

УДК 519.854:658.712:008.2:001.89

ТЕХНОЛОГИЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ НИОКР,
СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИХ РАЗВИТИЯ С УЧЕТОМ
РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И МЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ ТРЕБОВАНИЙ

Ю.А. Устюгов

В в е д е н и е

В статье обобщены результаты пятилетних методологических, теоретических, научно-методических и экспериментальных исследований вопросов, составляющих новое научно-техническое направление: долгосрочное планирование НИОКР, серийного производства и эксплуатации технических средств, систем и комплексов (далее - просто ТС) на основе прогнозирования их развития с учетом ресурсных ограничений (по стоимости программ и планов, по эффективности решения стоящих задач, по возможностям промышленности и научных учреждений, по людским ресурсам, по времени и др.) и меняющихся во времени требований к анализируемым ТС (например, к объемам выполняемых ими работ). По существу в статье, с одной стороны, излагается технология решения сформулированных выше вопросов, с другой стороны, освещается созданный научно-технический задел в новом научно-техническом направлении, основная цель которого - автоматизация процессов анализа и обоснования, составления и корректировки сводных перспективных программ НИОКР, серийного производства и эксплуатации ТС с учетом реальных факторов их жизненного цикла, существ-

вующих ресурсных и договорных ограничений на основе прогнозов и новых информационных технологий.

Созданный научно-технический задел можно использовать как технологическую основу перспективных интеллектуальных автоматизированных рабочих мест заказчиков, сотрудников его научно-исследовательских институтов и учреждений и разработчиков новых ТС.

Излагаемая в статье технология успешно апробирована в разных предметных областях. Методика выполнения отдельных этапов технологии иллюстрируется на примере планирования развития технических средств охраны (далее - просто ТСО) трех видов и десяти типов на период до 2015 г.

§1. Постановка задачи на планирование

1.1. Исходные условия. Имеется I видов (категорий) объектов охраны (далее объектов). В i -м виде различают J_i типов объектов, $i = \overline{1, I}$. Пусть k_{ij} - порядковый номер последнего по счету объекта i -го вида j -го типа. Тогда общее число объектов охраны определим следующим образом:

$$K = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} k_{ij}. \quad (1)$$

При охране k -го объекта, $k = \overline{1, K}$, требуется одновременно решать L различных задач. При решении l -й задачи охраны, $l = \overline{1, L}$, на k -м объекте требуется выполнять объем работы S_k^l , $k = \overline{1, K}$. При охране K объектов по l -й задаче должен выполняться объем работы, равный S^l , при этом:

$$S^l = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{k_{ij}} S_k^l, \quad l = \overline{1, L}. \quad (2)$$

Охрана K объектов будет надежной, если выполняется система неравенств:

$$s^1 \geq s_{\text{доп}}^1, \quad 1 = \overline{1, L}. \quad (3)$$

Для охраны K объектов используются ТСО L видов, при этом ТСО упорядочены по видам таким образом, что для решения 1-й задачи охраны могут использоваться только ТСО 1-го вида. Будем различать в 1-м виде ТСО M_1 типов ТСО ($1 = \overline{1, L}$).

Пусть n_{1m} - число ТСО 1-го вида m -го типа, тогда общее число ТСО 1-го вида:

$$N_1 = \sum_{m=1}^{M_1} n_{1m}, \quad 1 = \overline{1, L}. \quad (4)$$

Общее число ТСО, используемых для охраны, будет равно:

$$N = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^{M_l} n_{lm}. \quad (5)$$

На период времени Δt составляется сводная перспективная программа НИОКР, серийного производства и эксплуатации ТСО, используемых для охраны K объектов. Пусть $\Delta t = T_H - T_K$, где T_H и T_K - годы соответственно начала и конца планового промежутка; T - текущий год планового промежутка, т.е. $T \in [T_H, T_K]$.

На год T_H ретроспективные, серийно выпускаемые, находящиеся в стадии ОКР и НИР ТСО составляют заданный ряд $\{.\}^3$. Пусть ТСО заданного ряда пронумерованы следующим образом:

$$\{n\}^3 = \{\overline{1, n_{1m}^3}\}, \quad 1 = \overline{1, L}, \quad m = \overline{1, M}, \quad (6)$$

где n_{1m}^3 - заданное число ТСО 1-го вида m -го типа.

Для $n = \overline{1, N}$ введем следующие обозначения:

α_n^1 - объем работы, выполняемый n -м ТСО для решения 1-й задачи охраны; t_n^H - год начала НИОКР по созданию n -го ТСО; t_n^C - год начала серийного производства n -го ТСО; t_n^3 - год снятия с серийного производства n -го ТСО, при этом эксплуатация n -го ТСО продолжается; t_n^B - год снятия с эксплуатации n -го ТСО;

C_n^H - стоимость НИОКР по созданию n -го ТСО; C_n^C - стоимость серийного производства одного экземпляра n -го ТСО; $C_n^Э$ - стоимость эксплуатации в течение года одного экземпляра n -го ТСО; U_n - число лиц, задействованных для обеспечения эксплуатации n -го ТСО; X_{qn} - q -ая характеристика n -го ТСО, $q = \overline{1, Q}$, где Q - общее число характеристик n -го ТСО.

В интересах рационального планирования заданные ряды ТСО (см. формулу (6)) дополняются прогнозируемыми рядами перспективных ТСО $\{.\}^n$ [1]. Пусть ТСО прогнозного ряда пронумерованы следующим образом:

$$\{n\}^n = \{n_{1m}^3 + 1, n_{1m}^n\}, \quad 1 = \overline{1, L}, \quad m = \overline{1, M}. \quad (7)$$

Другими словами, перед этапом планирования осуществляется прогнозирование облика n_{1m}^n перспективных ТСО 1-го вида n -го типа, при этом:

$$n_{1m}^n = n_{1m}^3 - n_{1m}^3, \quad 1 = \overline{1, L}, \quad m = \overline{1, M}. \quad (8)$$

Таким образом, после этапа прогнозирования формируются исходные ряды ТСО для планирования $\{.\}$, т.е. $\{n_{1m}^n\}$, $1 = \overline{1, L}$, $m = \overline{1, M}$.

Общее число технических средств охраны N в исходном ряде для планирования складывается из общего числа заданных ТСО - N^3 и прогнозных ТСО - N^n , т.е.

$$N = N^3 + N^n = \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M (n_{1m}^3 + n_{1m}^n). \quad (9)$$

1.2. Исходные данные для планирования. Перечень исходных данных для планирования включает:

а) облик исходных рядов ТСО $\{.\}$ для планирования, т.е. a_n^1 , t_n^H , t_n^C , C_n^H , C_n^C , $C_n^Э$, U_n при $n = \overline{1, N}$ (подчеркнем, что здесь от-

существуют характеристики X_{qn} , $q = \overline{1, Q}$; $n = \overline{1, N}$). При планировании акцентируется внимание на интегральной характеристике ТСО α_n^1 , $l = \overline{1, L}$; $n = \overline{1, N}$;

б) ограничения $\hat{\lambda}_n^i(T)$ на возможности промышленности по выпуску в год $T \in [T_H, T_K]$ n -го ТСО, $n = \overline{1, N}$;

в) число G_1 контрольных моментов времени на интервале планирования и их последовательность: T_1, T_2, \dots, T_{G_1} ;

г) ограничения $S_{\text{доп}}^1(T)$, ($T \in [T_H, T_K]$, $l = \overline{1, L}$) (см. формулу (3));

д) длительности службы $\Delta t_{\text{сл}}$, жизненного цикла $\Delta t_{\text{жц}}$, серийного производства Δt^C ТСО;

е) значение коэффициента инфляции $K_{\text{инф}}(T)$ в год $T \in [T_H, T_K]$;

ж) ограничение $U_{\text{доп}}(T)$ на число лиц, задействованных для эксплуатации N ТСО;

з) значения величин T_H, T_K (а значит и Δt), T_n^0 (год, начиная с которого условие (3) должно непрерывно выполняться);

и) число n -х ТСО ($n \in N^3$) в стартовых составах на год T_H , т.е. $N_n^*(T, T_H)$, и последующие годы планового промежутка времени $T \in [T_H, T_K]$.

1.3. Конечные результаты планирования. Перечень выходных данных процедуры ПЛАНИРОВАНИЕ включает:

а) номенклатуру $\{n\}^B$ выбранных ТСО и их состав $n_{1m}^B \leq n_{1m}$ при $l = \overline{1, L}$; $m = \overline{1, M_1}$;

б) объем поставок $\lambda_n(\Delta t)$ n -го ТСО за период времени Δt ;

в) затраты на серийное производство $C_n^C(\Delta t)$ и эксплуатацию $C_n^Э(\Delta t)$ n -го ТСО за Δt ;

г) стоимость сводной программы $C_{\text{ПР}}^{\Sigma}(\Delta t)$ НИОКР, серийного производства и эксплуатации выбранных ТСО на интервале планирования Δt ;

д) стоимость отдельных программ НИОКР $C_{\text{ПРН}}(\Delta t)$, серийного производства $C_{\text{ПРС}}(\Delta t)$, эксплуатации $C_{\text{ПРЭ}}(\Delta t)$ выбранных ТСО;

е) процент выполнения требования $S^1(T) \geq S_{\text{доп}}^1(T)$ на Δt при выбранных исходных данных.

В ходе решения задачи планирования требуется выбрать из исходных рядов $\{n\}$ такие ТСО $\{n\}^B$ для решения 1-й задачи охраны ($l = \overline{1, L}$), чтобы в год T_K состав выбранных комплексов $n_{1m}^B \leq n_{1m}$, $l = \overline{1, L}$, $m = \overline{1, M_1}$, обеспечивал на всем промежутке времени Δt выполнение объемов работы $S^1(T) \geq S_{\text{доп}}^1(T)$, $T \in [T_N, T_K]$, а стоимость сводной программы НИОКР, серийного производства и эксплуатации выбранных ТСО при этом была минимальной: $C_{\text{ПР}}^{\Sigma}(\Delta t) \rightarrow \min$.

§2. Основные этапы технологии планирования

В разработанной технологии планирования можно выделить следующие основные этапы:

- 1) анализ предметной области;
- 2) формулировка требований к процедуре планирования;
- 3) постановка задачи на планирование;
- 4) формализация и классификация задач планирования;
- 5) выработка требований к составу и содержанию исходных данных для решения задач планирования;
- 6) формирование баз данных для планирования;
- 7) определение цели и сценария экспериментального планирования;
- 8) подготовка входных файлов;

- 9) реализация сценария планирования;
- 10) анализ баз данных результатов планирования;
- 11) завершение процедуры планирования.

На первом этапе при анализе предметной области решается ряд системных вопросов. Прежде всего выявляются интегральные эффективностные характеристики ТС, позволяющие, с одной стороны, определять требуемые объемы работ ТС в рамках, например, государства в целом, с другой стороны, измерять вклад каждого отдельного ТС в общем объеме работ, выполняемых всеми ТС, например, в России. Другими словами, на первом этапе определяются единицы измерения и способ вычисления величин α_n^1 , $l = \overline{1, L}$; $n = \overline{1, N}$, и $S_{\text{доп}}^1(T)$, $l = \overline{1, L}$; $T \in [T_H, T_K]$. Далее определяются значения величин T_H , T_K , G_1 и временные срезы T_1, T_2, \dots, T_{G_1} , в которых целесообразно исследовать развитие анализируемых ТС. И наконец, выясняют принципиальную возможность решения задач планирования при существующем уровне доступности и надежности исходных данных. Получение многих исходных данных требует надсистемного взгляда. Например, определение характеристик $\hat{\lambda}_n(T)$, ($T \in [T_H, T_K]$, $n = \overline{1, N}$) требует знания возможностей отечественной промышленности по выпуску каждого изделия $n \in [1, N]$, в том числе и прогнозных вариантов ТС, т.е. для $n \in [1, N^P]$, на интервале времени, например, 2000-2020 гг.

На втором этапе определяется цель исследований, возможности подхода при планировании с позиции насущных задач потребителя, например, НИИ и НИУ заказчика. Часть уже выбранных на первом этапе характеристик при этом может уточняться (например, T_H , T_K , G_1 , Δt).

На третьем этапе (см. §1) определяется потребный перечень исходных данных и содержание баз данных результатов планирования.

На четвертом этапе определяются функциональные возможно - сти технологии планирования, потребности потенциальных пользо - вателей формализуются в виде конкретных функциональных задач.

На пятом этапе определяется перечень и формат исходных данных, их точность представления.

На шестом этапе разрабатываются методики, позволяющие рассчитывать отсутствующие исходные данные, осуществляется не - обходимый экспертный опрос специалистов. На этом этапе осуще - ствляется непосредственное наполнение баз исходных данных.

Этапы 1-6 выполняются разработчиками инструментальных средств, автоматизирующих выполнение пользователем этапов 7- 11 технологии. В целом на этапах 1-6 решаются системные воп - росы, в частности, определяются структура и размерность баз данных, наполняемых и корректируемых на этапах 7-11, опреде - ляются требования к экспериментальному программному комплек - су, позволяющему автоматизированно выполнять, например, эта - пы 8-10 полностью, этапы 7,11 - частично.

Этапы 7-11 выполняются пользователем, при этом на этапе 8 осуществляется расчет и ввод необходимых констант, редакти - рование баз данных, предназначенных для планирования. Подчерк - нем, что в отличие от технологии прогнозирования [1], в тех - нологии планирования не требуется предусматривать специальный этап "лечения" баз исходных данных. Функции этого этапа реа - лизуются на этапе 6 при расчете недостающих исходных данных.

На этапе 9 в ходе реализации сценария планирования фор - мируются выходные файлы данных, содержание которых тематиче - ски predeterminedено на этапе 7.

В настоящее время есть несколько версий программного обе - спечения для проведения экспериментального планирования на пе - риод времени до 2020 г., успешно апробированного в разных пред - метных областях. При этом исследуются вопросы рационального планирования при разных критериях. Один из критериев: миними -

зация стоимости сводной программы развития ТС при выполнении требуемых объемов работ с заданной эффективностью на всем интервале планирования.

На десятом этапе проводится анализ баз данных результатов планирования с точки зрения их удовлетворения сформулированным требованиям, целям и задачам исследований.

На одиннадцатом заключительном этапе технологии осуществляется завершение процедуры планирования (архивирование позитивных в научно-методическом плане результатов) или возврат к предыдущим этапам (например, для более полного достижения целей исследований, в том числе, для повышения надежности и эффективности процедуры планирования).

Опыт проведения экспериментального планирования в различных предметных областях показал, что значительную долю исходных данных в силу их отсутствия приходится получать экспериментальным и расчетным путем. Чаще всего среди этих данных: $\alpha_n^1, t_n^H, C_n^H, C_n^Э; U_n, \hat{\lambda}_n(T), S_{доп}^1(T), K_{инфл}(T), U_{доп}(T)$ при $n = \overline{1, N}; T \in [T_n, T_k]; l = \overline{1, L}$.

В целом технология открыта для планирования развития ТС в трех режимах:

- а) планирование осуществляется только по заданным ТС;
- б) планирование осуществляется только по прогнозным вариантам ТС;
- в) планирование осуществляется по совокупности заданных и выбранных прогнозных вариантов ТС.

В статье приводятся примеры решения задач автономного планирования развития трех видов ТС0 для наиболее общего случая "в".

§3. Анализ предметной области

В ходе анализа ТСО и типовых объектов охраны для экспериментального планирования было выбрано три вида ТСО, т.е. $L = 3$. Каждый вид ТСО был представлен несколькими типами (у каждого типа ТСО свой физический принцип действия), при этом $M_1 = 4$, $M_2 = 3$, $M_3 = 3$.

Величины n_{1m}^3 , n_{1m}^3 , n_{1m}^n (см. формулу (8)) определяются следующим образом: $n_{11} = 27$, $n_{11}^3 = 24$, $n_{11}^n = 3$; $n_{12} = 19$, $n_{12}^3 = 16$, $n_{12}^n = 3$; $n_{13} = 14$, $n_{13}^3 = 10$, $n_{13}^n = 3$; $n_{14} = 14$, $n_{14}^3 = 10$, $n_{14}^n = 4$; $n_{21} = 24$, $n_{21}^3 = 21$, $n_{21}^n = 3$; $n_{22} = 23$, $n_{22}^3 = 20$, $n_{22}^n = 3$; $n_{23} = 15$, $n_{23}^3 = 12$, $n_{23}^n = 3$; $n_{31} = 36$, $n_{31}^3 = 33$, $n_{31}^n = 3$; $n_{32} = 19$, $n_{32}^3 = 16$, $n_{32}^n = 3$; $n_{33} = 12$, $n_{33}^3 = 9$, $n_{33}^n = 3$. Из формул (4) и (9) следует: $N_1 = 76$, $N_1^3 = 63$, $N_1^n = 13$; $N_2 = 62$, $N_2^3 = 53$, $N_2^n = 9$; $N_3 = 67$, $N_3^3 = 58$, $N_3^n = 9$.

Из анализа предметной области стало ясным, что ТСО первого вида призваны выполнять три вида работ (т.е. у каждого n -го ТСО первого вида различаются $\alpha_n^1, \alpha_n^2, \alpha_n^3$, $n \in N_1$), ТСО второго и третьего видов выполняют по одному виду работ (т.е. различают α_n^1 , $n \in N_2$ и $n \in N_3$).

Опыт экспериментального планирования развития ТС в различных предметных областях позволяет утверждать, что целесообразное соотношение длительности жизненного цикла ТСО $\Delta t_{жц_n} = t_n^B - t_n^H$, $n \in N$, и интервала планирования $\Delta t = T_K - T_H$ следующие: $\Delta t > \Delta t_{жц_n}$, $n \in N$.

Реально величины $\Delta t_{жц_n}$, $\Delta t_{сл_n}$, Δt_n^C определяются следующими соотношениями:

$$\Delta t_{жц_n} = \begin{cases} 28 \dots 31 & \text{при } n \in N_1, \\ 18 \dots 22 & \text{при } n \in N_2, \\ 22 \dots 24 & \text{при } n \in N_3; \end{cases} \quad (10)$$

$$\Delta t_{сл_n} = \begin{cases} 10 \dots 12 & \text{при } n \in N_1, \\ 6 \dots 8 & \text{при } n \in N_2, \\ 10 & \text{при } n \in N_3; \end{cases} \quad (11)$$

$$\Delta t_n^c = \begin{cases} 15 & \text{при } n \in N_1, \\ 10 & \text{при } n \in N_2, \\ 10 & \text{при } n \in N_3. \end{cases} \quad (12)$$

Из формул (10)-(12) следует: $\Delta t \geq 40$, $T_H = 1975$, $T_K = 2015$, $G_1 = 9$, $T_1 = 1975$, $T_2 = 1980$, ..., $T_9 = 2015$.

§4. Требования к процедуре планирования

Со стороны любого объекта охраны можно определить вполне конкретные требования к различным ТСО, реально используемым в составе комплексов ТСО выбранного объекта. В силу этого главное требование к процедуре планирования сводится к тому, чтобы с помощью ее в ходе планирования развития ТСО выбрать такие номенклатуру ТСО и их состав, чтобы все множество объектов К охранялось с требуемой надежностью и при этом стоимость программы НИОКР, серийного производства и эксплуатации всего состава выбранных ТСО на интервале планирования была бы минимальной.

Реализуемый в статье подход позволяет рассматривать развитие каждого вида ТСО автономно, но при формировании программы развития ТСО последние рассматриваются все вместе, так как в общем случае комплекс ТСО может включать в себя все виды ТСО.

Процедура планирования должна обеспечивать пользователю редактирование данных об исходном ряде ТСО для планирования, допускать возможность составлять и корректировать (редактировать) программу развития ТСО, основываясь либо только на за-

данных ТСО (т.е. без учета прогнозных вариантов), либо на всем множестве заданных и спрогнозированных вариантов ТСО, либо только на множестве спрогнозированных вариантов ТСО.

Принципиальными требованиями к процедуре планирования программы развития ТСО являются необходимость учета темпов инфляции, длительности жизненных циклов ТСО, продолжительности их серийного производства и разработки, ограниченных возможностей промышленности по выпуску различных ТСО, численного состава лиц, задействованных при эксплуатации ТСО, учета стоимости НИОКР и серийного производства отдельных ТСО во временных срезах 50-е года XX века - 20-е годы XXI века.

Именно поэтому на третьем этапе технологии (см. §1) в математическую модель процесса экспериментального планирования введены характеристики: $K_{инфл}(T)$, $\Delta t_{жц_n}$, Δt_n^C , Δt_n^H , $\lambda_n(T)$, U_n , C_n^H , C_n^C .

Важнейшей интегральной характеристикой выбранных номенклатуры и состава ТСО для объектов в России должна служить оценка процента выполнения стоящих перед N ТСО задач при выбранных исходных условиях.

Данные, хранящиеся в файле исходных для планирования, а также величины T_H и T_K являются основными "органами управления" пользователя при решении задач анализа и обоснования, составления и корректировки программ.

В целом в процедуре планирования осуществляется преобразование рядов ТСО, схематически изображенное ниже:

$$\begin{matrix} \{n\}^3 \\ \{n\}^H \end{matrix} \rightarrow \{n\} \rightarrow \{n\}^B.$$

Реализуемый при создании процедуры планирования подход должен позволять:

- а) оптимизировать (минимизировать) номенклатуру и состав ТСО на всем множестве K объектов и используемых N ТСО;
- б) выполнять оценку состояния и выявлять тенденции развития ТСО;
- в) давать технико-экономическое обоснование основных направлений развития ТСО (совместно с математическими моделями НИУ заказчика);
- г) определять эффективность функционирования различных образцов ТСО (совместно с математическими моделями НИУ заказчика);
- д) выполнять обоснование предложений: по плану НИОКР по проблемам ТСО; по динамике замены и вводу новых средств; по стандартизации и унификации; по программе развития ТСО на длительную перспективу.

§5. Функциональные задачи планирования

После создания и настройки процедуры планирования на заданную предметную область, проведения необходимого числа экспериментов по прогнозированию развития ТСО [1] пользователь в режиме диалога на ПЭВМ должен иметь возможность решать сформулированные ниже функциональные задачи планирования.

1. На период времени Δt составить сводную перспективную программу НИОКР, серийного производства и эксплуатации ТСО для решения L задач охраны объектов с требуемой надежностью, при этом стоимость программы должна быть минимальной.

2. Исследовать влияние на конечные результаты решения задачи планирования (см. п. 1.3):

- а) изменения возможностей n -го, $n \in N$, ТСО решать 1-ую задачу охраны ($1 \in L$), т.е. изменения величин α_n^1 ;
- б) изменения времени начала НИОКР t_n^H по созданию n -го ТСО, ($n \in N$);

в) изменения времени начала серийного производства t_n^c n -го ТСО ($n \in N$);

г) изменения стоимости НИОКР c_n^H по созданию n -го ТСО ($n \in N$);

д) изменения стоимости серийного производства c_n^C n -го ТСО ($n \in N$);

е) изменения стоимости эксплуатации $c_n^Э$ n -го ТСО ($n \in N$);

ж) изменения числа лиц U_n , задействованных при обслуживании n -го ТСО ($n \in N$);

з) изменения ограничений на возможности промышленности $\hat{\lambda}_n(T)$ по выпуску n -го ТСО ($n \in N$);

и) изменения требуемого объема работ для N ТСО по 1-й задаче охраны ($l \in L$) на интервале планирования Δt ;

к) изменения длительности службы $\Delta t_{сл n}$ n -го ТСО ($n \in N$);

л) изменения уровня инфляции $K_{инф}(T)$ на интервале планирования;

м) изменения длительности интервала планирования Δt , его времени начала T_n и конца T_k ;

н) ограничения на число лиц, задействованных при эксплуатации N ТСО.

§6. Требования к составу и содержанию исходных данных

В п.1.2 приведен перечень потребных для планирования исходных данных. В этот перечень не вошла значительная часть данных, фигурирующих по каждому ТСО как в исходных данных, так и в конечных результатах процедуры прогнозирования развития ТСО [1].

В основном здесь речь идет о характеристиках X_{qn} , $q=\overline{1, Q}$; $n \in N$. Реально значение Q - десятки единиц.

Вместе с тем в перечне п.1.2 фигурируют данные, не используемые на этапе прогнозирования [1], но принципиально необходo -

димые на этапе планирования. Среди этих данных: $\hat{\lambda}_n(T)$, $G_1, T_1, T_2, \dots, T_{G_1}$, $S_{\text{доп}}^1(T)$, $\Delta t_{\text{сл}_n}$, $\Delta t_{\text{жц}_n}$, Δt_n^c , $K_{\text{инфл}}(T)$, $U_{\text{доп}}(T), \Delta t$.

При задании ограничения на $U_{\text{доп}}(T)$ появляется возможность изучить пути сокращения числа лиц, задействованных при эксплуатации выбранных ТСО. Задание величины $K_{\text{инфл}}(T)$ должно основываться на анализе изменений стоимости ТСО. В любом случае конечные результаты планирования будут получаться с точностью подготовки исходных данных.

По существу значение величины $S_{\text{доп}}^1(T)$ определяется изменением во времени требований к ТСО со стороны объектов охраны или непосредственно - нарушителей. Задание величин $S_{\text{доп}}^1(T)$, $1 = \overline{1, L}$, требует самостоятельного прогноза развития "противника".

Значения величин $\hat{\lambda}_n(T)$ должны быть максимально близкими к реальным, в противном случае это существенно повлияет на выбор $\{n\}^B$, а значит и качество решения задачи в целом.

§7. Формирование баз данных для планирования

7.1. Общие замечания. Принципиально планирование можно осуществлять на двух группах исходных данных. Первая группа: исходный ряд ТСО $\{n\}$ тождественен заданному ряду ТСО $\{n\}^3$. В этом случае планирование проводится лишь на основе известных ТСО (без учета прогнозных вариантов). Вторая группа исходных данных включает первую, т.е. $\{n\}^3$, плюс прогнозный ряд ТСО $\{n\}^n$ [1]. Пользователь при редакции результатов прогноза учитывает состав и длину прогнозного ряда ТСО. Подчеркнем, этот этап нетрадиционен для пользователя и поэтому представляет для него известную сложность.

Определенную сложность и трудность составляет отыскание значения величин $S_{\text{доп}}^1(T)$, $T \in \{T_n, T_k\}$, $1 = \overline{1, L}$, так как в этом случае, во-первых, потребуется уточнять величины I, J, K, S_k^1 , $k = \overline{1, K}$, для исследуемого варианта исходных данных; во-вторых,

требуется провести специальное исследование вариантов развития $S_{\text{доп}}^1$ на интервале планирования.

Новым моментом при подготовке исходных данных для планирования для пользователя будет расчет стартовых составов ТСО на момент T_n , учитывающих выше приведенные характеристики (см. стр. 48), а также возможности по выпуску ТСО в годы $T < T_n$.

Наконец, следует подчеркнуть, что любые изменения исходных данных должны осуществляться так, чтобы учитывалась взаимосвязь характеристик, например, t_n^H , t_n^C , $\hat{\lambda}_n(T)$, $S_{\text{доп}}^1(T)$ и др.

Относительно величины α_n^1 , $1 = \overline{1, L}$; $n \in N$ нужно учитывать, что система неравенств (3) фактически фиксирует факт того, что при решении задачи планирования будет соблюдено это требование независимо от того как N ТСО распределены между комплексами ТСО, используемыми при охране K объектов. Существует возможность "опуститься" с K до k -го объекта охраны, $k = \overline{1, K}$, и при этом аналог формулы (3) будет работать на уровне отдельного k -го объекта, а значит и его комплексов ТСО.

7.2. Исходные данные для планирования развития ТСО. В §3 приведена часть исходных данных для планирования развития ТСО трех видов и десяти типов.

Ниже приводятся результаты расчета части исходных данных. При расчете величин $\hat{\lambda}_n(T)$, $n \in N$, исходим из следующих соображений: изменение $\hat{\lambda}_n(T)$ со временем линейное, при этом для любого $n \in N$ $\hat{\lambda}_n(2015)/\hat{\lambda}_n(1995) = 1.12$; $\hat{\lambda}_n(1975)/\hat{\lambda}_n(1995) = 0.88$.

Время начала НИОКР t_n^H определяется следующей системой равенств:

$$t_n^H = \begin{cases} t_n^C - 4 & \text{при } n \in N_1, \\ t_n^C - 3 & \text{при } n \in N_2 \text{ или } N_3. \end{cases} \quad (13)$$

Стоимость НИОКР C_n^H относительно C_n^C определяется следующим образом:

$$C_n^H = \begin{cases} 0.012 C_n^C & \text{при } n \in N_1, \\ 0.389 C_n^C & \text{при } n \in N_2, \\ 0.008 C_n^C & \text{при } n \in N_3. \end{cases} \quad (14)$$

"Умирание" стартовых составов ТСО в 1975, 1980, 1985 гг. осуществлялось следующим образом: через 5 лет в стартовых составах ТСО первого и третьего вида оставалось 50%, ТСО второго вида - 30%. Через 10 лет в стартовых составах ТСО первого вида оставалось 15%, у ТСО второго и третьего вида - 0%. Стартовые составы ТСО на 1975 год определялись расчетным путем.

Изменение $S_{\text{доп}}^1(T)$ во времени линейное и подчиняется тому же закону, что и $\hat{\lambda}_n(T)$.

Темпы инфляции выбраны согласно ниже приведенной таблицы.

Темпы инфляции относительно 1975 г. по годам, %

1975-1980	1980-1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	2000
4-6	8-12	25-30	250	1440	2500	2800	3000	3100	3150	3220

При распределении ресурса ТСО первого вида исходим из того, что для решения 1-й задачи охраны достаточно 3% ТСО первого вида, второй задачи - 20%, третьей задачи - 77%.

7.3. Базы данных для планирования развития ТСО. Суммарное число ТСО в исходном ряде для планирования N , в том числе прогнозных N^p и заданных N^z , определяется в общем виде следующим образом:

$$N = \sum_{l=1}^L N_l; \quad N^z = \sum_{l=1}^L N_l^z; \quad N^p = \sum_{l=1}^L N_l^p. \quad (15)$$

В экспериментальном планировании участвуют 205 ТСО трех видов и десяти типов, в состав которых входят 174 заданных (известных) ТСО и 31 прогнозный вариант ТСО.

После отбора в исходный ряд для планирования N^3 известных ТСО и $N^П$ прогнозных ТСО [1], выявления и определения величин α_n^1 , t_n^c , U_n , C_n^c и вычисления величин $\hat{\lambda}_n(T)$, t_n^H , C_n^H , N_n^* ($T, T_n = 1975$) формируется база данных для прогнозирования.

Планирование развития различных видов ТСО осуществляется автономно, так как они выполняют разные задачи (их нельзя заменять: ТСО первого вида, например, не могут решать задачи ТСО второго и третьего видов и наоборот). В связи с этим для каждого вида ТСО будут свои базы данных для планирования.

§8. Цель и сценарий экспериментального планирования

При выполнении этого этапа, исходя из задач пользователя, упорядоченных по приоритету, последовательно формулируются цели экспериментов и далее сценарий проведения экспериментов, в каждом из которых решается одна из задач, приведенных в §5.

Например, сценарий проведения экспериментов может включать последовательное решение перечисленных ниже функциональных задач: как изменятся выбираемые в ходе планирования номенклатура $\{n\}^B$ и состав N^B при минимальной стоимости программы развития ТС в 1975-2015 гг. если:

а) увеличить жизненный цикл ТС $\Delta t_{жц_n}$, $n \in N$, на 50% или 25% (при соответствующем изменении его компонент $\Delta t_{сл}^c$, Δt^c);

б) увеличить или уменьшить на 25% или 50% стоимость эксплуатации C_n^3 , $n \in N$ (при соответствующем изменении $\Delta t_{сл}^c$ ряда надежностных характеристик ТС);

в) увеличить требования к ТС на 50% или 100% (например, увеличить объемы работ, которые должны выполнить ТС в исследуемых временных срезах T_1, T_2, \dots, T_{G_1});

г) увеличить уровень инфляции на 30% (по сравнению с предыдущим годом) или наоборот уменьшить (при синхронном изменении величин C_n^H , C_n^c , C_n^3 при $n \in N$);

д) сократить в 1,5-2,0 раза численность персонала, эксплуатирующего анализируемые (выбираемые) ТС на всем интервале планирования или только в некоторые годы $T \in [T_H, T_K]$, например, при $T = T_K$;

е) увеличить число ТС N в исходном ряде или за счет N^3 заданных (известных) ТС, или за счет прогнозных вариантов N^P , или по обеим составляющим одновременно.

Ниже приводятся результаты экспериментального планирования при решении первой функциональной задачи (см. §5) автономно для каждого вида ТС0.

§9. Подготовка входных файлов данных

После определения значений величин $G_1; T_1, T_2, \dots, T_{G_1}; S_{\text{доп}}^1, 1 = \overline{1, L}; \Delta t_{\text{сл}}; \Delta t_{\text{жц}}; \Delta t_{\text{с}}; K_{\text{инфл}}(T), T \in [T_H, T_K]; U_{\text{доп}}(T), T \in [T_H, T_K]; T_H, T_H^Q, T_K$ формируются входные файлы данных, в которые указанные значения вставляются в виде констант.

§10. Реализация сценария планирования

В целом возможно несколько (часто очень много) вариантов развития состава ТС, что неизбежно ставит вопрос о лучшем оптимальном варианте и о целесообразности вхождения того или иного ТС в состав исследуемой системы ТС. Исследования развития состава ТС во времени осуществляется с помощью ряда математических моделей.

Одна из версий экспериментального программного обеспечения для решения задач планирования, сформулированных в §1, основана на использовании алгоритмов, опубликованных, например, в [2].

В общем случае математическая модель описывает процесс изменения состава ТС между годами рассматриваемого промежутка планирования. В качестве основного требования на возможные ва-

рианты развития выступает условие неперенного выполнения требуемого объема работ при решении L задач. Кроме того, рассматриваются ограничения на объемы затрат годовых планов и программ по НИОКР, серийному производству и эксплуатации ТС. В качестве критерия оптимизации используется величина стоимости сводной перспективной программы НИОКР, серийного производства и эксплуатации ТС.

В рамках рассматриваемой модели формулируются два варианта оптимизационной задачи. Первый вариант можно назвать статической задачей. В этой задаче требования к составу ТС задаются не для каждого года, а только на конец промежутка планирования. Кроме того, моменты начала НИОКР и серийного производства перспективных ТС считаются заданными и их изменение возможно только на уровне изменения исходных данных. Ограничения на объемы затрат по различным статьям расходов непосредственно не учитываются, а принимаются во внимание при вариантных расчетах на модели. Второй вариант - динамическая задача, в которой в полном объеме учитываются указанные выше ограничения.

С математической точки зрения предлагаемые задачи являются труднорешаемыми комбинаторными задачами. При построении алгоритмов их решения использован имеющийся в ИМ СО РАН задел, однако, следует отметить, что построение малотрудоемких (быстрых) алгоритмов (особенно для второго варианта задачи) требует значительных фундаментальных исследований.

Созданный экспериментальный программный комплекс при решении задач планирования требует применения ПЭВМ не ниже АТ-386 SX со стандартной памятью в среде ДОС не ниже версии 3.3.

§11. Анализ баз данных результатов планирования

Из 76 образцов ТСО первого вида в минимальную номенклатуру попало лишь 4 образца ТСО : один прогнозный вариант ТСО третьего типа, три образца ТСО четвертого типа, при этом два

образца из заданного ряда и один образец из прогнозного ряда. Подчеркнем такой факт, что в результате решения задачи планирования исходная номенклатура ТСО первого вида сократилась в 19 раз, в минимальную номенклатуру не попало ни одного ТСО первого типа (из 27), ни одного ТСО второго типа (из 19), лишь одно ТСО третьего типа (из 16) и три ТСО четвертого типа (из 14).

В этих данных анализа публикуются предпочтения и некий рейтинг ТСО исходного ряда.

Из 62 ТСО второго вида в минимальную номенклатуру попало 11 образцов ТСО: пять образцов ТСО первого типа, при этом четыре образца из заданного ряда и один образец из прогнозного ряда, три образца ТСО второго типа - все из прогнозного ряда и три образца третьего типа - все из прогнозного ряда. Другими словами, в результате решения задачи планирования исходная номенклатура ТСО второго вида сократилась в 5,6 раза, в минимальную номенклатуру вошли образцы всех трех типов: из 24 образцов ТСО первого типа выбрано 5, из 23 образцов второго типа выбрано 3 и из 15 образцов ТСО третьего типа выбрано 3.

Из 67 образцов ТСО третьего вида в минимальную номенклатуру попало три образца: один прогнозный образец ТСО первого типа, два образца третьего типа, при этом один образец из заданного ряда и один образец из прогнозного ряда. Таким образом, в результате решения задачи планирования исходная номенклатура ТСО третьего вида сократилась в 22,3 раза, в минимальную номенклатуру ТСО третьего вида вошли: один из образцов ТСО первого типа, ни одного из 19 образцов ТСО второго типа и два из 12 образцов ТСО третьего типа.

Если же рассматривать задачу планирования развития ТСО всех трех видов в целом, то исходная номенклатура (205 образцов) сократилась в 11,4 раза: минимальная номенклатура включает лишь 18 образцов. В нее из 174 заданных образцов вошли лишь

7 (т.е. в 24,8 раза меньше) и из 31 прогнозного образца - 11 (т.е. в 2,8 раза меньше).

Доминирующая доля всех затрат в созданной программе (от 87,05% в случае ТСО первого вида до 91,69% в случае ТСО второго вида) будет уходить на серийное производство, все остальные средства в большинстве своем пойдут на эксплуатацию выбранных ТСО.

§12. Завершение процедуры планирования

На одиннадцатом этапе технологии, во-первых, консервируются позитивные результаты закончившегося эксперимента, во-вторых, если сценарием экспериментального планирования предусмотрена цепочка, в том числе взаимосвязанных, экспериментов, то осуществляется переход к десятому этапу (редактированию входных файлов данных), в-третьих, если завершен весь цикл экспериментов, то проводится анализ и документирование экспериментального планирования в целом.

З а к л ю ч е н и е

Разработанная технология долгосрочного планирования НИОКР, серийного производства и эксплуатации технических систем на основе прогнозирования их развития с учетом ресурсных ограничений и меняющихся во времени требований охватывает спектр вопросов, составляющих новое научно-техническое направление.

Технология успешно апробирована в разных предметных областях. Центральное место в технологии занимают этапы подготовки и редактирования исходных данных, реализации сценария экспериментального исследования и анализа результатов планирования.

Создано несколько версий экспериментального программного обеспечения, инструментально поддерживающего автоматизированный режим выполнения указанных выше этапов. Выполнение осталь-

ных этапов технологии требует неперенного участия человека и в настоящее время реализуется вручную.

Работоспособность разработанной технологии в целом и созданного экспериментального программного обеспечения проиллюстрирована в статье на примерах планирования развития технических средств охраны трех видов и десяти типов. Технология позволила сократить номенклатуру образцов более чем в 11 раз (из 205 образцов выбрано лишь 18!), при этом заданный ряд образцов ТСО, состоящий из 174 образцов, в минимальной номенклатуре представлен лишь 7 образцами, что равносильно сокращению номенклатуры заданного ряда в 24,8 раза.

Реализуемый в технологии подход позволяет, с одной стороны, многократно (в ряде случаев на порядок) сократить номенклатуру и состав анализируемых технических средств (систем, комплексов), с другой стороны, минимизировать стоимость сводной программы НИОКР, серийного производства и эксплуатации при обеспечении выполнения требуемого объема работ на всем интервале планирования.

Существенным достоинством технологии является то, что она позволяет отвечать не простой вопрос: сколько процентов от требуемого объема работ будет выполнять система технических средств, если при планировании заведомо игнорировать логику развития этих средств, искусственно ограничивать расходы на НИОКР и серийное производство, занижать сроки разработки новых средств, не учитывать темпы инфляции, не заботиться о будущем, занижать или вовсе игнорировать реально меняющиеся в сторону усложнения условия применения (реального функционирования) анализируемых средств, не вести учет реальных затрат на эксплуатацию, останавливать (прерывать) налаженное производство и т.д.

Первые шесть из одиннадцати этапов технологии (от анализа предметной области до формирования баз данных для планирования) выполняет разработчик инструментальных средств, применяе-

ных пользователей при выполнении последующих пяти этапов технологии (от определения цели и разработки сценария экспериментального планирования до завершения процедуры планирования).

В целом разработанная технология обладает широкими функциональными возможностями в части составления, корректировки, анализа и обоснования перспективных программ и прогноза облика перспективных технических систем, при этом большая часть исходных данных - "органы управления", доступные пользователю для оперативного управления процессами прогноза и планирования.

Технологию целесообразно использовать для:

а) аргументированной оценки и корректировки официально принятых к исполнению программ;

б) оценки "стоимости" волевых решений при изменении программ и планов;

в) определения приоритетности технических систем, средств и комплексов по разным характеристикам;

г) оценки перспективности нового проекта из предметной области, на которую настроена технология;

д) оперативной корректировки программ и планов по вводным, связанным, например, с изменением (сокращением) сроков и стоимости программ, увеличением требований к разрабатываемым системам технических средств в целом.

Принципиальным является то, что какие бы вопросы не возникали в освещаемом новом научно-техническом направлении, разработанную технологию не нужно переделывать, созданное экспериментальное программное обеспечение в том же виде будет использовано при ответе на любые вопросы анализируемой предметной области.

Опыт экспериментального планирования, например, технических средств охраны показал, что реально в исследовании использовалось 20-30% исходной информации как о ТСО, так и об объек-

тах охраны. Остальная информация была не кондициона. В связи с этим, серьезных продвижений в развиваемом научно-техническом направлении автоматизации и интеллектуализации процедур прогнозирования и планирования развития ТСО следует ожидать при условии одновременного совершенствования как технологии сбора и систематизации исходных данных об объектах и технических средствах охраны, так и технологии применения этой первичной информации при решении задач планирования и прогнозирования развития ТСО.

Существенный дефицит исходных данных о ТСО и объектах охраны наложил свой отпечаток как на отдельные процедуры разрабатываемой технологии решения задач планирования и прогнозирования, так и на ограничение точности и надежности получаемых при этом результатов. Высока трудоемкость реализации разработанной технологии.

Вместе с тем теоретические и экспериментальные исследования, приведенные в разных предметных областях, позволяют заключить: развиваемый подход по существу является научно-технической и технологической основой создания перспективных интеллектуальных автоматизированных рабочих мест для заказывающих управлений различных министерств и ведомств, их научно-исследовательских институтов и учреждений заказчиков. Разработанная технология по существу является инструментом современных и особенно перспективных рыночных отношений, поскольку вносит свою многомерную измеримость при оценке конкурирующих направлений, в том числе и у зарубежных фирм.

Подчеркнем, разработанная технология имеет существенные особенности и достоинства по сравнению с известными подходами, в том числе автоматизированными, реализующими традиционные технологии решения рассматриваемого класса задач планирования. Существо в том, что технология планирования органически стыкуется с технологией прогнозирования [1] и опирается на ее

результаты. Реализация технологии прогнозирования [1] в выбранной предметной области - необходимое условие применения технологии планирования в этой же предметной области.

Оригинальны сами технологии прогнозирования [1] и планирования при использовании их даже отдельно друг от друга. Тем более можно утверждать об однозначной новизне разработанного подхода, в основу которого положено комплексирование возможностей оригинальных технологий прогнозирования и планирования.

Л и т е р а т у р а

1. УСТЮГОВ Ю.А. Технология прогнозирования развития технических средств и систем на длительную перспективу при существенно ограниченной обучающей выборке. - Настоящий сборник. - С. 71-93.

2. КОЧЕТОВ Ю.А., ПАЩЕНКО М.Г. Лагранжевы релаксации в задаче выбора оптимального состава системы технических средств //Управляемые системы. - 1993. - Вып. 31. - С. 26-39. (ИМ СО РАН).

Поступила в ред.-изд.-отд.

21 октября 1994 года