

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОГО СОСТАВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

С.А. Шевченко, А.В. Малинка
(в/ч 07378 г. Мирный)

Рассмотрен подход программно-целевого планирования систем технических средств, выделены основные принципы, осуществлена их конкретизация. Даны алгоритмы решения задачи поиска вариантов развития при минимальных размерах ассигнований и задачи оценки повышения возможностей измерительного комплекса при заданных объемах ассигнований на их развитие.

Ключевые слова: программно-целевое планирование, расчеты по оптимизации, жизнедеятельность военных систем, оптимизация планов развития вооружения и военной техники.

Обработка и анализ измерительной информации (ИИ) занимают важное место в процессе летно-конструкторских испытаний ракетной и космической техники, серийных пусках баллистических ракет и запусках космических аппаратов (КА). Результаты обработки измерительной информации являются основным звеном в системе информации при испытаниях сложной ракетно-космической техники. Учитывая требования к ИИ в ходе выполнения задач по обеспечению пусков баллистических ракет и запусков КА, постановка математических задач, которые могут использоваться в ходе работы по обоснованию целесообразных вариантов перспективного развития состава измерительного комплекса космодрома (ИКК), базируется на идеях и концепции программно-целевого планирования систем технических средств (СТС). Указанный подход к целевому планированию СТС включает три основных принципа:

- необходимость формулировки целей жизнедеятельности исследуемой системы;
- учёт всех способов достижения этих целей;
- всесторонний учёт долговременных последствий принимаемых решений.

Эти общие принципы можно конкретизировать следующим образом:

- в качестве общей цели развития предлагается принять требование комплектования наиболее эффективными измерительными средствами (ИС) заданного состава ИКК и в заданных пунктах базирования в соответствии с требованиями к их размещению. При этом учитывается количественная оценка эффективности каждого ИС в конкретных условиях базирования и гипотетических боевых действий в случае войны;
- при рассмотрении планов развития ИКК необходимо учитывать все без исключения доступные варианты пополнения состава и использования уже имеющихся и вновь поступающих на вооружение ИС, а также определение мест их размещения;

– разрабатываемые предложения по вариантам планов развития должны охватывать, как минимум, все этапы жизненных циклов наиболее долго используемых ИС, и учитывать факторы, связанные с формированием их организационно-штатных структур и боевых расчетов.

ИС являются сложной конструкцией, предназначенной для использования в течение длительного времени. Отмеченные особенности данного вооружения приводят к необходимости в ходе планирования процессов использования и пополнения состава принимать решения отдельно по каждому ИС. В связи с этим расчёты по оптимизации планов развития ИКК должны оперировать с целочисленными переменными назначения, производства и утилизации, и сводиться в математическом плане к задачам дискретной оптимизации.

Известно, что задачи этого типа, как правило, не имеют общих методов решения, кроме полного перебора, однако, в настоящее время интенсивно разрабатываются эффективные приближённые алгоритмы [1 – 3], которые обеспечивают практически приемлемые результаты оптимизации (в смысле степени близости полученных критериев к точным значениям и необходимых объёмов счёта). Большинство алгоритмов данного класса индифферентно к виду функциональных зависимостей, которые определяют связи различных параметров планирования. Поэтому для характеристики используемых в расчётах показателей эффективности и разного рода затрат могут применяться алгоритмические описания, что в свою очередь упрощает учёт реальных особенностей жизнедеятельности военных систем (ВС) рассматриваемого типа.

В нынешнем виде органы управления развитием ВС, как правило, разделены по ведомственному признаку и не готовы к одновременному рассмотрению всех составляющих этих сложных объектов. Поэтому представляется целесообразным рассмат-

ривать предложения данной статьи при оптимизации планов развития, в основном, вооружения и военной техники (ВиВТ), а связанные с этим характеристики остальных компонентов ВС учитывать косвенным образом.

Допущения и обозначения математических моделей функционирования ИС

Рассматриваются процессы функционирования и пополнения состава ИКК в течение некоторого перспективного периода времени T , представленного последовательностью элементарных отрезков $t = \overline{1, T}$. Т. е. принят дискретный счёт времени, при котором считается, что все события, отнесённые к времени t , происходят один раз в течение соответствующего элементарного периода. Значения $t = 0, -1, -2 \dots$ используются для обозначения событий, происшедших до начала планируемого периода, а значения $t = T + 1, T + 2 \dots$ – после его окончания.

Термином «тип» обозначена однозначно определённая совокупность всех характеристик ИС. Эти характеристики предполагаются известными для всех типов ИС, как находящихся в составе к началу рассматриваемого периода, так и поступающих или предполагаемых к поступлению. Индексы проектов $p \in P$, $|P|$ – общее их число. Термин «тип» используются здесь в смысле, близком к принятому в практике построения ИС.

Общие требования к составу ИКК задаются перенесением индексов штатных единиц $j \in J$, $|J|$ – общее их количество во всех космических войсках (КВ) в течение планируемого периода. Предполагается, что индексы j определяют также все особенности системы расположения и применение ИС в высших степенях боевой готовности (ВСБГ).

Для каждой штатной единицы состава ИКК предполагается известным подмножество типов ИС $P_j^{(компл)} \subset P$, которые пригодны для комплектования соответствующих ИКК.

Так как по ходу планируемого периода возможны изменения требований к составу ИС, в дополнение к общим требованиям комплектования считаются заданными величины $f_{jt} \in 0, 1$, $j \in J$, $t = \overline{1, T}$, которые принимают значение 1, если в данном отрезке времени планируется комплектование данной штатной единицы, и 0 в противном случае.

Рассматриваемые в планах использования и пополнения состава ИС (реально существующие и гипотетические) помечены индексами $i \in I$. Ин-

дексам ИС $i \in I$ сопоставлены величины $p_i^{(ИС)} \in P$, указывающие их проекты (качественная характеристика). Таким образом, величина $|I|$ определяется численностью штатных единиц всех ИС в течение планируемого периода времени и потенциальными наборами ИС различных типов, которые могут использоваться для комплектования, т. е.

$$|I| = \sum_{j \in J} |P_j^{(компл)}|.$$

В составе множества I выделим подмножество $I^{(0)} \subset I$ ИС, уже находящихся в составе к началу планируемого периода. Естественно, для них считаются известными величины $p_i^{(ИС)}$, $i \in I^{(0)}$ и занимаемые места в штатах ИК перед началом планируемого периода (величины $x_{ij}^{(0)} \in \{0, 1\}$, $i \in I^{(0)}$, $j \in J$, равные 1, если ИС с индексом i занимает j -е штатное место).

Полагая, что все разновидности затрат на обеспечение функционирования ИКК могут быть оценены в денежном выражении, считаются известными суммарные величины расходов на обеспечение содержания ИС – величины $c_{pit} > 0$, $p \in P$, $j \in J$, $t = \overline{1, T}$. Таким образом могут быть учтены все особенности обеспечения процесса эксплуатации ИС различных типов в составе конкретных ИК.

В качестве источника пополнения состава ИК рассматривается только производство отечественных ИС, представленное следующей моделью. Индексами $l \in L$ помечены места предприятий данной промышленности, доступные для размещения заказов на изготовление ИС. Будем полагать, что на каждом из них может проводиться изготовление любого типа ИС из заданного набора $P_l^{(изз)} \subset P$.

Для учёта ресурсных и временных ограничений изготовления ИС по проектам, разработка которых не закончена к началу исследуемого периода, предполагаются известными возможные сроки окончания соответствующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) – $t_p^{(НИОКР)} \in [0, T - 1]$, $p \in P$, а также размеры затрат на эти разработки в случае принятия решений по их проведению – $c_p^{(НИОКР)} \geq 0$, $p \in P$ (предполагается, что такие расходы придётся производить в каждом отрезке

времени $t \in [1, t_p^{(НИОКР)}]$. Соответственно, из общего числа можно выделить подмножество проектов, которые в случае принятия решений о строительстве по ним ИС, потребуют дополнительных вложений средств и времени на завершение разработок – $P^{(НИОКР)} \in \{P \mid t_p^{(НИОКР)} \geq 1\}$.

Заметим, что по такой схеме в рамках общей модели развития ИК могут учитываться расходы на НИОКР, связанные только с конкретными типами ИС, по которым считаются известными предполагаемые тактико-технические и эксплуатационные характеристики.

В составе множества I выделим подмножество изготавливаемых ИС к началу планируемого периода $I^{(дузг)} \subset I$. Соответственно выделим подмножество предприятий, где уже ведётся изготовление к началу планируемого периода $L^{(дузг)} \subset L$, $|L^{(дузг)}| = |I^{(дузг)}|$, индексы изготавливаемых ИС и предприятий, где они изготавливаются, однозначно связаны. Для каждого из них считаются известными проекты $(p_i^{(ИС)}, i \in I^{(дузг)})$, а также длительности окончания изготовления $\Delta t_i^{(дузг)} \geq 1$ (эти и подобные величины выражены целым числом элементарных отрезков времени), $i \in I^{(дузг)}$ и стоимости изготовления в течение одного отрезка времени $c_i^{(дузг)} > 0$, $i \in I^{(дузг)}$ (здесь и ниже аналогичные затраты считаются равномерно распределёнными в течение сроков доработок, демонтажа или нового изготовления).

Поскольку в общем случае не исключён отказ от продолжения ранее начатого изготовления, считаются известными параметры следствий в случае принятия такого рода решений: длительности демонтажа $\Delta t_i^{(дем)} \geq 1$, $i \in I^{(дузг)}$ и затраты в течение одного отрезка времени $c_{il}^{(дем)}$, $i \in I^{(дузг)}$, причём эти величины могут быть отрицательными в случае, если прибыль от утилизации элементов и оборудования демонтируемого ИС превысит расходы на демонтаж.

В соответствии с реальностями настоящего времени считаем, что мощности предприятий промышленности заведомо достаточны для удовлетворения заданных требований к пополнению состава ИК. Принятие решений по началу изготовления новых ИС характеризуется длительностями изготовления $\Delta t_{pl} \geq 1$, $p \in P_l^{(уз)}$, $l \in L$ и их стоимостью $c_{pl} > 0$ (затраты в течение одного отрезка времени в период $t, \dots, t + \Delta t_{pl} - 1$), $p \in P_l^{(уз)}$, $l \in L$.

Заметим, что возможность учёта в модели неодинаковых величин затрат на изготовление ИС одного типа на различных предприятиях позволяет учитывать конкурентоспособность предприятий при размещении заказов.

При расчётах длительностей использования ИС в составе ИКК предлагается использовать ресурсную схему, которая сводится к следующему. Для ИС каждого типа считаются известными величины «запаса» некоторого специфического для них ресурса, который расходуется во время использования. Ресурс вновь построенных ИС обозначим как $R_p > 0$, $p \in P$, а для ИС, уже использовавшихся в составе ИКК, его остаток к началу планируемого периода – $R_i^{(0)} \in (0, R_{p_i^{(u)}})$, $i \in I^{(0)}$. Расход ресурсов в течение элементарных отрезков планируемого периода задаётся величинами $r_{pj} > 0$, $p \in P$, $j \in J$. При расчёте значений этих величин могут быть учтены особенности условий функционирования ИС, состояние ремонтно-восстановительной базы и другие факторы, связанные с особенностями конкретных ИКК, например, природно-климатические условия. Использование кратко описанной выше схемы расхода ресурсов позволяет рассчитать состав ИС (множество $I^{(uc)} \subset I$) для всех отрезков исследуемого периода времени, а также состав множества ИС, выводимых из эксплуатации и подлежащих утилизации ($I^{(ym)} \subset I$).

Эти расчёты составляют основу определения баланса между располагаемым и требуемым составом ИС в течение планируемого отрезка времени и всех расчётов затрат на содержание и пополнение ИС.

В целях упрощения первых вариантов модели требования к выводу из строя ИС, выводимых из состава ИК, предлагается свести к учёту затрат $c_p^{(ym)} > 0$, $p \in P$, в суммарных расходах на функционирование и пополнение состава ИК в течение планируемого периода. При более подробном учёте данного фактора можно использовать модели загрузки утилизирующих предприятий, подобные описанным выше для процессов изготовления ИС.

Для всех рассматриваемых ИС предполагается возможным рассчитать величины $w_{jtp}^{(TT)} \in (0, 1]$, $j \in J$, $t = \overline{1, T}$, $p \in P$ – нормированные по единице показатели технической готовности ИС типа p , если он будет использоваться для комплектования j -й

штатной единицы в отрезок планового времени t . Заметим, что при расчёте величин $w_{jip}^{(TT)}$ должны учитываться все особенности конкретных районов и мест размещения, задач и потенциальных условий. Начальные предложения по методике таких расчётов приведены в работе [4].

Аналогично считается возможным получить оценки значений величин $w_{jip}^{(JC)} \in (0, 1]$, $j \in J, t = \overline{1, T}, p \in P$ – нормированные по единице оценки эффективности расчетов ИС и личного состава обслуживания. Также как и при расчёте величин $w_{jip}^{(TT)}$, предполагается, что будут учтены все факторы, связанные с динамикой освоения ИС данного типа, оборудования ремонтных подразделений и тренировок личного состава и пр.

В соответствии с общим подходом к оценке боеготовности военных систем, итоговые оценки эффективности ИС (нормированные по единице величины $w_{ijt} \in (0, 1]$) рассчитываются как произведения нормированных показателей технической готовности самого ИС и эффективности расчетов, т. е.

$$w_{ijt} = w_{jip_i^{(k)}}^{(TT)} w_{jip_i^{(k)}}^{(JC)}, i \in I, j \in J, t = \overline{1, T}. (1)$$

Определение значений этих величин представляет собой отдельную сложную задачу, которая является внешней по отношению к рассматриваемой.

В отличие от моделей функционирования массовых разновидностей ВиВТ, «индивидуальная» идентификация ИС позволяет более реально отображать процедуры их назначения в состав конкретных ИКК. Будем полагать, что перебазирование ИС (т. е. изменение назначения j' на j , кроме случаев, если оба они находятся в составе одного ИКК) влечёт за собой некоторое снижение эффективности в течение отрезка времени, когда принято соответствующее решение, а также дополнительные денежные расходы.

Первый из отмеченных факторов учитывается поправочными коэффициентами в расчётах итоговой эффективности по формуле (1) – $k_{pj'j}^{(w)} \in (0, 1]$, $p \in P, j', j \in J$, величины которых считаются известными и зависят, например, от потерь времени на перебазирование и оценок естественного снижения эффективности действий расчетов при смене условий эксплуатации. Таким образом, формулы для расчёта эффективности приобретают вид

$$w_{ijt} = k_{pj'j}^{(w)} w_{jip_i^{(k)}}^{(TT)} w_{jip_i^{(k)}}^{(JC)}, i \in I, j \in J, t = \overline{1, T}. (2)$$

Затраты на перебазирование обозначены как $c_{pj'j}^{(nb)} \geq 0, p \in P, j', j \in J$, их расходы относятся к отрезку планового времени, когда принято соответствующее решение. Задание величин $k_{pj'j}^{(w)} = 1$ и $c_{pj'j}^{(nb)} = 0$ предусмотрено на случаи, когда назначения ИС не изменяются, т. е. $j' = j$, или оба назначения $j', j \in J$ соответствуют одному месту базирования КС. При более подробном учёте факторов, связанных с перебазированием, величины $k_{pj'j}^{(w)}$ и $c_{pj'j}^{(nb)}$ могут быть поставлены в зависимость от текущего времени планового периода.

Суммарные расходы на обеспечение жизнедеятельности всех ИКК обозначены величиной $C > 0$, а их составляющие по годам – величинами $C_t > 0, t = \overline{1, T}$.

Оценка согласованности требований к составу ИКК и ассигнований на обеспечение его функционирования

ИКК предназначен для организации и проведения траекторных и телеметрических измерений: при испытаниях ракетных и ракетно-космических комплексов (РК и РКК), при проведении, учебно-боевых и контрольно-серийных пусков, находящихся на вооружении РК; запусках КА, находящихся в штатной эксплуатации РКК, а также сбора, обработки ИИ и представления её потребителю в согласованном виде.

ИКК представляет собой СТС. В работах [4, 5] предложена и исследовалась двухступенчатая схема оптимизационных расчётов по планам развития СТС, при которой на первом этапе проводится согласование общих требований к составу систем и выделенных ресурсов развития, а на втором фиксируются эти внешние параметры развития, и исследуются возможности повышения эффективности СТС, или, иными словами, вырабатываются рекомендации по наиболее рациональному использованию выделенных средств. Естественно, в ходе реальных процедур принятия решений оба названных этапа расчётов могут повторяться пока не будут приняты окончательные варианты планов развития.

Перечисленные в предыдущем разделе допущения модели функционирования ИКК предполагают только одну причину принципиальной невозможности укомплектовать ИКК в заданном

составе – недостаток выделяемых ассигнований. Поэтому оптимизационные расчёты на первом этапе могут быть сведены к определению минимально допустимых уровней финансирования развития ИКК при заданном составе с тем, чтобы варьируя параметры указанных групп внешних факторов, получить приемлемые варианты планов развития для продолжения процесса подготовки решений на втором этапе.

Задачи поиска вариантов развития при минимальных размерах ассигнований являются нетривиальными, хотя бы в силу возможных противоречий между стоимостями изготовления и эксплуатации ИС различных типов.

Соответствующие оптимизационные задачи формулируются следующим образом.

В качестве искомых параметров планов развития ИКК рассматриваются величины:

$$x_p^{(НИОКР)} \in \{0,1\}, p \in P^{(НИОКР)} \quad (3)$$

– переменные, отражающие принятие решений о продолжении НИОКР по незаконченным типам ИС. Величина их принимает значение 1, если планируется производить ИС соответствующего типа, и 0 в противном случае;

$$x_i^{(\partial u_{32})} \in \{0,1\}, i \in I^{(\partial u_{32})} \quad (4)$$

– переменные, отражающие принятие решений по докомплектованию ИК, уже находящихся на складах к началу планируемого периода. Величина их равна 1, если ИС с индексом i решено ввести в эксплуатацию, и 0 в противном случае.

В случае задания $x_i^{(\partial u_{32})} = 1$ считается, что ИС с индексом i доступно для назначения в состав ИК, начиная с отрезка времени $\Delta t_i^{(\partial u_{32})} + 1$, и начиная с этого отрезка времени, соответствующее место хранения $l \in L^{(\partial u_{32})}$ может быть занято изготовлением новых ИС.

При задании $x_i^{(\partial u_{32})} = 0$ изготовление новых ИС может быть начато $l \in L^{(\partial u_{32})}$ не ранее отрезка времени $t = \Delta t_i^{(\partial u_{32})} + 1$:

$$x_{plt}^{(u_{32})} \in \{0,1\}, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L, t = \overline{1, T} \quad (5)$$

– переменные, отражающие принятие решений по началу изготовления новых ИС. Величина их равна 1, если принято решение начать изготовление ИС

типа p на предприятии l в отрезок времени t , и 0 в противном случае.

На значения величин этих переменных наложены естественные ограничения:

$$x_{plt}^{(u_{32})} \leq x_p^{(НИОКР)}, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L, t = \overline{1, T}; \quad (6)$$

$$x_{plt}^{(u_{32})} = 0, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L, t \leq t_p^{(НИОКР)}, \quad (7)$$

т. е. не может изготавливаться ИС, по типу которого полностью не завершены НИОКР;

$$\sum_{k_p \in K_l^{(u_{32})}} x_{plt}^{(u_{32})} \leq 1, l \in L, t = \overline{1, T} \quad (8)$$

– на каждом предприятии одновременно изготавливается только одно ИС;

$$x_{plt}^{(u_{32})} = 0, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L^{(\partial u_{32})}, t = 1, \dots, \Delta t_{il}^{(\partial u_{32})}, \text{ если } x_i^{(\partial u_{32})} = 1; \quad (9)$$

$$x_{plt}^{(u_{32})} = 0, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L^{(\partial u_{32})}, t = 1, \dots, \Delta t_{il}^{(\partial u_{32})}, \text{ если } x_i^{(\partial u_{32})} = 0; \quad (10)$$

$$x_{plt}^{(u_{32})} = 0, p \in P_l^{(u_{32})}, l \in L, \text{ если } x_{plt'}^{(u_{32})} = 1, t' = t - \Delta t_{pl} + 1, \dots, t - 1. \quad (11)$$

Заметим, что ограничения (6) – (11) учитываются алгоритмически, так как их условия связаны с другими значениями переменных продолжения НИОКР – до изготовления и нового изготовления ИС.

И, наконец, четвёртую группу параметров принимаемых решений образуют величины переменных назначения

$$x_{ijt} \in \{0,1\}, i \in I^{(ИК)}, p_i^{(ИС)} \in P_j^{(компл)}, \quad (12)$$

$$j \in J, t = \overline{1, T} \mid f_{jt} = 1,$$

которые принимаются равными 1, если ИС с индексом i используется на j -м штатном месте ИК в отрезке времени t , и 0 в противном случае.

При этом состав ИС, пригодных для комплектования ИК ($i \in I^{(ИК)}$), алгоритмически доопределяется для каждого отрезка планового периода с учё-

том убыви израсходовавших ресурс и поступления новых ИС после доизготовления или изготовления в исследуемом плановом периоде. Обратим внимание, что именно таким образом в данных постановках реализовано базовое соотношение, учитывающее общие количественные возможности комплектования ИКК.

Ограничения значений величин переменных (12) сводятся к условию

$$\sum_{i \in I} x_{ijt} = 1, \quad i \in I^{(ИК)},$$

$$p_i^{(uc)} \in P_j^{(компл)}, \quad j \in J, \quad t = \overline{1, T} \mid f_{jt} = 1, \quad (13)$$

которое означает, что на каждое штатное место во всех ИК в течение планируемого периода должны быть назначены те или иные ИС соответствующего класса.

Значения переменных (3) – (5) и (12), удовлетворяющие ограничениям (6) – (11), (13), условимся называть допустимым планом развития ИКК и обозначать как множество X .

Тогда оптимизационная задача на первом этапе планирования [5] формулируются как отыскание

$$\min_X C(X), \quad (14)$$

где $C(X)$ – суммарные затраты на развитие ИКК в течение планируемого периода, которые включают следующие составляющие:

$$\sum_{i \in I^{(доизг)}} x_i^{(доизг)} c_i^{(доизг)} \Delta t_i^{(доизг)} \quad (15)$$

– затраты на доизготовление ИС, заложенных до начала планируемого периода;

$$\sum_{i \in I^{(доизг)}} (1 - x_i^{(доизг)}) c_i^{(дем)} \Delta t_i^{(дем)} \quad (16)$$

– затраты на демонтаж ИС, заложенных до начала планируемого периода, в случае отказа от завершения их изготовления;

$$\sum_{p \in I^{(НИОКР)}} x_p^{(НИОКР)} \sum_{t=1}^{t^{(НИОКР)}} c_p^{(НИОКР)} \quad (17)$$

– затраты на завершение НИОКР;

$$\sum_{t=1}^T \sum_{l \in L} \sum_{p \in k_l^{(cm)}} x_{plt}^{(нузг)} c_{pl} (\min(\Delta t_{pl}, T - t + 1)) \quad (18)$$

– затраты на изготовление ИС, заложенных в течение планируемого периода;

$$\sum_{i \in I^{(ym)}} c_{p_i}^{(ym)} \quad (19)$$

– затраты на демонтаж и утилизацию ИС, выводимых из состава ИКК в течение планируемого периода (индексы ИС, входящих в множество $I^{(ym)} \subset I$, определяются алгоритмически при расчётах динамики состава ИКК);

$$\sum_{t=1}^T \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} x_{ijt} (c_{p_i^{(uc)}}^{jt} + c_{p_i^{(uc)} j_j}^{(nб)}) \quad (20)$$

– затраты на обеспечение функционирования ИС, находящихся в составе ИКК в течение планируемого периода.

При необходимости рассматриваются не только суммарные ассигнования за весь период планирования, но и их составляющие по отдельным отрезкам времени, расчётные формулы (15) – (20) модифицируются соответствующим образом.

Поскольку расчёты планов развития ИКК предусматривают процедуры многократного согласования требований к составу и выделенных ассигнований, алгоритмы решения задач (14), кроме своего основного назначения – расчёта оценок величин $C(X)$, должны предусматривать возможности анализа причин несоответствия указанных внешних факторов [3], т. е. выполнять роль двойственных оценок в задачах нецелочисленного математического программирования, которые решаются в случае анализа планов развития ВиВТ массового типа.

Задачи оценки повышения возможностей ИК при заданных объёмах ассигнований на их развитие

Как показано в работе [1], эти задачи возникают на втором этапе разработки планов, так как в общем случае, варианты, подготовленные на первом этапе (в нашем случае – результаты расчётов по задачам (14)), не предусматривали учёта требований к эффективности ИКК и отдельных ИС, кроме общей допустимости назначений.

Если исходить из принципа принципиальной равнозначности всех звеньев состава ИКК, то тре-

бование повышения его эффективности в целом (по принципу недопущения «слабого звена») формулируется как отыскание

$$\max_X \min_{j \in J, t=1, T} w_{jt}, \quad (21)$$

где

$$w_{jt} = \sum_{i \in I^{(ИК)}} w_{ijt} x_{ijt}$$

– итоговые показатели эффективности комплектования штатных единиц ИКК, а в определении множества переменных X включено требование невышления затрат на развитие системы ИКК некоторой величины, не меньшей, чем определено по результатам решения задач (14).

Однако не исключены и другие, менее жёсткие, формулировки требований повышения эффективности ИКК по выбору лица или органа, которые принимают решения по развитию ИКК.

Заметим также, что сформулированное выше требование к алгоритмам решения задач (14) по выявлению «узких мест» в исследуемых планах полностью относится и к алгоритмам решения задач (21) или предлагаемых им на замену.

Остановимся на двух дополнительных проблемах, которые возникают при перспективном планировании ИКК.

Первая из них связана с модернизацией ИС в ходе их длительного пребывания в составе ИК.

Алгоритмическое описание процессов функционирования ИС в обсуждаемых здесь постановках задач открывает широкие возможности для описания и таких, достаточно сложных, этапов жизненного цикла.

В число этих этапов включается вывод из состава ИКК части ИС, ещё не исчерпавших ресурса, проведение работ по модернизации (не на предприятии) и ввод в состав, фактически – уже в виде ИС нового типа, в соответствии с изменившимися характеристиками. Разумеется ввод в рассмотрение дополнительных переменных и параметров задач усложнит их постановки, но не вызовет принципиальных трудностей получения решений.

Вторая проблема касается «концевого эффекта» при перспективном планировании развития СТС на длительное время.

Не трудно увидеть, что в описанных выше постановках задач отсутствуют требования к началу изготовления новых ИС, которые по срокам ввода в строй не

могут использоваться в составе ИК в течение планируемого периода. Подобное положение противоречит базовому принципу программно-целевого планирования, который вкратце сформулирован в начале статьи.

С целью учёта «концевого эффекта» при анализе долгосрочных планов развития предлагается ввести виртуальные требования к составу ИКК на дополнительное время после окончания исследуемого периода. Очевидно, длительность этого времени определяется как

$$T^{(don)} = \max_{p \in P, l \in L} \Delta t_{pl} - 1.$$

В простейшем случае на этот период можно закрепить требования к составу ИК, например, на уровне заданных в отрезок времени $t = T$, т. е. принять $f_{jt} = f_{jT}$, $j \in J$, $t = T+1, T+T^{(don)}$. Эти величины предлагается учитывать в модифицированных ограничениях (13), но все расчёты по эффективности ИКК и затратам на их обеспечение проводить только на период времени $t = \overline{1, T}$. Некорректности, связанные с произвольным заданием величин f_{jt} , $j \in J$, $t = \overline{T+1, T+T^{(don)}}$, можно преодолеть, используя приёмы «скользящего» планирования.

В итоге, получим математическую модель состава ИКК и решим задачу оптимальности его структур.

Литература

1. Поведение вероятностных жадных алгоритмов для многостадийной задачи размещения / Е.Н. Гончаров, Ю.А. Кочетов // Дискретный анализ и исследование операций. ИМ СО РАН. Сер.2. – 1999. – Т.6. – №1. – С. 12 – 32.
2. Вероятностный поиск с запретами для дискретных задач безусловной оптимизации / Е.Н. Гончаров, Ю.А. Кочетов // Дискретный анализ и исследование операций. ИМ СО РАН. Сер.2. – 2002. – Т.9. – №2. – С. 13 – 30.
3. Локальный поиск с чередующимися окрестностями / Ю. Кочетов, Н. Младенович, П. Хансен // Дискретный анализ и исследование операций. ИМ СО РАН. Сер.2. – 2003. – Т.10. – №1. – С. 11 – 43.
4. Брыскин В.В. Математические модели маркетинга / В.В. Брыскин. – Новосибирск: Наука, 1992. – 156 с.
5. Брыскин В.В. Математические модели программно-целевого планирования технических средств / В.В. Брыскин, В.М. Яковлев. – Новосибирск: Наука, 1989. – 120 с.

Поступила в редакцию 01.11.2008

Сергей Алексеевич Шевченко, полковник, т.: 8-818-342-36-49.
Анатолий Владимирович Малинка, подполковник, e-mail: Crimson-friend@rambler.ru.