ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ АППАРАТУРНОГО КОМПЛЕКСА ДЗЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ ЗАДАЧ

А. Д. Федоровский, В. П. Зубко

Центр аэрокосмических исследований Земли
Института геологических наук НАН Украины
г. Киев, ул. Олеся Гончара, 55-Б
E-mail: afedorovsky@svitonline.com

Приводится обоснование методики формирования самолетного или космического аппаратурного комплекса ДЗЗ, позволяющей из всех существующих и вновь проектируемых приборов ДЗЗ выбрать такие, которые с наибольшей вероятностью обеспечат выполнение природоохранных и ресурсных задач исследовательской программы ДЗЗ.

При формировании аппаратурного комплекса (АК) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), размещаемого на самолете или космическом аппарате, необходимо из всех существующих и вновь проектируемых приборов выбрать такие приборы, которые позволили бы с наибольшей вероятностью обеспечить выполнение природоохранных и ресурсных задач исследовательской программы ДЗЗ. Для этого предлагается использовать алгоритм, основанный на вычислении оценок, состоящих из следующих этапов: введение функции близости (невязки) - S сравниваемых величин, вычисление оценок для функций близости - функций соответствия - G, вычисление оценок для каждого класса по множеству характеристик - функций принадлежности - F и принятие решения о принадлежности объекта к конкретному классу [1]. В рассматриваемом случае функция соответствия описывает степень совпадения значений информативных характеристик тематических задач со значениями параметров измерительных каналов АК. Выбор той или иной функции соответствия определяется характером задачи. Функция принадлежности показывает эффективность решения с помощью АК каждой тематической задачи, подпрограмм и программы в целом. Решающее правило выносит суждение о соответствии параметров АК измеряемым характеристикам и определяет вероятность решения тематических задач, подпрограмм и программы в целом.

Обозначим $M=\{M_p\}$- программа, состоящая из множества подпрограмм, где M_p - p-ая подпрограмма; $p=1,\ 2,\dots,h$, h - количество подпрограмм.

$A(M_p)=A\{A_{pl}\}$ - множество задач p-й подпрограммы, где A_{pl} - l-ая задача p-й подпрограммы, $l=1,2,\dots,k_p$, k_p - количество задач p-й подпрограммы;

а(A_{pl})=$\{\ a_{plj}\ \}$ - множество характеристик l-й задачи p-й подпрограммы, где a_{plj} - j-я характеристика l-й задачи p-й подпрограммы, $j=1,2,\dots,m_{pl}$, m_{pl} - количество характеристик l-й задачи p-й подпрограммы.

$B=\{B_c\}$ - множество вариантов АК, где B_c - c-й вариант АК, $c=1,\ 2,\dots,\ R$; R - количество АК.

АК космического аппарата должен обладать соответствующими параметрами, которые позволяют измерять различные характеристики тематических задач. Это обеспечивается включением в состав АК приборов различных типов. Множество вариантов АК, из которых выбирается наилучший вариант, формируется из множества вариантов приборов - V

$$V=\begin{cases} V_{1(1)}, & V_{1(2)}, & \cdots & V_{1(q)}, & \cdots & V_{1\{e(1)\}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{t(1)}, & V_{t(2)}, & \cdots & V_{t(q)}, & \cdots & V_{t\{e(t)\}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{T(1)}, & V_{T(2)}, & \cdots & V_{T(q)}, & \cdots & V_{T\{e(T)} \end{cases} \tag{1}$$

где $V_t=\{V_{t(q)}\}$ - множество приборов t-го типа, $V_{t(q)}$ - q-ый прибор t-го типа, $q=1,2,\dots,e(t)$; $e(t)$ - количество приборов t-го типа; $t=1,2,\dots,T$; T - количество всех типов приборов, из которых формируются АК.

Задача состоит, во-первых, в исключении из всего множества АК вариантов, которые не удовлетворяют конструктивным требованиям (вес, габариты, энергопотребление, ресурс, надежность, стоимость) и, во-вторых, в определении после отсева неперспективных вариантов АК для каждого из оставшихся функции принадлежности, по максимальному значению которой выбирается приемлемый вариант АК [2].

Существование АК, который являлся бы наилучшим одновременно по всем конструктивным параметрам, входящих в него приборов маловероятно. Поэтому задача сводится к нахождению вариантов АК, которые может не являться оптимальными ни по одному из частных критериев, но оказывается наиболее приемлемым для всего множества критериев (компромиссный вариант) [3]. Сложность решения задачи заключается в необходимости учитывать такие проблемы как противоречивость критериев, различия в их размерности и масштабности, не равноценность критериев. Это приводит к необходимости нормализации критериев, введения количественных величин, позволяющих сравнивать критерии различной размерности, учитывать требования максимума и минимума, предпочтения по важности критериев.

Обозначим $f=\{f_{iq(t)}\}$ - множество конструктивных параметров приборов, где $f_{iq(t)}$ - i-й конструктивный параметр q-го прибора t-го типа, $i=1\div D$, D - количество конструктивных параметров, которые будем называть частными критериями. Первые d критериев необходимо максимизировать, остальные $(D-d)$ - минимизировать.

Метод выбора компромиссного варианта предусматривает для уравнивания порядка относительных отклонений от оптимальных значений по всем критериям и приведения их к безразмерной форме, введение функции относительных потерь ω $[f_i(B_c)]$ [1].

$$\omega_i(f_i(B_c)) = \frac{f_i^0 - f_i(B_c)}{f_i^0 - f_i(B_c)_{\min}}, \qquad (2)$$

(при $i = 1,...,d$)

$$\omega_i(f_i(B_c)) = \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0}, \qquad (3)$$

(при $i = d+1,...,D$)

где $f_i(B_c)_{min}$ и $f_i(B_c)_{max}$ - минимальное и максимальное значения i-го критерия, получаемые, если i-й критерий соответственно максимизируется или минимизируется. Из выражений (2) и (3) следует, что функция $\omega_i(f_i(B_c))$ является монотонным преобразованием $f_i(B_c)$ и поэтому множества эффективных вариантов для множеств f и ω совпадают.

Компромиссным решением называется такой квазиоптимальный вариант B^k, который удовлетворяет одновременно D - равенствам.

$$\begin{aligned} \rho_1\omega_1(f_1(B^k)) &= \ldots = \\ &= \rho_i\omega_i(f_i(B^k)) = \ldots = \\ &= \rho_D\omega_D(f_D(B^k)) = k_0 \end{aligned} \qquad (4)$$

где: k_0 - параметр, определяющий степень близости квазиоптимального (компромиссного) варианта оптимальным вариантам по отдельным критериям;

ρ_i - безразмерные весовые коэффициенты, учитывающие предпочтение между критериями множества f, причем

$$\rho_i > 0; \quad \sum_{i=1}^{D} \rho_i = 1 \qquad (5)$$

Если критерии равноценны, $\rho_i = 1/D$ для всех $i = 1,...,D$.

В силу дискретности множества B может не существовать варианта системы, удовлетворяющего равенству (4). В этом случае компромиссное решение состоит в нахождении квазиоптимального варианта, удовлетворяющего неравенствам

$$\rho_i\omega_i(B_c) \le k_0, \quad i = 1,\ldots,D \qquad (6)$$

Чтобы найти такой вариант, будем решать задачу минимизации обобщенного критерия $W(B_c)$, который представляет собой суммарное отклонение от оптимальных значений по всем критериям в соответствии с заданным предпочтением, при выполнении ограничений (6). Математическое представление этой задачи выглядит следующим образом:

$$\min_{B_c \in B} W(B_c) = \min_{B_c \in B} \sum_{i=1}^{d} \rho_i \frac{f_i^0 - f_i(B_c)}{f_i^0 - f_i(B_c)_{\min}} + \sum_{i=d+1}^{D} \rho_i \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0} \qquad (7)$$

при ограничениях

$$f_i(B_c) \ge f_i^* = f_i^0 - k_0 \frac{f_i^0 - f_i(B_c)_{\min}}{\rho_i}, \qquad (8)$$

$i = 1,...,d$

$$f_i(B_c) \le f_i^* = f_i^0 + k_0 \frac{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0}{\rho_i}, \qquad (9)$$

$i = d+1,...,D$

где f_i^* - допустимое значение i-го критерия.

Ограничения взяты в виде нестрогих неравенств, поскольку может вообще не существовать такого варианта, для которого выполняются равенства в ограничениях (8) и (9) одновременно для всех $= 1,...,D$ при любом $0 < k_0 < 1$.

Следующими этапами анализа и поиска наилучшего конструктивного варианта АК являются:

1. Определение для каждого из приведенных в таблице (1) варианта прибора значений частных критериев и построение таблиц значений критериев TK_i

$$TK_i = \begin{vmatrix} f_{i11}, & \cdots & f_{i1(q)}, & \cdots & f_{i1(e)} \\ \cdots & \cdots\ \cdots & & \cdots & \cdots \\ f_{it1}, & \cdots & f_{it(q)}, & \cdots & f_{it(e)} \\ \cdots & \cdots\ \cdots & & \cdots & \cdots \\ f_{iT1}, & \cdots & f_{iT(q)}, & \cdots & f_{iT(e)} \end{vmatrix}$$

где $f_{it(q)}$ - значение i-го критерия для q -го прибора t-го типа, $i = 1 \div D$.

2. Упорядочение элементов в строках таблиц значений критериев ТКi по возрастанию, если критерий f_i минимизируется, и по убыванию, если f_i максимизируется.

3. Определение варианта $B_c(f_i^0)$, оптимизирующего критерий f_i, вычисление значения критерия оптимального варианта по формуле

$$f_i = \sum_{t=i}^{T} f_{it(q)}^0$$

где $f_{it(q)}{}^0$ - минимальное значение i-го критерия для q -го прибора t-го типа, т.е. суммирование элементов первого столбца упорядоченной таблицы TK_i.

4. Определение максимального (наихудшего) варианта $B_c(f_{i\,max})$, и вычисление значения критерия по наихудшему варианту.

$$f_i(B_c)_{\max} = \sum_{t=1}^{T} f^0_{it\max} = \sum_{t=1}^{T} f^0_{iq(e)}.$$

где $f_{it\,max}$ - наихудшее значение i-го критерия q-го прибора t-го типа, т.е. крайние значения в строке упорядоченной таблицы ТК$_i$ -$f_{iq(e)}$

Вычисление $\Delta i = f_i\,(B_c)_{max} - f_i^0$.

5. Определение допустимых значений на АК. Если допустимые значения заданы в ТЗ, то переходим к п. 6, если нет, то к п. 10.

6. Проверка выполнения неравенств

$f_i^0 \le f_i^*$ - если критерий минимизируется

$f_i^0 \ge f_i^*$ - если критерий максимизируется.

Если неравенства не выполняются, то переходим к п. 7 в случае выполнения - к п. 8.

7. Из множества вариантов приборов (1) выбираем по каждому типу следующие по значению критерия (8, 9) варианты приборов и повторяем все с п.1.

8. Определение для последующих вычислений значений ω_i^*, ρ_i, K_0.

$$\omega_i^* = \frac{f_i^* - f_i^0}{f_{i\max} - f_i^0}$$

$$\rho_i\left(f_i^*\right) = \frac{\prod\limits_{q=1,q\ne i}^{D} \omega_q^*}{\sum\limits_{i=1}^{D} \prod\limits_{q=1,q\ne i}^{D} \omega_q^*},$$

$$k_0 = \frac{\prod\limits_{i=1}^{D} \omega_i^*}{\sum\limits_{i=1}^{D} \prod\limits_{q=1,q\ne i}^{D} \omega_q^*}$$

9.Вычисление допустимых значений критериев на приборы по формуле:

$$f_{itq}^* = f_i^* - f_i^0 + f_{itq}^0$$

где: f_i^* - допуск на АК по i-му критерию; f_i^0- значение i-го критерия для оптимального варианта АК, полученного после первого упорядочения таблиц значений критериев; f_{itq}^0- значения критерия q-го прибора, t-го типа, входящего в оптимальный вариант АК.

В дальнейшем (п. 24) допуск f_i^* меняется в зависимости от уменьшения или увеличения K_0, т.е. новому значению K_0 соответствует новое значение f_i^* и для расчета берется последнее значение. После усечения (п. 13) возможно изменение первоначального оптимального варианта f_i^0 , поэтому в дальнейших вычислениях f_{iq}^* берется то значение f_i^0, которое получается после каждого усечения.

10. Вычисление K_0 в случае, когда допуски не заданы. Для определения K_0 формируется таблица (п. 1) значений критериев f_i по оптимальным вариантам и таблица K_{ic} .

Вычисление K_{ic} производится по формуле

$$K_{ic} = \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_{i\max} - f_i^0}$$

Из таблицы " K_{ic} " по min и max выбирается значение K_0 (в строке выбирается max K_{ic} а в столбце - min K_{ic}) Если $K_0 > 0.5$, то для дальнейших вычислений берется = 0,5.

11. Вычисление допустимых значений критериев на АК производится по формуле

$$f_i^* = f_i^0 + \frac{k_0^-}{\rho_i}\Delta i$$

где K_0 = min max K_{ic}, $\Delta i = f_i\,(B_c)_{max} - f_i^0$.

12. Проверка выполнения неравенств:

$f_i^0 \le f_i^*$ - если критерий минимизируется;

$f_i^0 \ge f_i^*$ - если критерий максимизируется.

Если неравенство выполняется, то возвращаемся к п.9, если не выполняется - необходимо генерирование новых вариантов приборов (п. 7).

13. Усечение вариантов подсистем одновременно по всем критериям (п. 9) $f_{itq} \le f_{itq}^*$.

Построение таблиц сопровождающих номеров для всех значений критериев.

14. Проверка условия существования пересечения $B_c \ne 0$. Если пересечение существует, то переходим к п. 15, если не существует, то возвращаемся к п. 7.

15. Упорядочение таблиц значений критериев и проверка изменился ли первоначальный оптимальный вариант АК по данному критерию $f_i^0 \ne f_i^{01}$.

Если f_i^0 изменился, то переходим к п. 16, если не изменился, то к п. 18.

16. Формирование (п.3) и вычисление нового оптимального варианта $B_c(f_i^{01})$ с учетом изменившихся таблиц значений критериев $\{f_i^{01}\}$.

17. Проверка выполнения условия на попадание в допуск новых оптимальных значений f_i^{01} , т.е. $f_i^{01} \le f_i^*$

Если условие выполняется, то возвращаемся к п. 9 и все повторяем до тех пор, пока f_i^{01} не будет меняться, если не выполняется, то возвращаемся к п.8 и повторяем все необходимые пункты.

18. Вычисление общего количества вариантов АК по формуле

$$R = \prod_{t=1}^{T} \sum_{e=1}^{e(t)} V(tq).$$

19. Формирование всех возможных вариантов системы $\{B_c\}$ (п. 14) и вычисление значений критериев $f_i(B_c)$ для каждого варианта.

20. Проверка попадания в допуск одновременно по всем критериям. Если неравенство $f_i\,(B_c) \le f_i^*$ выполняется, переходим к п. 34 если неравенство не удовлетворяется ни по одному варианту АК, то переходим к п. 7.

21. Уменьшение K_0 методом дихотомии.

22. Проверка разности предыдущего и последующего значений K_0 на точность вычислений, заданную величиной

$$|K_0^{z-1} - K_0^z| < \varepsilon$$

где ε - достаточно малая положительная величина, которая задается из условия приемлемого времени решения задачи.

23. PR - элемент, показывающий, какое действие было на последнем шаге - увеличение ($PR = 1$) или уменьшение ($PR = 0$), это признак, необходимый для определения интервала для следующего деления пополам.

24. Вычисление значений допусков $f_i^*(K_0^z)$ по формуле (п. 11) с новым значением K_0^z (п. 21).

25. Проверка выполнения неравенства

$$f_{iz}^{01} \leq f_i^*(K_0^z)$$

Если неравенство не выполняется, то переходим к п. 26, в случае выполнения - к п. 27

26. Увеличение k_0^*.

27. Вычисление допусков на $f_{itq}^*(k_0^*)$ по формуле (п. 9) при новых оптимальных и допустимых значениях критерия (для k_0^*).

28. Усечение вариантов подсистем (типов приборов) одновременно по всем критериям (п.27)

$$f_{itq} \leq f_{itq}^*(k_0^*)$$

Строим таблицы сопровождающих номеров для всех значений критериев.

29. Проверка условия существования пересечения $B_c(z) \neq 0$.

Если пересечение существует, то переходим к п. 30, если не существует, то к п. 26.

30. Упорядочение таблиц значений критериев и проверка изменился ли первоначальный оптимальный вариант по данному критерию $f_i^0 \neq f_i^0(z)$. Если изменился, то переходим к п. 31, если не изменился, то к п.32.

31. Формирование (аналогично п. 3) и вычисление нового оптимального варианта $B_c[f_i^0(z)]$ с учетом изменившихся критериев $\{f_i^0(z)\}$.

32. Вычисление общего количества вариантов АК по формуле (п. 18) и проверка неравенства $N \leq N^*$

Если неравенство выполняется, переходим к п.33, в противном случае - идем на уменьшение k_0^* 33. Построение возможных вариантов АК $\{B_c(z)\}$ (п. 29) и вычисление значений критериев $f_i(B_z)$.

34. Составление переговорного множества из вариантов, удовлетворяющих допустимым значениям одновременно по всем критериям. Вычисление K_{ic} (п. 10) и выбор квазиоптимального варианта, соответствующего значению $K^* = min\ max\ K_{ic}$

35. Проверка на эквивалентность - есть ли варианты с одинаковым значением k_0^*, если такой вариант единственный, то этот вариант есть решение задачи, т.е. квазиоптиальный вариант АК. Если есть эквивалентные варианты, то переходим к п.36.

36. Формирование таблицы относительных отклонений (ТО) для множества оставшихся эквивалентных вариантов $\{B_c^э\}$

$$\omega_{ic} = \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0}$$

$$TO = \begin{vmatrix} \omega_{11} & \cdots & \omega_{1c} & \cdots & \omega_{1N э} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \omega_{i1} & \cdots & \omega_{ic} & \cdots & \omega_{iN э} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \omega_{D1} & \cdots & \omega_{Dc} & \cdots & \omega_{DN э} \end{vmatrix}$$

В таблице строки соответствуют различным критериям, а столбцы - различным эквивалентным вариантам АК $B_c^э$ где $c = 1 + N^э$ - число эквивалентных вариантов.

37. Вычисление по формуле для каждого $B_c^э$ значения обобщенного критерия W_c.

$$W_c = \sum_{i=1}^{D} p_i \frac{f_i(B_c) - f_i^0}{f_i(B_c)_{\max} - f_i^0}$$

Из множества эквивалентных вариантов выбираем те, для которых значения $W_c < W_c^*$, где W_c^* пороговое значение, заданное исходя из технических требований на параметры АК.

После отсева неперспективных вариантов АК для каждого из оставшихся определяются функции соответствия и принадлежности, по максимальному значению последней выбирается приемлемый вариант АК.

Пусть $b(B_c) = \{b_{cj}\}$ - множество параметров c-го АК, где b_{cj} - j-й параметр c-го АК, $j = 1, 2, \ldots, n_c$, n_c - количество параметров c-го АК, тогда функция соответствия имеет следующий вид

$$G(b_{cj}, a_{plj}) = [1 - S(b_{cj}, a_{plj})]. \qquad (10)$$

где $G(b_{cj}, a_{plj})$ - функция соответствия i-го параметра, q-го прибора t-го типа, j-й характеристики, l-й задачи, p-й подпрограммы.

Определим функции близость для j-го параметра c-го АК (b_{cj}) к j-й характеристике l-й задачи p-й подпрограммы (a_{plj}) с помощью близости в соответствии с выражениями:

Для параметров АК, значения которых максимизируются, т.е. чем больше значение параметра АК, тем больше вероятность решения задачи

$$S(b_{cj}, a_{plj}) = \begin{cases} (a_{plj} - b_{cj}) / a_{plj}, & a_{plj} \geq b_{cj} \\ 0 & a_{plj} < b_{cj} \end{cases} \qquad (11)$$

Для параметров АК, значения которых минимизируются, т.е. чем меньше значение параметра АК, тем больше вероятность решения задачи

$$S(b_{cj},a_{plj})=\begin{cases}(b_{cj}-a_{plj})/b_{cj}, & a_{plj}<b_{cj}\\ 0, & a_{plj}\ge b_{cj}\end{cases}\qquad(12)$$

Для параметров АК, значения которых должны попадать в определенный диапазон между нижней $\underline{a}_{plj}$ и верхней $\bar{a}_{plj}$ границами

$$S(b_{cj},a_{plj})=\begin{cases}(b_{cj}-\bar{a}_{plj})/b_{cj}, & \bar{a}_{plj}<b_{cj};\\ 0, & \underline{a}_{plj}\le b_{cj}\le\bar{a}_{plj};\\ (\underline{a}_{plj}-b_{cj})/a_{plj} & \underline{a}_{plj}>b_{cj}\end{cases}\qquad(13)$$

Для случая, когда отсутствуют параметры АК, необходимые для регистрации соответствующих характеристик задач $S(b_{cj},a_{plj})=1$. Функция соответствия G имеет тем большее значение, чем меньше разница между значением измеряемой характеристикой задачи и значением параметра АК. Решение задачи обеспечивается в наибольшей степени, когда функции соответствия всех параметров АК и характеристик задач максимальны.

Чтобы оценить эффективность АК при решении каждой задачи, определим функцию принадлежности параметров c-го АК характеристикам l-й задачи, p-ой подпрограммы

$$F_1(B_c,A_{pl})=\sum_{j=1}^{m(pl)}\rho(a_{plj},A_{pl})\cdot G(b_{cj},a_{plj});\qquad(16)$$
$$\forall p\in 1,h;\ \forall l\in 1,k_p;\ \forall c\in 1,R;$$

Здесь ρ_{ilj} - весовой коэффициент важности j-ой характеристики для l-ой задачи p-ой подпрограммы.

$$\sum_{j=1}^{m(pl)}\rho(a_{plj},A_{pl})=1\ldots\forall j\in\overline{1,m_{pl}}$$

В качестве порогового значения функций принадлежностей можно взять нуль. Если функция принадлежности (16) положительна, будем считать, что задача A_{pl} может быть решена с помощью имеющегося АК, и чем больше ее значение, тем выше качество решения. Наибольшего значения, равного m_{pl}, функция принадлежности (16) достигает при совпадении значений всех параметров аппаратуры и характеристик задач. Это указывает на возможность решения l-ой задачи с помощью выбранного АК и можно считать, что вероятность решения задачи равна единице. Таким образом, отношение

$$p_{pl}^{c}=\frac{F_1(B_c,A_{pl})}{m_{pl}}=\frac{\sum_{j=1}^{m(pl)}\rho(a_{plj},A_{pl})\cdot G(b_{cj},a_{plj})}{m_{pl}}\qquad(17)$$

определяет вероятность решения l-й задачи p-ой подпрограммы с помощью c - го комплекса аппаратуры.

Возможность выполнения научной подпрограммы можно оценить с помощью функции принадлежности такого вида:

$$F_2(B_c,M_p)=\sum_{l=1}^{k_l}\rho(A_{pl},M_p)F_1(B_c,A_{pl})\qquad(18)$$
$$\forall p\in\overline{1,h};$$

где $\rho(Ail,Mi)$ - весовой коэффициент важности задачи A_{il} для подпрограммы M_i, для него тоже должно выполняться соотношение

Соображения аналогичные (17) справедливы и для функции принадлежности (18). При идеальном совпадении значений всех параметров аппаратуры и характеристик всех задач подпрограммы, функция (18) принимает значение, равное $\sum_{l=1}^{kp}m_{pl}$, а вероятность выполнения p-ї подпрограммы может быть вычислена по формуле

$$p_2^{c}=\frac{F_1(B_c,M_p)}{\sum_{l=1}^{k(p)}m_{pl}}=\frac{\sum_{l=1}^{k(p)}\rho(A_{pl},M_p)\cdot F_1(B_c,A_{pl})}{\sum_{l=1}^{k(p)}m_{pl}}\qquad(19)$$
$$\forall p\in\overline{1,h},$$

Возможность выполнения научной программы M можно оценить с помощью функции принадлежности такого вида:

$$F_3(B_c,M)=\sum_{p=1}^{h}\rho(M_p,M)F_2(B_c,M_p)\qquad(20)$$

Вероятность выполнения всей программы с помощью комплекса аппаратуры Bc может быть вычислена по формуле

$$p_3^{c}=\frac{F_3(B_c,M)}{\sum_{p=1}^{h}\sum_{l=1}^{k(p)}m_{pl}}=\frac{\sum_{i=1}^{q}\rho(M_p,M)F_2(B_c,M_p)}{\sum_{p=1}^{h}\sum_{l=1}^{k(p)}m_{pl}}\qquad(21)$$

Выполнив вычисления P_3 для всех вариантов АК по максимальному значению (21) определяется квазиоптимальный вариант АК, для наиболее эффективного решения всего множества задач программы ДЗЗ.

1. Волкович В. Л., Волошин А. Ф. и др. Методы и алгоритмы автоматизированного проектирования сложных систем управления. - Киев, Наукова Думка, 1984. 216 с.
2. Федоровский А. Д. Системный подход при проектировании сложной оптической аппаратуры // Оптико-механическая промышленность. №3. 1980. С. 36-38.
3. Подиновский В. В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. - М.: Наука, - 1982. 328 с.