

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2. ОБЩИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

2.1. Особенности методов синтеза

Общие методы синтеза **рациональных решений** процессов, средств, комплексов ОР направлены на разработку и реализацию решений по эффективному использованию, совершенствованию (модернизации) существующих и по разработке новых процессов, средств, комплексов, систем и ОР в целом, которые обеспечивают достижение требуемой или максимальной эффективности в настоящем или будущем с учетом действия всей совокупности существенных внешних и внутренних факторов и ограничений (ресурсы, фонды, условия эксплуатации, подготовка личного состава, и т. п.).

Общие особенности методов синтеза

Основой методов синтеза являются методы системного анализа, которые определяют существенные внутренние и внешние факторы, рациональность тех или иных решений, вскрывают факторы, оказывающие наиболее существенное влияние, и определяют направления совершенствования.

Эффективность методов синтеза в основном определяется рациональностью, реализуемостью и своевременностью принятых решений в условиях действия различного рода ограничений.

К основным из них следует отнести:

- ограничения по личному составу;
- ограничения по имеющимся ресурсам сил и средств;
- ограничение стоимости средств, комплексов;
- ограничения, накладываемые на число транспортных средств;
- ограничения по расходу энергии, весу;
- требования по надежности и ремонтпригодности;
- требования к подготовке личного состава;
- требования по мобильности;
- требования по унификации;
- ограничения фондов промышленности, и т. п.

Таким образом, методы синтеза должны обеспечить отыскание такого множества элементов рационального решения \vec{g}_j из множества возможных

решений $\{g\}$, при котором с учетом действия всей совокупности существенных факторов множество показателей эффективности процесса, комплекса, системы становится оптимальным или требуемым, т. е.

$$W(\vec{g}_{j \text{ рац}}) \geq W(\vec{g}_k), W \vec{g}_k = \begin{cases} = W_{\max} \\ \geq W_{\text{нр}} \\ \geq W_{\max} \end{cases} \text{ при } C_3 = \text{const},$$

либо достигается минимизация расхода выделяемых ресурсов сил и средств при обеспечении требуемой эффективности в условиях действия тех же факторов:

$$C_3(\vec{g}_{j \text{ рац}}) \leq C_3(\vec{g}_k); C_3(\vec{g}_k) = \begin{cases} = C_{3 \text{ мин}} \\ \geq C_{3 \text{ треб}} \\ \geq \Delta C_3 \end{cases}.$$

Рациональное решение $\vec{g}_{j \text{ рац}}$ должно включать в себя определение существенных характеристик, параметров, элементов процессов, средств, комплексов, систем, обеспечивающих устранение выявленных на базе системного анализа недостатков, и их наилучшее согласование с существенными характеристиками, параметрами разведывательной обстановки, задачами радиоразведки, мероприятиями по противодействию радиоразведке.

При этом в широком смысле задачу рационального синтеза можно рассматривать как задачу целенаправленного управления ресурсами.

Синтез более эффективных процессов, средств, комплексов, систем радиоразведки в смысле их рационального согласования с внешними, внутренними факторами можно достигнуть за счет:

1. Рационального текущего применения комплексов, систем (согласование с текущими существенными факторами).
2. Совершенствования (модернизации) существующих средств, комплексов, систем (согласование с прогнозируемыми и ранее не выявленными существенными факторами).
3. Разработки новых средств, комплексов, систем (согласование с прогнозируемыми существенными факторами, в отношении которых модернизация существующих средств, комплексов не дает нужного результата).

Эффективность решения общей задачи синтеза системы Ор требует рационального распределения ресурсов между всеми указанными выше направлениями.

Фактически процессы синтеза рациональной Ор следует рассматривать как процессы ее рациональной адаптации:

- на краткосрочный период – текущее уточнение целей, задач, стимулов; совершенствование организации, распределения сил и средств, используемых приемов, методов;
- на период средней продолжительности – модернизация средств, комплексов;
- на долговременный период – разработка и внедрение новых средств, комплексов, систем.

Для обеспечения своевременности модернизации и разработки средств, комплексов Ор необходимо, чтобы интервал прогнозирования (упреждения) $\Delta t_{\text{прогн}}$ этих изменений удовлетворял условию

$$\Delta t_{\text{прогн}} \geq t_{\text{пр}} + t_{\text{реал}} + t_{\text{осв}},$$

где $t_{\text{осв}}$ – время освоения новых средств, комплексов.

Правильное решение задач синтеза должно обеспечить:

- наиболее рациональную степень приближения реальной эффективности к потенциальной (возможной);
- умение учитывать диалектическую взаимосвязь Ор, внешних и внутренних факторов;
- нахождение возможных вариантов рациональных решений (при структурной и параметрической оптимизации);
- выбор рационального варианта решения в условиях, когда эффективность процесса, комплекса характеризуется большим числом показателей эффективности;
- учет неопределенности ряда внешних и внутренних факторов и прогнозирование их воздействия.

Синтез рациональных средств, комплексов включает в себя следующие этапы:

1. Исходя из потребностей решаемых задач, формулируются основные

целевые функции комплексов Ор.

2. На базе анализа внешних и внутренних факторов определяются методы, процессы решения задач Ор.

3. На основании результатов предшествующих этапов разрабатываются показатели эффективности и модели процессов, средств, комплексов Ор.

4. С учетом разработанных моделей уточняется список существенных характеристик внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на показатели эффективности Ор.

5. С учетом выявленных существенных характеристик внешних и внутренних факторов прогнозируются возможные проблемы в деятельности Ор и разрабатываются варианты организации, использования и построения средств, комплексов, систем, которые обеспечивают требуемую эффективность, а также достаточную инвариантность к изменению внешних и внутренних факторов.

Далее в процессе уточнения все этапы могут повторяться.

Сложность внешних и внутренних факторов, процессов, средств, комплексов и систем обуславливают проведение решения задач синтеза в несколько этапов:

- решение задачи синтеза на качественном уровне;
- получение основных результатов при количественном анализе на упрощенных моделях;
- уточнение полученных результатов путем использования моделей, близких к натурным.

При определении в процессе синтеза рациональных решений следует понимать, что выбор рационального решения можно представить как выбор рациональной альтернативы (структурная оптимизация), оптимизацию параметров выбранной альтернативы (параметрическая оптимизация). Параметрическая оптимизация базируется на математических методах отыскания экстремальных значений (вариационное исчисление).

Задача выбора рациональной альтернативы является более сложной. Здесь важно определить достаточно полный список рациональных альтернатив.

Ясно, что если этот список будет неполным, т. е. не будет включать достаточно рациональную альтернативу, то решение поставленной задачи будет невозможно.

С другой стороны, следует отметить, что включение в список «ненужных» альтернатив увеличивает не только затраты на поиск рациональной альтернативы, но и вероятность ошибочного принятия «нерациональной» альтернативы за рациональную.

Анализ показывает, что в решении данного вопроса возможно несколько направлений:

1. Формирование списка альтернатив на базе результатов системного анализа (как альтернатив, устраняющих выявленные недостатки).
2. Выявление рациональных альтернатив на основе априорной информации (опыта, теории), т. е. использование известных решений и для известных ситуаций.
Очевидно, что для эффективного использования этого метода необходимо постоянное накопление сведений и формирование банка известных решений.
3. Синтез сложного решения путем предварительного синтеза более простых (частных) решений и выбора общего решения в виде некоторого рационального компромиссного решения.
При реализации направления учитывается, что Оп можно представить в виде определенных частных моделей, каждая из которых в свою очередь может быть упрощена. При этом принятие рациональных частных решений базируется на использовании закономерностей изменения эффективности от элементов решения (рассматриваемых моделей).
4. Использование для отыскания оптимальных (как правило, частных) решений методов вариационного исчисления, линейного и динамического программирования, теории игр, моделирования.
5. Нахождение рациональной альтернативы на базе выявления общности Оп с другими системами и использования их опыта (метод аналогий).
6. Использование метода экспертных оценок.

Выбор оптимального варианта решения требует умения найти рациональный вариант в условиях множественности показателей эффективности; оценить и выбрать варианты при неопределенности сведений о внешних и внутренних факторах, а также прогнозировать внешние и внутренние факторы, когда решения касаются будущего.

2.2. Методы выбора рационального решения в условиях большого числа показателей эффективности

В общем случае для решения этой задачи необходимо проанализировать матрицу эффективности $|W|$ вида

Показатели	Альтернативы			
	A_1	A_2	...	A_n
W_1	W_{11}	W_{12}		W_{1n}
W_2	W_{21}	W_{22}		W_{2n}
...				
W_N	W_{N1}	W_{N2}		W_{Nn}

При этом может быть использовано несколько возможных направлений решения.

1. Минимизация матрицы эффективности за счет исключения явно нерациональных вариантов. Например, если $W_1 W_1$ – производительность комплекса, W_2 – эквивалентные затраты, то анализ позволяет сразу резко уменьшить число рациональных вариантов, так как все варианты, лежащие правее и выше вариантов, соединенных пунктирной линией, имеют или меньшую производительность, или большую стоимость.

2. Введение обобщенного составного критерия

$$W_{об} = \begin{cases} \sum_{j=1}^N \alpha_j W_j; \\ \prod_{j=1}^N \alpha_j W_j; \\ \frac{\alpha_1 W_1 \alpha_2 W_2 \dots}{\alpha_k W_k \dots \alpha_N W_N}, \end{cases}$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ – некоторые весовые коэффициенты.

Возможно выражение обобщенного показателя эффективности и в виде более сложных зависимостей.

Достоинство этого метода – однозначность, простота оценки тех или иных вариантов.

Недостатки – наличие субъективных факторов при выборе весовых коэффициентов и вида выражения, что обуславливает определенную субъективность оценок, так как недостаточная эффективность по одному показателю компенсируется эффективностью по другому показателю. Кроме того, в обобщенном показателе не видно, на что и как действуют те или иные факторы.

3. Выделение одного главного показателя эффективности (характеризующего эффективность решения главной задачи) и сведение других показателей к дисциплинирующим условиям:

$$W_k = W_{\text{гл}}$$

при

$$W_1 \leq W_{1\text{доп}}; W_2 \leq W_{2\text{доп}}; \dots, W_N \leq W_{N\text{доп}}.$$

При этом варианты, не укладывающиеся в заданные условия, отбрасываются как неконкурентоспособные.

Достоинства метода – простота, однозначность оценки главного качества комплекса (системы).

Недостаток – малая чувствительность принятого решения к другим показателям.

4. Использование метода последовательных уступок, который в значительной мере устраняет недостатки предшествующего метода и сводится к следующему:

- показатели эффективности располагаются в упорядоченный ряд W_1, W_2, \dots, W_N по степени их важности;
- анализируются возможные решения, обращающие W_1 в максимум, при допущении, что W_2, W_3, \dots, W_N выступают как ограничивающие условия;
- назначается некоторая допустимая «уступка» ΔW_1 (допустимое снижение показателя W_1); при этом показатель W_1 рассматривается далее как ограничивающее условие $W_1 \leq W_{1\text{max}} - \Delta W_1$; в этих условиях ищется решение, обеспечивающее обращение показателя W_2 в максимум, после чего определяется целесообразность этого решения путем сравнения выигрыша за счет приращения ΔW_2 с проигрышем за счет уменьшения W_1 ;
- далее оба показателя (W_1, W_2) сводятся к дисциплинирующим условиям и ищется решение, обращающее в максимум W_3 , и т. д.

5. Метод экспертной оценки матрицы эффективности в целом и определение рационального решения методом обработки результатов экспертизы.

2.3. Особенности принятия рациональных решений при действии совокупности условий, их неопределенности

Решение задачи выбора рационального варианта в этих условиях сводится к анализу матрицы вида

Вариант	Возможные условия			
	\vec{Y}_1	\vec{Y}_2	...	\vec{Y}_m
A_1	W_{11}	W_{12}		W_{1m}
A_2				
...			W_{kj}	
A_n	W_{n1}			W_{nm}

где W_{kj} – показатель эффективности для k -го варианта при реализации вектора условий \vec{Y}_j . Данную матрицу в теории игр называют платежной матрицей.

Влияние информации о действующих условиях может проявляться по-разному.

Первый случай. Известно, что \vec{Y}_j носят случайный характер, не зависят от принимаемых нами решений и характеризуются некоторыми законами распределения вероятности $P(\vec{Y}_j)$.

Выбор рациональной альтернативы здесь можно осуществить на базе оценки средней эффективности каждой k -й альтернативы в среднем по всей совокупности условий:

$$W_k = \sum_{j=1}^m H(\vec{Y}_j) W_{kj}^* .$$

Если $|W_{kj}|$ – вектор-столбец, то процедуру оценки альтернатив можно свести к оценке векторов-столбцов матрицы.

Оптимизация в среднем не всегда является лучшим решением. Очевидно, что если бы принятая альтернатива включала в себя элементы адаптации к изменению условий, то эффективность пятых решений была бы выше.

Второй случай. Так как возможности реализации того или иного условия в общем случае неизвестны, то приходится принимать решения в условиях неопределенности. Неопределенность может вытекать из незнания внешних условий или сознательных действий противника по их изменению.

Если учесть, что внешние условия и комплекс Ор всегда находятся в определенном противодействии, то выработку рекомендаций по принятию рациональных решений можно осуществить на базе теории игр, которая представляет собой математическую теорию конфликтных ситуаций.

Упрощенная модель ситуации, где, с одной стороны, выступают внешние условия или действия противника y_j , с другой – принимаемые решения A_k , а каждой паре значений y_j, A_k можно приписать некоторый выигрыш $W_{kj} = a_{kj}$ (достигнутую эффективность и соответственно проигрыш противника), называется игрой.

Правила такой игры определяют:

- возможные действия игроков (внешней среды, противника; комплекса, системы радиоразведки);
- объем информации каждой стороны о поведении другой;
- результат (исход) игры.

Выбор какого-либо решения (действия) в теории игр называют ходом. Если осуществляется сознательный выбор варианта действий, то ход называют личным, в противном случае – случайным.

Так как выигрыш одной стороны (Ор) в общем случае можно считать равным проигрышу другой (системы связи), то рассматриваемые игры будут играми с нулевой суммой.

Основой анализа эффективности решений в теории игр является платежная матрица.

Совокупность правил, определяющих выбор варианта решения (действий) при каждом личном ходе игрока («противника», Ор), будем называть стратегией игрока. В данном случае стратегии Ор – $\{A_k\}$, стратегии противника – $\{y_j\}$.

Оптимальной с позиций теории игр является такая стратегия, которая обеспечивает игроку (комплексу, Ор) максимально возможный средний выигрыш при многократном повторении игры.

Очевидно, что выбор оптимальной стратегии будет зависеть от уровня информации о внешних условиях, действиях противника и возможностей адаптации комплекса, системы к изменению этих условий.

Здесь можно выделить ряд характерных случаев:

1. Известны только возможные состояния U_j , выявить их и приспособиться к ним нельзя. В этом случае теория игр рекомендует использовать для выбора стратегии принцип минимакса, т. е. выбирать наилучшее решение для худшего случая.

Процедура отыскания минимального решения сводится к следующему:

- определяем минимальное из чисел W_{kj} в k -й строке и обозначаем его W_k :

$$W_k = \min_j A_{kj};$$

- выписываем числа W_k для всех строк и принимаем в качестве максимальной стратегию A_k , обеспечивающую максимум эффективности:

$$W_{max} = \max_k W_k = \max_k \min_j W_{kj}.$$

Величина $W_{max} = \alpha$ называется нижней ценой игры или максиминным выигрышем (гарантированный выигрыш при любом поведении противника).

Аналогичные рассуждения можно провести за противника, который стремится в любых условиях обратить наш выигрыш в минимум.

Его минимаксная стратегия может быть найдена следующим путем:

- находим максимальные значения W_{kj} по столбцам $\beta_j = \max_k W_{kj}$;
- определяем A_k , при котором β_j принимает минимальное значение

$$\beta_j = \min_k \max_j W_{kj}.$$

Значение β называется верхней ценой игры.

Если $\alpha = \beta$, то минимаксные стратегии называются устойчивыми, а общее значение $y = \alpha = \beta$ – чистой ценой игры.

Такие игры называются играми с седловой точкой, определяемой оптимальными минимаксными стратегиями A_k и U_j .

Чистая цена игры v является тем значением выигрыша, которое при игре с разумным противником и полной взаимной информации СРР не может увеличить, а противник (через его систему связи) – уменьшить.

Если игры не имеют седловой точки, то может применяться принцип смешанных стратегий, когда принимается несколько альтернатив A_i , чередуемых случайным образом.

Обозначим смешанную стратегию S_A в виде $S_A = (P_1, P_2, \dots, P_n)$, где P_1, P_2, \dots, P_n – вероятности реализации решений A_1, A_2, \dots, A_n ;

$$\sum_{j=1}^n P_j = 1.$$

Аналогично можно обозначить смешанную стратегию противника (системы связи) – $S_y = (g_1, g_2, \dots, g_m)$, где g_j – вероятность реализации y_j . Решением игры в этом случае будет называться пара оптимальных стратегий S_A^*, S_B^* , в общем случае смешанных, обладающих следующим свойством: если один из игроков придерживается оптимальной стратегии, то другому невыгодно отступать от своей. В этом случае выигрыш останется неизменным независимо от того, что будет делать другой игрок. При этом из основной теоремы теории игр следует, что каждая конечная игра имеет по крайней мере одно решение. В простейшем случае игры 2×2 (у Ор и у противника по две стратегии) оптимальная стратегия Ор $S_A(P_1, P_2)$ определится как

$$P_1 = \frac{W_{22} - W_{21}}{W_{11} + W_{22} - W_{12} - W_{21}}; P_2 = 1 - P_1,$$

а цена игры (выигрыш)

$$v = \frac{W_{22}W_{11} - W_{12}W_{21}}{W_{11} + W_{22} - W_{12} - W_{21}}.$$

Аналогично можно найти стратегию $S_B(g_1, g_2)$ как

$$g_1 = \frac{W_{22} - W_{21}}{W_{11} + W_{22} - W_{12} - W_{21}}.$$

Пример.

Для комплекса Ор можно применить два тактических приема решения задачи. Эффективность этих приемов характеризуется приведенной ниже платежной матрицей, где W_{jk} – вероятность обнаружения k -го типа сигналов j -м тактическим приемом.

	Y_1	Y_2
A_1	$W_{11}=0,608$	$W_{12}=1$
A_2	$W_{21}=1$	$W_{22}=0,44$

Оптимальные стратегии в данном случае – это выбор вероятностей применения тактического приема. Решение по приведенным выше формулам приводит к следующим результатам: $P_1 = 0,588$; $P_2 = 0,412$; $v = 0,768$.

При этом оптимальная стратегия «противника», обеспечивающая максимальную скрытность источника излучений, определится как $g_1 = 0,588$, $g_2 = 0,412$.

Игры типа 2×4 или 4×2 могут быть легко решены графически.

При нахождении решения для более сложных случаев необходимо или постараться упростить игру, т. е. свести ее к случаю игры 2×2 , $2 \times n$, $m \times 2$, или воспользоваться методами линейного программирования.

Отметим, что рассмотренные выше оптимальные стратегии применимы лишь при отсутствии дополнительных данных о реальной обстановке и не учитывают возможностей активного воздействия на противника.

Дальнейшая оптимизация выбираемых альтернатив сводится к принятию адаптивных решений, которые заключаются в отслеживании обстановки и принятии оптимальных решений по результатам этого отслеживания.

При идеальном «отслеживании» обстановки $\Delta t_{\text{отсл}} = 0$ (время определения состояния) и $\Delta t_{\text{реш}} = 0$ (время разработки реализации решения).

Тогда выигрыш, который обеспечит принятие адаптивных решений, будет равен

$$\bar{W}_{\text{адп}} = \sum_{i=1}^m P(Y_i) \max_k W_{ki},$$

где $P(Y_i)$ – вероятность реализации того или иного состояния противника.

Заметим, что обеспечение реальной эффективности адаптивных решений при существенном времени разработки и реализации адаптивных решений требует прогнозирования «поведения» противника. При этом необходимо, чтобы

$$t_{\text{прогн}} > t_{\text{реш}},$$

где $t_{\text{прогн}}$ – время, за которое осуществляется прогнозирование по отношению к настоящему моменту времени.

Повысить эффективность адаптивных решений можно за счет физического воздействия на противника или путем его дезинформации.

При этом можно реализовать следующие цели воздействия:

- при некотором нашем решении A_k перевести противника в состояние Y_j , при котором W_{kj} максимально;
- перевести противника в состояние Y_j , при котором выбор решения A_k обеспечит максимум нашего выигрыша – $\alpha = \max_j \min_k W_{kj}$.

В первом случае достигается максимальная эффективность выбранного по тем или иным причинам решения, во втором возможно достижение потенциальной эффективности системы.