

РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКРЕТНЫХ ФОРМ КЭ

Использование ретроспективных методов для формирования конкретной формы критерия эффективности возможно в том случае, когда разрабатываемая система является дальнейшим развитием уже существующей системы и имеется возможность использовать статистические данные прототипа системы для формирования моделей Q и C .

При использовании ретроспективных методов формирование моделей выгоды и затрат проводится *по следующей методике*:

1. Строятся зависимости исследуемого параметра (Q или C) от времени;
2. Выбирается метод, позволяющий провести статистический анализ ретроспективных данных (для прототипа системы)
3. Определяется среднее значение погрешности полученных оценок Q и C .
4. Принимается решение об использовании того или иного метода анализа. При этом, как правило, выбирается метод, который дает стандартное наименьшее отклонение.

Рассмотрим некоторые методы ретроспективного формирования конкретных форм КЭ.

Методы статистического прогнозирования (СТАТИСТИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ)

При использовании этих методов по имеющейся информации о прототипах проектируемой системы строятся статистические модели компонент выходного эффекта Q и C , которые рассматриваются как предыстория развития этих компонент. Далее эти модели аппроксимируются за счет использования и "обучения" некоторого дискретного полинома, определяющего связь выгоды Q и затрат C с управляющими параметрами, продолжение которых в "будущее" служит для прогнозирования исследуемых компонент выходного эффекта системы:

$$Q = Q[\{q\}]; \quad C = C[\{q\}].$$

В качестве полиномов аппроксимации при системном проектировании используются полиномы Чебышева, Эрмита, Колмогорова-Габора и другие. Вид полинома, используемого для аппроксимации, выбирается эвристически. Коэффициенты аппроксимирующего полинома могут быть определены двумя методами:

— путем решения системы нормальных уравнений Гаусса;

- путем использования существующих алгоритмов адаптации (включая статистическую аппроксимацию)

Общим недостатком этих методов является относительно невысокая их точность, громоздкость вычислительных процедур. Эти методы используются в случаях, когда число неизвестных параметров аппроксимирующего полинома не превышает четырех (например, для определения коэффициентов полинома Колмогорова-Габора при числе параметров, равном 10, необходимо рассмотреть матрицу системы уравнений Гаусса, содержащую $2 \cdot 10^5 \times 2 \cdot 10^5$).

В конце 60-х годов прошлого века А.Г. Ивахненко предложил метод группового учета аргументов, позволяющий преодолеть расчетные трудности. Суть его состоит в том, что решение сложного аппроксимирующего уравнения заменяется рекуррентным повторением решения элементарной системы нормальных уравнений, в каждое из которых входит только небольшая группа аргументов основного уравнения (например, два). При этом для случая 10-ти аргументов, вместо рассмотрения матрицы $2 \cdot 10^5 \times 2 \cdot 10^5$ для определения коэффициентов аппроксимирующего полинома требуется всего девять раз решить элементарную систему уравнений.

Метод множественной регрессии

Регрессия - это зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или нескольких величин.

Метод множественной регрессии дает возможность определить динамику математического ожидания исследуемой случайной величины с помощью линейных или нелинейных уравнений множественной регрессии, численные параметры которых определяются по статистическим данным известных систем-прототипов, рассматриваемых как статистическая выборка.

Модели Q и C в виде линейных регрессионных уравнений имеют вид:

$$Q = \sum_i \lambda_i q_i \cdot k_{\tau_Q} \left(1 \pm t \frac{\sigma_Q}{\sqrt{\rho_Q}} \right), \quad i = \overline{1, m};$$

$$C = \sum_j \lambda_j q_j \cdot k_{\tau_C} \left(1 \pm t \frac{\sigma_C}{\sqrt{\rho_C}} \right), \quad j = \overline{1, n}.$$

где

λ_i, λ_j – весовые коэффициенты для q_i и q_j параметров;

k_{τ} – коэффициент, определяющий нарастание соответствующей компоненты (Q или C) по времени (определяется на основании

обработки статистических данных или методом экспертной оценки);

$1 \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{\rho}}$ – показатель, определяющий доверительный интервал для Q или C ;

σ_Q, σ_C – среднеквадратическое отклонение значений компонент Q или C в выборке прототипов;

ρ_Q, ρ_C – объем выборки (число прототипов системы);

t – время, рассматриваемое как параметр интегральной кривой распределения вероятностей.

Оценки Q и C , полученные по этим выражениям называются **интервальными**.

В нелинейной форме уравнения интервальных оценок для Q и C определяются как:

$$Q = a_Q \prod_{i=1}^m q_i^{\lambda_i} \cdot k_{\tau_Q} \left(1 \pm t \frac{\sigma_Q}{\sqrt{\rho_Q}} \right);$$

$$C = a_C \prod_{j=1}^n q_j^{\lambda_j} \cdot k_{\tau_C} \left(1 \pm t \frac{\sigma_C}{\sqrt{\rho_C}} \right);$$

где: λ_i, λ_j – весовые коэффициенты, характеризующие степень нелинейности связи между параметрами, а также относительную важность параметров;

a_Q, a_C – параметры модели, определяемые на основе имеющейся статистики о прототипах системы;

m, n – число параметров, учитываемых в моделях выгоды и затрат.

Рассмотренные выше методы (статистического прогнозирования и множественной регрессии) используются при наличии информации о большом количестве прототипов системы. Когда число прототипов недостаточно для получения устойчивых результатов в ходе статистической обработки, для получения приближенных моделей выгоды и затрат используются следующие три метода:

- * **метод переводных коэффициентов;**
- * **метод бальной оценки;**
- * **нормативный метод.**

МЕТОД ПЕРЕВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ - основан на предположении, что выходной эффект системы равен фактическому выходному эффекту прототипа, умноженному на так называемый средний переводной коэффициент:

$$Q = Q'_n K_Q$$

$$C = C'_n K_C$$

где Q'_n и C'_n - известные компоненты выходного эффекта прототипа, скорректированные с учетом роста производительности труда и снижения себестоимости,

K_Q и K_C - средние переводные коэффициенты для Q и C .

Компоненты Q'_n и C'_n определяются по выражениям:

$$Q'_n = Q_n (1 + 0,01 \alpha_Q) \Delta \tau$$

$$C'_n = C_n (1 - 0,01 \alpha_C) \Delta \tau$$

где α_Q – показатель роста производительности труда (в процентах от Q_n),

α_C – показатель, учитывающий исключение непроизводительных затрат C_n ,

$\Delta \tau$ – время между производством новой системы и ее аналога.

Средние переводные коэффициенты K_Q и K_C определяются линейными регрессионными моделями вида:

$$K_Q = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_{Qi} + \lambda_0;$$

$$\sum_i \lambda_i = 1, \quad 0 \leq \lambda_i \leq 1$$

$$K_C = \sum_{j=1}^m \lambda_j K_{Cj} + \lambda_0;$$

$$\sum_j \lambda_j = 1, \quad 0 \leq \lambda_j \leq 1$$

Здесь λ_i, λ_j – весовые коэффициенты параметров системы, отражающие удельное изменение Q и C ;

n, m – число учитываемых параметров системы;

λ_0 – весовой коэффициент параметров, слабо влияющих на изменение K_Q и K_C ;

K_{Qi} , K_{Cj} – частные переводные коэффициенты (для параметров), определяемые выражениями:

$$K_{Qi} = q_i / q_{im}$$

$$K_{Cj} = q_j / q_{jm}$$

где q_i , q_j , q_{im} , q_{jm} – параметры для системы и прототипа соответственно.

Мультипликативная модель коэффициентов K_Q и K_C имеет вид:

$$K_Q = \prod_i^m K_{Qi}^{\lambda_i}, \quad i = \overline{1, n}$$

$$K_C = \prod_j^n K_{Cj}^{\lambda_j}, \quad j = \overline{1, m}$$

Метод балльной оценки

Метод балльной оценки основывается на том, что единица приращения управляющего параметра Δq_i вызывает приращение выходного эффекта системы, оцениваемого как a_i для Q и b_j для C .

Таким образом, результирующая величина выходного эффекта БТС определится как:

$$Q = Q'_n + \sum_i a_i q_i, \quad i = \overline{1, m},$$

$$C = C'_n + \sum_j b_j q_j, \quad j = \overline{1, n}$$

Параметры a_i и b_j определяются на основе статистических данных по прототипам методами численного анализа (например, методом наименьших квадратов) или методами корреляционного анализа (методами множественной корреляции).

Давая оценку рассмотренным ретроспективным методам определения компонент выходного эффекта конкретных БТС, следует отметить, что они дают удовлетворительные результаты при наличии информации о поведении достаточно большого числа прототипов.

Достаточная степень усреднения данных по прототипам и постоянство условий использования—вот факторы, обеспечивающие удовлетворительность результатов ретроспективных методов. Следует подчеркнуть, что в

рассматриваемом случае нет возможности оценить погрешность указанных результатов. Можно только сказать, что она будет значительной.

Тем не менее, *ретроспективные методы широко используются на практике и их применение целесообразно, когда необходимо быстро получить ориентировочные результаты (например, в ходе какого-либо технического совещания или для прикидочных расчетов).*

Нормативный метод

Если число прототипов БТС не обеспечивает статистическую эффективность расчетов, то может быть применен метод определения компонент выходного эффекта, основывающийся на еще большей степени усреднения, усреднения по целой отрасли промышленности. Его мы условно назовем **нормативным методом**.

При этом полезная отдача системы и затраты определяются как:

$$Q = \sum_i Q_i, \quad i = \overline{1, m}; \quad C = \sum_j C_j, \quad j = \overline{1, n}$$

$$Q_i = \alpha_{Qi} M_i, \quad C_j = \alpha_{Cj} M_j$$

где:

M_i и M_j — массы соответствующих частей БТС (подсистемы, аппаратуры, блока), а

α_{Qi}, α_{Cj} — нормативная величина Q или стоимости единицы массы i и j -и частей системы. Обычно α_{Cj} помещается в нормативных справочных материалах соответствующей отрасли промышленности, а α_{Qi} должно определяться на основе имеющейся статистики.

В этих случаях Q очень часто выражается, например, через полезный вес, который может быть поднят летательным аппаратом, или через другие подобные показатели.

При использовании нормативного метода основной задачей является определение массы различных частей БТС. Расчет массы обычно базируется на существовании связи между массой частей БТС и их параметрами. Так, массы основных элементов ЛА зависят либо от стартовой массы, либо от суммарного импульса за время активного полета. Масса многоступенчатого ЛА определяется дальностью полета, величиной полезной нагрузки с учетом дальности ее доставки [3].

Методы предварительных расчетов массы частей системы в большинстве случаев достаточно отработаны, и их использование не представляет большого труда.

Расчет массы для ЛА и его основных частей приведен в книге [3].

*Нормативный метод определения структуры компонент выходного эффекта БТС является еще более приближенным, чем описанные ранее методы определения этой структуры по прототипам. Тем не менее, он не лишен определенных достоинств — это прежде всего **быстрота и возможность формирования структуры компонентов выходного эффекта БТС при отсутствии прототипов**. Для принципиально новых разработок это— единственно возможный путь.*

При определении выходного эффекта БТС необходимо иметь в виду, что когда недостаточность информации не позволяет обеспечить необходимую достоверность результата методами исследования операций и экономического прогнозирования, всегда остается возможность определения выходного эффекта эвристически на базе опыта, имеющегося у проектирующей организации.