от производительности и надежности, стоимости разработки ПС от надежности с учетом их возможной неопределенности. Проектные решения включают количество, производительность и надежность ТС, распределение абонентов по ТС, надежность ПС, при которых стоимость создания АПКОИ минимальна и обеспечивается обработка поступающей информации с заданными критериями качества.

Анализ существующих моделей проектирования автоматизированных систем (АС) показал.

1. В моделях не учитываются зависимости стоимости ТС от надежности функционирования, стоимости ТС от производительности и надежности обработки, стоимости разработки ПС от надежности, а также возможная неопределенность в этих зависимостях.

2. Модели обеспечивают синтез проектных решений АПКОИ как однородной системы, в то время как современные бортовые АПКОИ неоднородны. Создание подобного рода систем связано с разработкой двух равновесных и взаимовлияемых друг на друга компонентов — ТС и ПС.

3. Информация каждого абонента обрабатывается функционально самостоятельной программой. При синтезе проектных решений оптимальным образом распределяется информация абонентов по средствам сопряжения (СС). Информация абонентов, распределенная на СС, определяет производительность СС, а стоимость СС зависит от производительности. Эта взаимосвязь в существующих моделях не отражена.

4. Если информацию требуется обрабатывать с заданной надежностью (ПС разрабатывается с заданным уровнем надежности), то распределение информации влияет и на надежность ТС, так как надежность обработки информации будет зависеть от обеих надежностей. Эта взаимосвязь в моделях не отражена. Нет моделей, которые позволяли бы синтезировать ОПР АПКОИ с учетом надежности ПС.

5. В настоящее время не существует общего математического аппарата, позволяющего решать разнообразные задачи проектирования АС. Развитие математического моделирования идет в направлении возрастания числа частных задач, учитывающих отдельные параметры технических и программных средств, показатели качества систем, их особенности и условия функционирования.

Таким образом, решение поставленных задач является определенным вкладом в моделирование АС. Автоматизация синтеза ОПР обеспечивает ряд положительных эффектов при создании таких специфических систем, как АПКОИ для корабельных АСУ:

- выявляются более точные оценки стоимости создания АПКОИ за счет учета взаимозависимостей между характеристиками ТС и ПС;

- снижаются затраты на создание АПКОИ при удовлетворении необходимых требований к производительности ТС, структуре ПС и распределению ПС по ТС, надежности обработки информации;

- снижаются затраты на проектирование как за счет уменьшения времени поиска ОПР, так и за счет использования базовых проектных решений для создания новых или модернизации существующих проектов АПКОИ;

- повышается реализуемость и конкурентоспособность АПКОИ.

Модели синтеза ОПР АПКОИ

Рассмотрим группу моделей, позволяющую решать первую задачу поиска ОПР.

Принятые обозначения:

m — количество абонентов;

n — количество СС;

$C_i(\mu_i)$ — стоимость i -го СС с производительностью μ_i (Мбайт/с);

v_{aj} — объем информации в единицу времени от j -го абонента (Мбайт/с);

$$C_s = \sum_{i=1}^n C_i(\mu_i) \text{ — общий вид целевой функции.}$$

Зависимость стоимости ТС от производительности $C_o(\mu) = \{\mu_k, C_k\}, k \in [1, l]$ в общем виде, при неопределенности экспериментальных данных, показана на рисунке 1 — $\mu_k \in [\mu_{k \min}, \mu_{k \max}]$, $C_k \in [C_{k \min}, C_{k \max}]$. Неопределенность возникает в силу большого количества вариантов ТС, используемых в АПКОИ. Частным случаем является одна зависимость с точными экспериментальными данными — $\mu_{k \min} = \mu_{k \max}$, $C_{k \min} = C_{k \max}$.

Первая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса в условиях точных экспериментальных зависимостей по заданному количеству абонентов m с па-

раметрами $\{v_{a_j}, \dots, v_{a_m}\}$ и ограничениями Θ_1 :

$$R = \{C_s, n, \mu_1, \dots, \mu_n, Y\};$$

$$C_s = \sum_{i=1}^n C_i(\mu_i) \rightarrow \min;$$

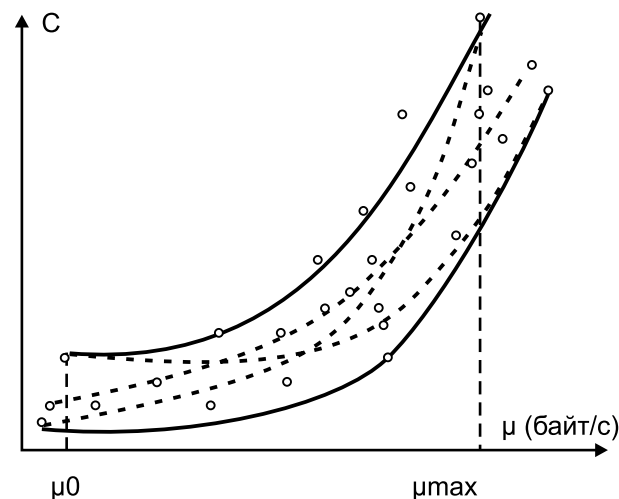


Рис. 1. Общий вид зависимости стоимости СС от производительности

$$C_s(\mu) = \{\mu_k, C_k\}, k \in [1, l];$$

$$\Theta_1 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, \dots\}.$$

Ограничение O1.

$n \leq K \leq m$ – количество СС не больше некоторой величины K , связанной с ограниченным местом на корабле, или не больше количества абонентов.

Ограничение O2.

$$\sum_{i=1}^n y_{ij} \geq 1 \text{ для всех } j \in [1, m] \text{ – информация}$$

каждого абонента распределена хотя бы на одно СС, $Y = |y_{ij}|$ – матрица распределения информации абонентов по СС ($y_{ij} = 1$, если информация j -го абонента распределена на СС с номером i , $y_{ij} = 0$ – в противном случае). Отсюда следует,

$$\text{что } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} \geq m$$

Если $\sum_{i=1}^n y_{ij} = 1$ – информация каждого абонента

распределена только на одно СС, тогда

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m y_{ij} = m.$$

Ограничение O3.

$$\sum_{j=1}^m y_{sj} \geq 1 \text{ для всех } s \in [1, n] \text{ – на СС распределена}$$

информация хотя бы одного абонента.

Ограничение O4.

$$\mu_i \geq \sigma \sum_{j=1}^m v_{a_j} y_{ij} \text{ (} i \in [1, n] \text{)} \text{ – производительность}$$

каждого СС не ниже требуемой производительности для обработки информации на данном СС. σ – безразмерный коэффициент, устанавливаемый из практики создания АПКОИ.

Ограничение O5.

$$\mu_{min} \leq \sigma v = \mu = \sum_{i=1}^n \mu_i \leq \mu_{max} \text{ – требуемая}$$

производительность АПКОИ ограничена.

Ограничение O6.

$$\mu_{min} \leq \mu_i \leq \mu_{max} \text{ (} i \in [1, n] \text{)} \text{ – производительность}$$

одного СС ограничена.

Решения находят алгоритмами случайного перераспределения абонентов по СС.

Вторая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса в условиях неопределенности экспериментальных зависимостей по заданному количеству абонентов

тов m с параметрами $\{v_{a_j}, \dots, v_{a_m}\}$, ограни-

чениями Θ_1 и критериями выбора K :

$$R_j = \{C_{sj}, n_j, \mu_1^{(j)}, \dots, \mu_n^{(j)}, Y^{(j)}\}, j \in [1, L];$$

$$C_{sj} = \sum_{i=1}^{n_j} C_i(\mu_i^{(j)}) \rightarrow \min;$$

$$C_s(\mu) = \{\mu_k, C_k\}, k \in [1, l];$$

$$\mu_i^{(j)} \in [\mu_{i_{min}}, \mu_{i_{max}}];$$

$$R_j \in \{R_1, \dots, R_L\};$$

$$\Theta_1 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, \dots\};$$

$$K = \{A, B, \dots\}.$$

Ограничение O7.

$C_s \leq C_{max}$ – ограничение на стоимость АПКОИ.

Ограничение O8.

$n \leq N_{max}, n \leq N_{max}$ – ограничение на количество СС.

Критерий A – использование ОПР, наибольшее количество которых приходится на один из участков изменения коэффициентов аппроксимации.

Критерий B – визуальный просмотр полученных проектов и их анализ на основе имеющегося опыта.

Проектные решения выбирают алгоритмами *первой модели* из допустимой совокупности экспериментальных данных, удовлетворяющее ограничениям Θ_1 и критериям K (набор правил, условий, положений, по которым предпочтение отдается одному или нескольким ОПР).

Третья модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса по заданному количеству абонентов m с параметрами

$\{v_{a_j}, \dots, v_{a_m}\}$ и ограничениями Θ_1 , используя экспериментальные зависимости в виде полинома:

$$R = \{C_s, n, \mu_1, \dots, \mu_n, Y\};$$

$$C_s = na_0 + a_1 v + a_2 v^2 \sum_{i=1}^n \gamma_i^2 +$$

$$+ a_3 v^3 \sum_{i=1}^n \gamma_i^3 \dots \rightarrow \min;$$

$$\Theta_1 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, \dots\};$$

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1, \text{ где } \gamma_i \text{ – доля общего объема дан-$$

ных v , которая поступает на i -е СС.

Модель используется для выявления формальных зависимостей ОПР от исходных данных $R = n = F(a_0, a_p, \dots, v)$, которыми заменяют алгоритмы синтеза с целью уменьшения времени решения. Пример формальной зависимости:

$$n = v \cdot \left(\sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0} + \sqrt{\frac{a_3^2}{a_0^2} \pm \frac{a_2^3}{27a_0^3}} + \sqrt[3]{\frac{a_3}{a_0} - \sqrt{\frac{a_3^2}{a_0^2} \pm \frac{a_2^3}{27a_0^3}} \right).$$

Четвертая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса и максимальной эффективностью $E(v_a)$ вырабатываемых управляющих воздействий на корабельные системы по заданному набору абонентов с интервальными параметрами $\{v_{a_j}, \dots, v_{a_k}\}$, критериями выбора K и ограничениями Θ_1 :

$$R_{xw} = \{C_{sxw}, E, n_{xw}, \mu_1^{(xw)}, \dots, \mu_{n_{xw}}^{(xw)}, Y^{(xw)}\}$$

$$x \in [1, L], w \in [1, W];$$

$$E \left(v_{a_1} \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{i1}^{(xw)}, \dots, v_{a_k} \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{ik}^{(xw)} \right) \rightarrow \max;$$

$$\left. \begin{aligned} C_{sxw} &= \sum_{i=1}^{n_{xw}} C_i(\mu_i^{(xw)}) \rightarrow \min \\ C_s(\mu) &= \{\mu_k, C_k\}, k \in [1, L] \\ \mu_i^{(xw)} &= \sigma \sum_{j=1}^k \left(v_{a_j}^{(w)} \cdot \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{ij}^{(xw)} \right) \end{aligned} \right\} \text{или } F(a_0, a_2, \dots, v) \text{ третьей модели;}$$

$$v_{a_j}^{(w)} \in [v_{a_j, \min}, v_{a_j, \max}];$$

$$k \geq m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^{(xw)};$$

$$\Theta_1 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, \dots\};$$

$$K = \{D, Q, \dots\}.$$

Критерий D – максимально возможное количество абонентов.

Критерий Q – количество абонентов, не превышающее заданного значения.

Проектные решения синтезируют по второй модели из допустимых совокупностей абонентов и интервальных параметров информации (v_a) , удовлетворяющих ограничениям Θ_1 , максимальной эффективности $E \rightarrow \max$ и критериям выбора K . Второй подход к синтезу – использование формальных зависимостей третьей модели.

Следующая группа моделей позволяет решать вторую задачу поиска ОПР.

Обозначим:

P_j – требуемая надежность обработки информации j -го абонента;

$C_i(\mu_i, p_i)$ – стоимость i -го СС с производительностью μ_i и надежностью обработки p_i ;

$$C_s = \sum_{i=1}^n C_i(\mu_i, p_i) \text{ – общий вид целевой}$$

функции.

Зависимость стоимости СС от производительности и надежности обработки информации:

$C_s(\mu, p) = \{\mu_k, p_k, C_k\}, k \in [1, L]$ в общем виде, при неопределенности экспериментальных данных, показана на рисунке 2 –

$$\mu_k \in [\mu_{k, \min}, \mu_{k, \max}], C_k \in [C_{k, \min}, C_{k, \max}],$$

$$p_k \in [p_{k, \min}, p_{k, \max}].$$

Частный случай – зависимость с точными экспериментальными данными $\mu_{k, \min} = \mu_{k, \max}, C_{k, \min} = C_{k, \max}, p_{k, \min} = p_{k, \max}$. $p_k = f(P_{kTC}, P_{kPC})$ – надежность обработки информации на СС с учетом надежности ТС и ПС.

Пятая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса в условиях точных экспериментальных зависимостей по заданному количеству абонентов m с параметрами $\{(v_{a_1}, P_1), \dots, (v_{a_m}, P_m)\}$ и ограничениями Θ_2 :

$$R = \{C_s, n, \mu_1, \dots, \mu_n, p_1, \dots, p_n, Y\};$$

$$C_s = \sum_{i=1}^n C_i(\mu_i, p_i) \rightarrow \min;$$

$$C_s(\mu, p) = \{\mu_k, p_k, C_k\}, k \in [1, L];$$

$$\Theta_2 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O10, O11, \dots\};$$

Ограничение $O10$.

$p_i \geq P_{\min}$ ($i \in [1, n]$) – надежность обработки не меньше заданной величины.

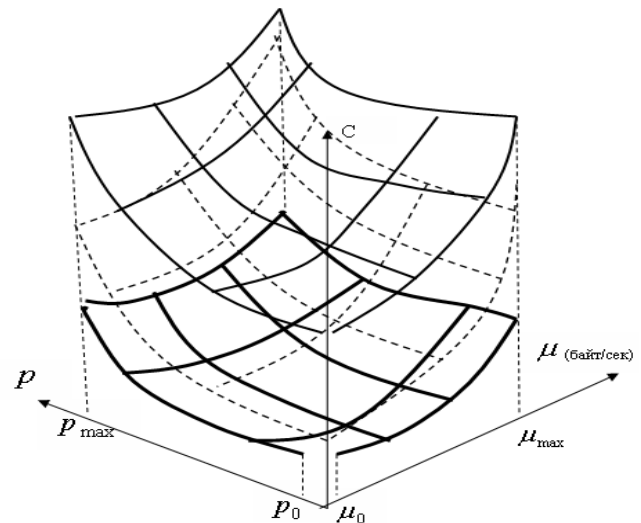


Рис. 2. Общий вид зависимости стоимости СС от производительности и надежности

Ограничение O11.

$P_j y_{ij} \leq p_i$ при $y_{ij} = 1$ ($j \in [1, m], i \in [1, n]$) – требуемая надежность обработки информации абонента P_j не выше, чем надежность СС.

Решения находят алгоритмами случайного перераспределения абонентов по СС.

Шестая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса в условиях неопределенности экспериментальных зависимостей по заданному количеству абонентов m с параметрами $\{(v_{a_1}, P_1), \dots, (v_{a_m}, P_m)\}$ ограничениями Θ_2 и критериями выбора K :

$$R_j = \{C_{sj}, n_j, \mu_1^{(j)}, \dots, \mu_{n_j}^{(j)}, p_1^{(j)}, \dots, p_{n_j}^{(j)}, Y^{(j)}\}$$

$j \in [1, L]$;

$$C_{sj} = \sum_{i=1}^{n_j} C_i(\mu_i^{(j)}, p_i^{(j)}) \rightarrow \min;$$

$$C_s(\mu, p) = \{\mu_k, p_k, C_k\}, k \in [1, l];$$

$$\mu_i^{(j)} \in [\mu_{i \min}, \mu_{i \max}];$$

$$p_i^{(j)} \in [p_{i \min}, p_{i \max}];$$

$$R_j \in \{R_1, \dots, R_L\};$$

$\Theta_2 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O10, O11, \dots\}$;

$K = \{A, B, \dots\}$ (см. модель 2).

Проектные решения выбирают алгоритмами пятой модели из допустимой совокупности экспериментальных данных, удовлетворяющие ограничениям Θ_2 и критериям K .

Седьмая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса по заданному количеству абонентов m с параметрами $\{(v_{a_1}, P_1), \dots, (v_{a_m}, P_m)\}$ и ограничениями Θ_2 , используя экспериментальные зависимости в виде полинома:

$$R = \{C_s, n, \mu_1, \dots, \mu_n, p_1, \dots, p_n, Y\};$$

$$C_s = na_0 + a_1 v + a_2 v^2 \sum_{i=1}^n \gamma_i^2 + nb_0 + b_1 \sum_{i=1}^n p_i + b_2 \sum_{i=1}^n p_i^2 + q_{12} v \sum_{i=1}^n \gamma_i p_i + \dots \rightarrow \min;$$

$\Theta_2 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O10, O11, \dots\}$;

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i = 1.$$

Модель используется для выявления формальных зависимостей ОПР от исходных данных $R = n = F(a_0, a_2, \dots, b_0, b_1, \dots, v)$, которыми заменяют

алгоритмы синтеза с целью уменьшения времени решения. Пример формальной зависимости:

$$n = v \cdot \sqrt{\frac{a_2}{a_0 + b_0 + b_1 v + b_2 v^2}}$$

$$\mu_1 = \dots = \mu_n = \frac{\sigma v}{n}.$$

Восьмая модель. Выбор ОПР АПКОИ R с минимальной стоимостью создания комплекса и максимальной эффективностью $E(v_{a_j})$ вырабатываемых управляющих воздействий на корабельные системы по заданному набору абонентов с интервальными параметрами $\{(v_{a_1}, P_1), \dots, (v_{a_k}, P_k)\}$, критериями выбора K

и ограничениями Θ_2 :

$$R_{xw} = \{C_{sxw}, E, n_{xw}, \mu_1^{(xw)}, \dots, \mu_{n_{xw}}^{(xw)}, p_1^{(x)}, \dots, p_{n_{xw}}^{(x)}, Y^{(xw)}\}$$

$x \in [1, L], w \in [1, W]$;

$$E\left(v_{a_1}^{(w)} \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{i1}^{(xw)}, \dots, v_{a_k}^{(w)} \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{ik}^{(xw)}\right) \rightarrow \max;$$

$$C_{sxw} = \sum_{i=1}^{n_{xw}} C_i(\mu_i^{(xw)}, p_i^{(x)}) \rightarrow \min$$

$$C_y(\mu, p) = \{\mu_k, p_k, C_k\}, k \in [1, l]$$

$$\mu_i^{(xw)} = \sigma \sum_{j=1}^k \left(v_{a_j}^{(w)} \cdot \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{ij}^{(xw)} \right)$$

$$p_i^{(x)} = \max_{j \in [1, k]} \left\{ P_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{xw}} y_{ij}^{(xw)} \right\}$$

или $F(a_0, a_2, b_0, b_1, \dots, v)$ седьмой модели;

$$v_{a_j}^{(w)} \in [v_{a_j \min}, v_{a_j \max}];$$

$$k \geq m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^{(xw)};$$

$\Theta_2 = \{O1, O2, O3, O4, O5, O6, O7, O8, O10, O11, \dots\}$;

$K = \{D, Q, \dots\}$.

Проектные решения синтезируют по шестой модели из допустимых совокупностей абонентов и интервальных параметров информации (v_a) , удовлетворяющих ограничениям Θ_2 , максимальной эффективности $E \rightarrow \max$ и критериям выбора K . Второй подход к синтезу – использование формальных зависимостей седьмой модели.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные модели синтеза ОПР АПКОИ применимы:

1. Для автоматизации синтеза ОПР.
2. Для выбора формальных зависимостей ОПР от исходных данных.
3. Как средство, с помощью которого проводится анализ будущих проектов АПКОИ на основе исходных данных и определяются возможные способы получения тех или иных решений.
4. Для проработки вопроса о качественном и количественном составе информации абонентов с целью создания АПКОИ с заданными характеристиками. Например, при создании корабельной АСУ ведется согласование количества и качества обрабатываемой информации с целью максимизации выработки управляющих воздействий вырабатываемых АСУ на корабельные системы.
5. Для выбора поставщиков ТС (комплектующих), так как позволяют определять будущие затраты при использовании того или иного поставщика (производителя) ТС (комплектующих).
6. Для выбора надежности создаваемых ПС, что позволяет планировать процесс создания программных средств.
7. Для выбора оптимального распределения абонентов по СС.

8. Для выбора технологии создания ПС, что позволяет рационально использовать производственные и финансовые ресурсы.

9. При определенном качественном составе информации от абонентов и виде экспериментальных зависимостей, что позволяет получать формальные зависимости. Формальные зависимости применимы как альтернатива алгоритмов синтеза и в случаях, когда нет возможности воспользоваться средствами автоматизации.

10. Для выбора ТС при заданных характеристиках ПС.

11. Модели являются базовыми и могут быть использованы при наличии дополнительных ограничений и различного рода условий. Наличие таких альтернативных вариантов способствует принятию более грамотных окончательных ОПР АПКОИ, а также обеспечивает целесообразность введения дополнительных условий и ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Царевский А. В. Сопряжение с внешними абонентами в корабельных специальных системах управления (КССУ) / А. В. Царевский // Автоматизация процессов управления. — 2006. — № 1 (7). — С. 3—9.