

ГОССТРОЙ СССР
Центральный
научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный
институт
автоматизированных систем
в строительстве
(ЦНИПИАСС)

Э. П. Григорьев

ТЕОРИЯ
И ПРАКТИКА
МАШИННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОБЪЕКТОВ
СТРОИТЕЛЬСТВА

СТРОИЗДАТ
Москва 1974

5. Математическое моделирование и реализация на ЭЦВМ инвариантного метода проектирования *

В данном пункте рассматривается конкретная математическая модель инвариантного метода проектирования, которая показывает, как в методиках машинного проектирования могут быть использованы наиболее устойчивые закономерности (инварианты), относящиеся к внутренней динамике проектного поиска, а также даются ответы на следующие вопросы (п.1, гл.1):

- а) как стимулировать инициативу поиска прогрессивных решений?
- б) каким образом проектировщик может усилить обоснованность своих решений?
- в) что значит - выбирать наиболее рациональные варианты проектных решений?

Возможность ответить на перечисленные вопросы свидетельствует о том, что предлагаемый метод способствует повышению эффективности творческой деятельности архитектора, является средством (инструментом) в творческом поиске проектировщика, включающем в себя критерии этого поиска.

*Разработка математической модели и ее реализация на ЭЦВМ выполнены О.Г.Тарасовым на основе материалов данной книги под руководством и при участии автора. Данный пункт написан О.Г.Тарасовым.

Прежде чем приступить к изложению математической модели инвариантного метода, кратко напомним некоторые понятия, определения и положения инвариантного метода, который детально рассмотрен в главах I, II данной книги и по мере необходимости введем новые определения.

В настоящей книге принято системное рассмотрение архитектурного проекта. Объект проектирования рассматривается как система, состоящая из трех подсистем:

первая подсистема - "Эксплуатируемая организованность здания" (ЭОЗ);

вторая подсистема - "Организованность компонуемого пространства" (ОКП);

третья подсистема - "Возводимая организованность здания" (ВОЗ).

Каждая система (и, в частности, подсистема) характеризуется определенной сложностью (C). Сложность (C) системы может быть определена как количество системообразующих связей и отношений между элементами (неделимыми единицами) системы.

Напомним следующую группу понятий.

Этап компоновки - первичное понятие в деятельности проектировщика (в конечном счете - любой, конкретный проект объекта), отражающее состояние проектного поиска в данный момент времени.

Проектное решение - совокупность, последовательность этапов компоновки, предложенных архитектором или коллективом архитекторов для решения задачи на проектирование; это совокупное проектное решение, отражающее состояние проектного поиска в целом.

Варианты проектного решения - множество проектных решений задачи на проектирование, предложенных одним коллективом либо разными коллективами архитекторов; это множество в общем случае состоит из нескольких подмножеств проектных решений, предложенных разными авторскими коллективами, а каждое подмножество состоит из нескольких проектных решений, предложенных одним авторским коллективом для решения одной и той же задачи на проектирование.

Вариант проектного решения - элемент множества "варианты проектного решения".

Морфность этапа компоновки. Вследствие системного рассмотрения архитектурного проекта этап компоновки характеризуется сложностями своих трех подсистем:

$$C_{EOZ}; C_{OKP}; C_{BOZ},$$

или в дальнейшем:

$$K1_i \quad K2_i \quad K3_i$$

Морфность (M) этапа компоновки определяется следующим образом;

$$M = C_{ЭОЗ} - (C_{ОКП} + C_{ВОЗ})$$

или в дальнейшем:

$$M_i = | K1_i - K2_i - K3_i | . \quad (2)$$

Цель проектного поиска - приведение подсистем ЭОЗ, ОКП, ВОЗ в такое состояние, чтобы эксплуатируемая организованность здания (ЭОЗ) полностью соответствовала организованности двух других подсистем (ОКП и ВОЗ) в их совокупности, т.е. чтобы выполнялось равенство

$$C_{ЭОЗ} = C_{ОКП} + C_{ВОЗ} \quad (7)$$

или в дальнейшем:

$$K1_i = K2_i + K3_i . \quad (8)$$

Абсолютная ценность этапа компоновки определяется морфностью этапа компоновки как степени отклонения от цели проектного поиска.

Относительная ценность этапа компоновки (относительная эффективность решения) для данного проектного решения определяется следующим образом (п.3, гл.П):

$$O3 = \frac{\Delta M_{max} - \Delta M_{lim}}{\Delta M_{max}} . \quad (6)$$

Условия инвариантности:

а) для любого этапа некоторого проектного решения имеет место соотношение

$$M + \Pi = const , \quad (3)$$

где Π - абсолютная ценность этапа компоновки;

б) для данного проектного решения при движении от этапа с максимальной морфностью к этапу с минимальной морфностью имеет место соотношение

$$\sum_{i=1}^N \Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} = \text{const} = \Delta M_{\max}, \quad (9)$$

где $\Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} = M_{\alpha_{i+1}} - M_{\alpha_i}$ и α_i — номер этапа. (10)

Теперь мы можем приступить к изложению математической модели инвариантного метода.

Решаемая нами задача состоит в оценке проектного решения или выборе лучшего варианта проектного решения. Необходимо помнить о том, что на практике реализуется лишь лучший этап компоновки лучшего проектного решения. Мы должны определить, что значит лучший вариант проектного решения, лучший этап компоновки этого проектного решения, что значит оценить и как оценить проектное решение?

Необходимость оценки совокупного проектного решения обуславливается, например, следующими причинами:

а) прежде чем проектировщик получит конечный этап компоновки, реализуемый на практике, он создаст ряд предварительных этапов компоновки (можно их назвать черновыми набросками конечного этапа), в которых находится ценная информация о возможных изменениях объекта и терять которую, не принимать во внимание неразумно;

б) разработка и развитие проектного варианта требуют времени, определенных материальных затрат и усилий квалифицированных специалистов; наша задача заключается в снижении этих затрат с целью обеспечения достаточной эффективности и нужного качества проектного поиска, ускорения темпов строительства;

в) в результате такого подхода к оценке деятельности проектировщика появляется возможность выявления некоторых закономерностей творчества архитектора; это позволяет переложить формальную часть творчества на ЭВМ, предоставив архитектору неизвестную творческую деятельность.

Рассмотрим теперь вопрос об оценке проектного решения. Основная идея нашего подхода к этой задаче заключается в том, что мы рассматриваем творческую деятельность архитектора как естественно-эволюционный процесс. В процессе этой эволюции, которая представляет собой итеративный процесс, в условиях мутаций (изменений сложностей подсистем) родительский организм (последний этап компоновки в эволюции) воспроизводит

организм-потомок (новый этап компоновки), который обладает большей способностью выживать, т.е. лучшими свойствами по сравнению с родительским организмом [84].

Поэтому последний этап компоновки в эволюции, вобрав в себя опыт предшествующих этапов и обладая лучшими свойствами по сравнению со своими предшественниками, является лучшим этапом компоновки, который должен быть реализован на практике.

Подобное рассмотрение творческой деятельности архитектора, как естественно-эволюционного процесса, позволяет проектировщику усилить обоснованность принятия своих решений.

Таким образом, мы приходим к выводу, что для оценки проектного решения и выбора лучшего этапа компоновки необходимо из предложенного проектного решения получить эволюционную последовательность этапов компоновки.

Введем следующие определения: временнóе проектное решение или временнáя последовательность этапов компоновки – исходное проектное решение, подлежащее оценке; эволюционное проектное решение или эволюционная последовательность этапов компоновки – последовательность этапов компоновки, которая получается из временнóй при рассмотрении процесса проектирования, как естественно-эволюционного процесса.

Тогда задача ставится следующим образом.

Пусть задано проектное решение L , состоящее из n этапов компоновки: L_i ($i = 1, \dots, n$), т.е. имеем

$$L = \{L_1, L_2, \dots, L_i, \dots, L_n\} \quad (11)$$

В соответствии с разделением объекта проектирования на три подсистемы каждый этап компоновки L_i характеризуется тремя параметрами сложности подсистемы:

$$K1_i, K2_i, K3_i,$$

где $K1_i$ – сложность подсистемы ЭОЗ этапа L_i компоновки;

$K2_i$ – сложность подсистемы ОКП этапа компоновки L_i ;

$K3_i$ – сложность подсистемы ВОЗ этапа компоновки L_i .

Причем $K1_i$ является неизменным параметром системы, т.е.

$$K1_i = K1 = \text{const} \quad \forall i = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Таким образом, этап компоновки L_i характеризуется параметрами $K1_i, K2_i, K3_i$, а проектное решение характеризуется набором $(2n+1)$ параметров:

$$K1_i; K2_i; K3_i, \quad i = 1, \dots, n.$$

Эти параметры считаем заданными.

Морфность M_i этапа компоновки L_i вычисляется по формуле

$$M_i = |K1_i - K2_i - K3_i|, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Причем последний этап компоновки L_n искусственно введен в проектное решение — идеальный этап компоновки, т.е. такой этап, морфность которого равна нулю. Итак,

$$M_n = 0. \quad (13)$$

Нам необходимо из заданного временного проектного решения L получить эволюционное проектное решение W .

Предполагаем, во-первых, что эволюция этапов компоновки проектного решения подчинена следующему условию: переходы разрешены только в этапы компоновки с большей ценностью (абсолютной), а при равных ценностях — в более поздние по времени этапы компоновки. Это условие означает, что процесс эволюции идет от худших этапов компоновки с меньшей ценностью к лучшим этапам компоновки с большей ценностью. Используя первое условие инвариантности (3), данное условие можно переформулировать следующим образом: переходы разрешены только в этапы компоновки с меньшей морфностью, а при равных морфностях — в более поздние по времени этапы компоновки.

Предполагаем, во-вторых, что эволюционное проектное решение должно быть таким, чтобы этапы компоновки были расположены в порядке неубывания их ценности или в порядке невозрастания их морфности; в эволюционное проектное решение входили все элементы исходного временного проектного решения, и наоборот. Это условие означает, что каждый элемент исходного временного проектного решения существенен и выбросить его из рассмотрения нельзя.

Несколько преобразуем поставленную задачу и переформулируем ее. У нас есть временная последовательность этапов компоновки L_i и соответствующие им морфности M_i :

$$\left. \begin{array}{c} L_1, \dots, L_i, \dots, L_n \\ M_1, \dots, M_i, \dots, M_n \end{array} \right\} L. \quad (14)$$

Вместо временной последовательности этапов компоновки (14) будем оперировать с эволюционной последовательностью W этапов компоновки из временного проектного решения, в которой этапы

компоновки следуют по убыванию их морфности. Если же морфности равны, то этапы компоновки следуют в соответствии с их расположением по временной последовательности (14):

$$\left. \begin{array}{c} P_1, \dots, P_i, \dots, P_n \\ m_1, \dots, m_i, \dots, m_n \end{array} \right\} W \quad (15)$$

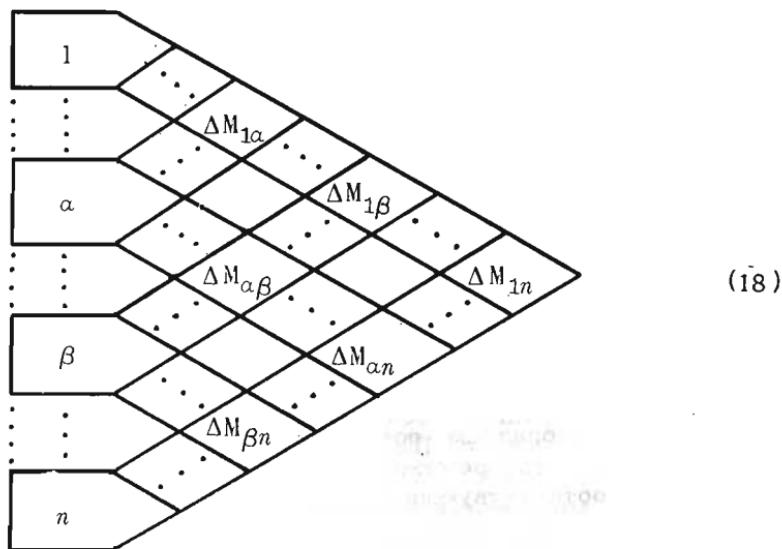
$$\text{Причем } m_\alpha \geq m_\beta \quad \text{если } \alpha < \beta. \quad (16)$$

Для последовательности (15) переходы разрешены из этапа с номером j во все этапы с номером $k > j$.

Пусть $\Delta M_{\alpha\beta}$ - скачок морфности при переходе из этапа с номером α в этап с номером β , причем

$$\Delta M_{\alpha\beta} = m_\alpha - m_\beta, \quad \alpha < \beta. \quad (17)$$

Множество $\{\Delta M_{\alpha\beta}\}$ образует следующую треугольную матрицу:



Элементы $\Delta M_{\alpha\beta}$ ($\alpha < \beta$) обладают следующими свойствами.
Свойство 1:

$$\Delta M_{\alpha\beta} \geq 0. \quad (20)$$

Это свойство следует из неравенства (16).

Свойство 2:

$$\Delta M_{\alpha\beta} < \Delta M_{\alpha\gamma}, \text{ если } \beta < \gamma \quad (20)$$

Это свойство следует из того, что $\beta < \gamma$. Поэтому в силу (16) имеем

$$\begin{aligned} -m_\beta &< -m_\gamma \Rightarrow m_\alpha - m_\beta \leq \\ &\leq m_\alpha - m_\gamma = > \Delta M_{\alpha\beta} < \Delta M_{\alpha\gamma} \text{ и т.д.} \end{aligned} \quad (21)$$

Свойство 3:

$$\Delta M_{\alpha\gamma} < \Delta M_{\beta\gamma}, \text{ если } \alpha > \beta. \quad (22)$$

Это свойство доказывается аналогично свойству (21).

Нам необходимо найти последовательность этапов компоновки, которая начинается этапом P_1 , заканчивается этапом P_n и удовлетворяет сформулированным ранее условиям. При этом выполняется второе условие инвариантности:

$$\sum_{i=1}^{n-1} \Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} = \Delta M_{1n} = \Delta M_{\max} = \text{const.} \quad (23)$$

Итак, задача заключается в определении натуральных α_i ($i = 1, \dots, n$), которые удовлетворяют следующим условиям:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{n-1} \Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} &= \Delta M_{1n}; \\ \alpha_1 &= 1, \quad \alpha_n = n; \\ \alpha_i &< \alpha_{i+1}, \quad i = 1, \dots, n-1; \\ \{\alpha_i \mid i = 1, \dots, n\} &= \{1, \dots, n\}. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Это и есть математическая постановка задачи. Докажем следующую теорему: решение сформулированной задачи существует и оно единствено. Этим решением является последовательность (15).

Докажем существование решения. Путем проверки убеждаемся в том, что последовательность (15) удовлетворяет условиям задачи. Таким образом, решение существует.

Докажем, что оно единствено. Доказательство проводится методом от противного. Предположим, что существует другое

решение сформулированной задачи, не совпадающее с решением (15). Это означает, что в этом новом решении найдется такой этап с номером α , из которого переход происходит не в этап с номером $\alpha+1$, а в некоторый этап с номером $\beta > \alpha$. Так как $\beta > \alpha$ и $\beta \neq \alpha+1$, то существует такой номер y , что $\alpha < y < \beta$. Так как переходы разрешены в этапы с большими номерами, то попав в этап с номером β , мы никогда не попадаем в этап с номером y , т.е. этапа с номером y не будет в эволюционной последовательности. Это противоречит условию задачи — все этапы временного проектного решения должны входить в эволюционное проектное решение. Такое противоречие и доказывает единственность решения. Теорема доказана.

Итак, в терминах α_i ($i = 1, \dots, n$) мы получили единственное решение:

$$\alpha_i = i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (25)$$

При этом скачок на i -ом переходе равен

$$\Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} = \Delta M_{i, i+1}. \quad (26)$$

ΔM_{\lim} вычисляется по формуле

$$\Delta M_{\lim} = \max_{1 \leq i \leq n-1} \Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} = \max_{1 \leq i \leq n-1} \Delta M_{i, i+1}, \quad (27)$$

a ΔM_{\max} — по формуле

$$\Delta M_{\max} = \Delta M_{1n} = m_1. \quad (28)$$

Рассмотрим ряд следствий из теоремы.

Следствие 1:

$$\Delta M_{\alpha, \alpha+1} = \min_{\beta} \{ \Delta M_{\alpha \beta} \} \quad \forall \alpha = 1, \dots, n-1. \quad (29)$$

Это означает, что найденное эволюционное проектное решение обуславливает минимально возможное сокращение структурных единиц на каждом переходе. Это следствие хорошо согласуется со стремлением архитектора минимизировать возможные сокращения структурных единиц при восхождении от максимальной морфности к максимальной ценности и тем самым предпринимать ходы проектного поиска как осторожные шаги по незнакомой местности при наличии опасения о максимальных потерях и возможном риске.

Доказательство следствия 1 вытекает из свойства 2 элементов матрицы $\{\Delta M_{\alpha_i \beta}\}$.

Следствие 2:

$$\begin{aligned} (\Delta M_{lim})_0 &= \min \{ \Delta M_{lim} \}; \\ \sum_{i=1}^{n_1 \leq n} \Delta M_{\alpha_i \alpha_{i+1}} &= \Delta M_{1n}, \end{aligned} \quad (30)$$

где $(\Delta M_{lim})_0$ – предельное сокращение морфности в эволюционном проектном решении, а ΔM_{lim} – предельное сокращение морфности в проектных решениях, где могут быть пропущены некоторые этапы компоновки временного проектного решения (т.е. число переходов в таких проектных решениях $n_1 \leq n$).

Доказательство следствия 2:

$$\left. \begin{aligned} (\Delta M_{lim})_0 &= \max_{1 \leq j \leq n-1} \{ \Delta M_{j, j+1} \}; \\ \sum_{j=1}^{n-1} \Delta M_{j, j+1} &= \Delta M_{1n}; \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta M_{lim} &= \max_{1 \leq i \leq n_1-1} \{ \Delta M_{i, i+1} \}; \\ \sum_{j=1}^{n_1-1} \Delta M_{i, i+1} &= \Delta M_{1n}, \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

Соотношения (32) имеют место в любом проектном решении, где могут быть пропущены некоторые этапы ($n_i \leq n$). Из всего этого следует, что

$$\Delta M_{i,i+1} = \sum - \text{ некоторых } \Delta M_{j,j+1}. \quad (33)$$

Причем эта сумма, в частности, может состоять и из одного элемента. Итак,

$\forall j=1, \dots, n_1-1 ; \quad \exists i (i=1, \dots, n-1)$ такое, что в силу соотношения (33) имеет место

$$\Delta M_{i,i+1} > \Delta M_{j,j+1}. \quad (34)$$

И с учетом (31), (32), (34) получаем

$$(\Delta M_{\lim})_0 \leq \Delta M_{\lim}. \quad (35)$$

При этом равенство имеет место, если $n_1 = n$. Итак, соотношение (30) доказано.

Следствие 3:

$$\begin{aligned} (\text{ОЭ})_0 &= \max \{ \text{ОЭ} \} ; \\ n_1 &\leq n \\ \sum_{i=1}^{\infty} \Delta M_{i,i+1} &= \Delta M_{1n} ; \end{aligned} \quad (36)$$

$$(\text{ОЭ})_0 = \frac{\Delta M_{\max} - (\Delta M_{\lim})_0}{\Delta M_{\max}}, \quad (37)$$

где ОЭ – коэффициент относительной эффективности, равный

$$\text{ОЭ} = \frac{\Delta M_{\max} - \Delta M_{\lim}}{\Delta M_{\max}} = . \quad (6)$$

Следствие 3 означает, что коэффициент относительной эффективности эволюционного проектного решения максимален по сравнению с коэффициентами относительной эффективности других проектных решений, в которых могут быть пропущены этапы компоновки временного проектного решения. Таким образом, наше предположение о существенности каждого этапа компоновки временного проектного решения подтвердилось, так как в силу следствия 3 игнорирование хотя бы одного (любого) этапа компоновки приводит к убыванию коэффициента относительной эффективности.

Следствие 3 следует из следствия 2 и формул (6), (37).

Для того чтобы определить, что значит лучший этап компоновки, лучший вариант проектного решения, введем следующие понятия.

Завершающий этап компоновки проектного решения – это предпоследний (или последний перед идеальным) этап компоновки эволюционного проектного решения, построенного по исходному проектному решению.

“Завершенность варианта проектного решения – значение ценности или, в силу первого условия инвариантности, значение морфности завершающего этапа компоновки данного варианта проектного решения. Например, завершенность варианта проектного решения мануфактурного центра, рассматриваемого в данной главе, равна 1.

Вариант L_1 проектного решения более завершен, чем вариант L_2 проектного решения, если ценность варианта L_1 больше ценности варианта L_2 , или морфность варианта L_1 меньше морфности варианта L_2 . В дальнейшем под завершенностью будем понимать завершенность в смысле морфности: большую завершенность варианта L_1 по сравнению с вариантом L_2 будем обозначать так:

$$L_1 \succ L_2 \quad (38)$$

Совпадение завершенностей вариантов L_1 и L_2 будем обозначать так:

$$L_1 \overline{\succ} L_2 \quad (39)$$

Полнота варианта проектного решения, зависящая от количества этапов компоновки варианта, определяется количе-

ственno значением коэффициента относительной эффективности варианта проектного решения. Как видно из доказательств следствий 2 и 3, если заданы два варианта проектных решений L_1 и L_2 ($n_1 > n_2$), где n_1 и n_2 – количество этапов компоновки вариантов L_1 и L_2 , то $(\Omega\Omega)_1 > (\Omega\Omega)_2$, если все этапы компоновки варианта L_2 являются этапами компоновки варианта L_1 .

Такое определение полноты проектного решения оправдывается также следующим. Рассмотрим некоторое проектное решение L и соответствующее ему эволюционное проектное решение W (15):

$$\left. \begin{array}{c} P_1, \dots, P_i, \dots, P_n \\ m_1, \dots, m_i, \dots, m_n \end{array} \right\} W \quad (15)$$

причем морфности m_i ($i = 1, \dots, n$) таковы, что

что

$$\Delta M_{i,i+1} = 0 \text{ V } 1, \quad \text{т.е. } 0 \text{ или } 1 \quad (40)$$

К такому эволюционному проектному решению W невозможно добавить этап компоновки с морфностью M , которая не совпадала бы с какой-либо морфностью m_i , т.е. такое решение наиболее полно в том смысле, что добавление новых этапов не порождает новых значений морфности. Тогда для W имеем из (40):

$$\Delta M_{\lim} = \max_{1 \leq i \leq n-1} \{ \Delta M_{i,i+1} \} = 1. \quad (41)$$

Для проектного решения W коэффициент относительной эффективности, или его полнота, имеет наибольшее возможное значение:

$$\Omega\Omega = \frac{\Delta M_{\max} - \Delta M_{\lim}}{\Delta M_{\max}} = \frac{m_1 - 1}{m_1} = 1 - \frac{1}{m_1}. \quad (42)$$

Вариант проектного решения L_1 будем называть полнее варианта проектного решения L_2 , если $(\Omega\Omega)_1 > (\Omega\Omega)_2$, и обозначать так:

$$L_1 \triangleright L_2 \quad (43)$$

Если полнота решения L_1 совпадает с полнотой решения L_2 , то это будем обозначать так

$$L_1 \overline{\triangleright} L_2 \quad (44)$$

Вариант проектного решения будем называть полностью завершенным, если морфность завершающего этапа этого проектного решения равна 1.

В соответствии с идеей эволюционного рассмотрения проектного решения лучшим этапом компоновки проектного решения является завершающий этап. Если некоторые критерии, по которым отбирают лучший этап компоновки, не отражены в системном подходе к объекту проектирования, то лучшим этапом компоновки, который будет реализован, может быть и не завершающий этап. В этом случае нужно неучтенные требования ввести в системное рассмотрение либо в поиске лучшего этапа наряду с завершающим этапом рассматривать близкие к нему по морфности этапы компоновки с учетом требований, не включенных в системный подход.

Теперь ответим на вопрос, что значит выбрать лучший вариант проектного решения из заданных вариантов.

Ответ на этот вопрос имеет двухуровневую иерархическую структуру, а именно: лучшим вариантом проектного решения будет тот, который завершен.

При наличии нескольких одинаково завершенных вариантов лучшим является более полный вариант.

При наличии нескольких одинаково полных вариантов для решения вопроса о лучшем варианте необходимо привлекать неучтенные критерии либо представлять более полные варианты проектного решения.

Итак, если задано N вариантов проектных решений L_i ($i=1, \dots, N$), каждый из которых состоит из n_i ($i=1, \dots, N$) этапов компоновки L_{ij} ($j=1, \dots, n_i$), т.е.

L_1	L_2	L_i	L_N	
L_{11}	L_{21}		L_{i1}		L_{N1}	
⋮	⋮		⋮		⋮	
⋮	⋮	⋮	⋮	
L_{1n_1}	⋮		⋮		⋮	
⋮	⋮		⋮		⋮	
	L_{2n_2}		L_{in_i}		L_{Nn_N}	

(45)

то лучшим будет такой вариант L_{i_0} , который удовлетворяет условиям:

$$1. L_{i_0} > L_i, \forall i, i=1, \dots, N; i \neq i_0 \quad (46)$$

если $\exists \alpha_j, j=1, \dots, k$ такие, что

$$L_{i_0} \neq L_{\alpha_j}, \forall j=1, \dots, k, \text{ то,} \quad (47)$$

$$2. L_{i_0} \leq L_{\alpha_j}, \forall j=1, \dots, k. \quad (48)$$

Объект проектирования можно рассматривать с точки зрения различных уровней детализации компонуемого пространства. Это соответствует различным сложностям ЭОЗ и приводит к появлению нескольких вариантов проектного решения, тогда:

а) в соответствии с нашей методикой выбор наилучшего варианта проектного решения и наилучшего этапа компоновки связан с самой идеей системного подхода, так как слишком грубая детализация малоинформативна для принятия адекватного решения, а слишком мелкая приносит массу ненужных подробностей для принятия решения; нужно, очевидно, найти их синтез;

б) данная модель позволяет рассматривать достаточно большую систему вариантов проектных решений, получаемых в результате рассмотрения объекта проектирования с точки зрения различных уровней детализации. При этом существует гипотеза, согласно которой лучшее решение обладает относительной устойчивостью по отношению к уровням детализации рассматриваемых вариантов проектных решений. Этую гипотезу подтверждает применяемый в архитектурной практике метод экспертных оценок, позволяющий получить правильную оценку несмотря на использование экспертами шкал оценок различной крупности.

Ответим теперь на вопрос: как стимулировать творческий поиск архитектора?

Пусть архитектор, получив задание на проектирование, представил некоторое проектное решение. Зададим требуемый уровень S завершенности проектного решения ($S \geq 1$) и требуемый уровень K полноты проектного решения ($K < 1$). Тогда имеет место следующий алгоритм:

$$1. M_{33} \leq S, \quad (49)$$

где M_{33} - морфность завершающего этапа компоновки проектного решения.

Если это так, то следует перейти к п.3., иначе - к п.2.

2. $M_{33} > S$; поэтому архитектор должен добавлять новые этапы до тех пор, пока не станет выполняться условие $M_{33} \leq S$.

Причем наш метод позволяет направлять творческий поиск архитектора в решении поставленной задачи: если архитектор представил некоторый новый этап компоновки, морфность которого больше M_{33} , то, согласно нашей методике, мы говорим, что решение ищется не в нужном направлении. В этой ситуации архитектор строит этапы компоновки, исходя из каких-то новых соображений. Он делает новую попытку. Этот процесс указания архитектору, в нужном ли направлении он работает, будет продолжаться до тех пор, пока архитектор не нащупает направление поиска, дающее этап компоновки, морфность которого меньше M_{33} . Теперь завершающим этапом будет этот новый этап компоновки; если по-прежнему выполняется соотношение $M_{33} > S$, то архитектор продолжает добавлять новые этапы компоновки по описанному методу до тех пор, пока не станет выполнятся условие $M_{33} \leq S$.

3. $O3 > K$; если это так, то следует перейти к п.5, иначе - к п.4.

4. $O3 < K$, поэтому архитектор должен добавлять новые этапы компоновки до тех пор, пока не станет выполняться условие $O3 > K$. Причем наш метод позволяет направлять творческий поиск архитектора в решении данной задачи:

$$O3 = \frac{\Delta M_{\max} - \Delta M_{\lim}}{\Delta M_{\max}}, \quad (6)$$

$$\text{а } \Delta M_{\lim} = \max_{j \leq i \leq n} \{ \Delta M_{i, i+1} \} \quad (50)$$

и пусть этот max достигается при $i = k$, т.е.

$$\Delta M_{\lim} = \Delta M_{k, k+1} = m_k - m_{k+1} \quad (51)$$

Если архитектор представил новый этап компоновки, морфность M которого не удовлетворяет условию

$$m_{k+1} < M < m_k, \quad (52)$$

то поиск должен быть продолжен, согласно позиции 2, до тех пор, пока архитектор не нащупает направление поиска, дающее этап компоновки, морфность которого удовлетворяет соотноше-

нию (52). При этом значение ΔM_{lim} уменьшится, а значение O_3 увеличится; и если по-прежнему выполняется соотношение $O_3 < K$, то архитектор продолжает новые этапы компоновки по вышеописанному алгоритму до тех пор, пока не станет выполняться условие $O_3 \geq K$.

5. Проектное решение удовлетворяет критериям завершенности и полноты по заданным их уровням, поэтому процесс проектирования можно считать законченным.

В рассмотренной математической постановке инвариантный метод проектирования был смоделирован на ЭЦВМ "БЭСМ-6".

Общая блок-схема алгоритма приведена в табл.1 (стр.138).

Ниже приведен текст программы на языке Фортран.

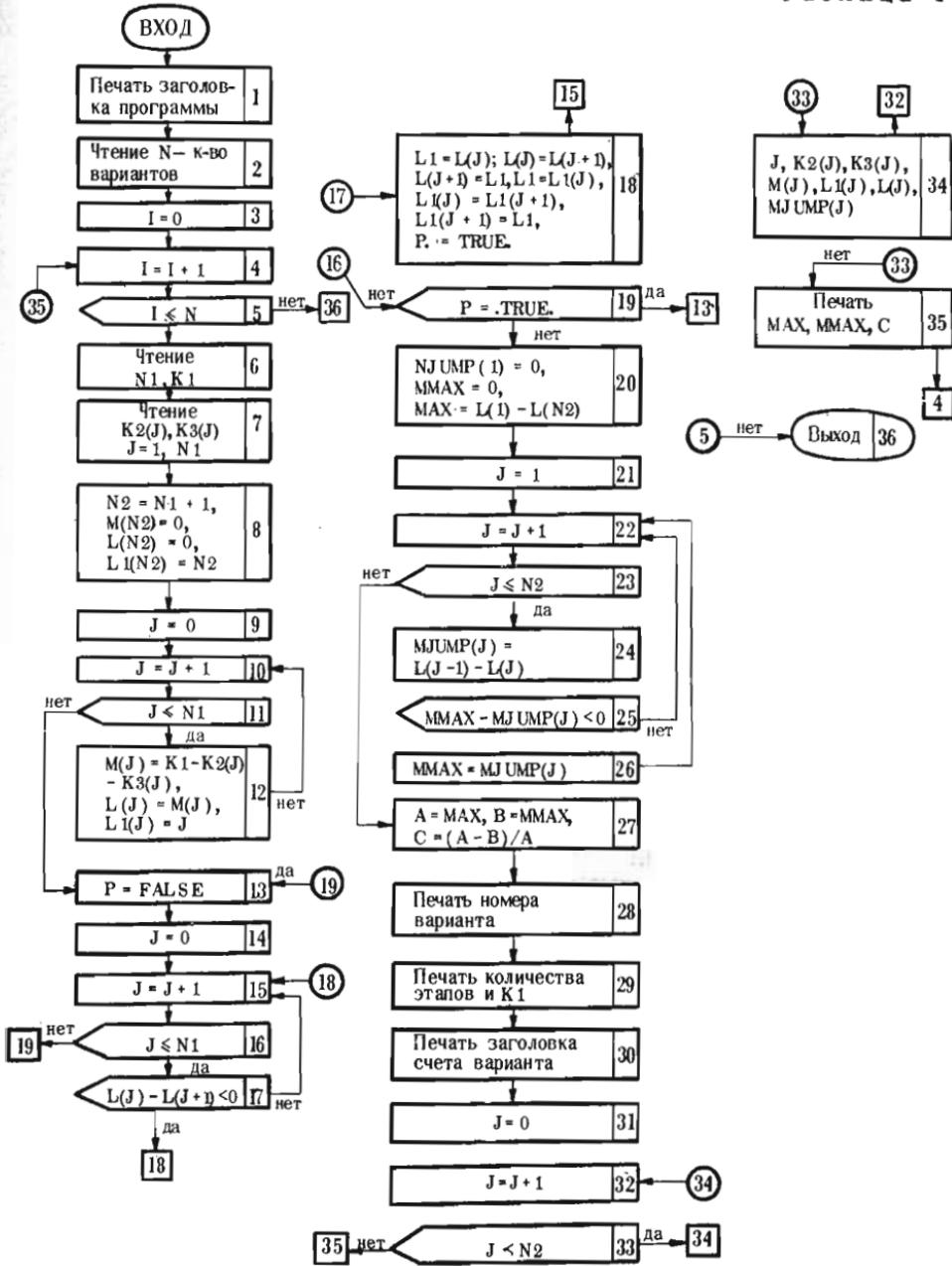
```
PROGRAM ARCHIO
DIMENSION K2(20), K3(20), M(20), L(20), MJUMP(20), L1(20)
LOGICAL P
PRINT 20
20 FORMAT (11 4IX, 38HINVARIANT METHOD IN
           ARCHITECTURE. //38X, 45HANALYSIS PROJECT'S
           VERSIONS OF SOLUTIONS).
READ 1,N
1 FORMAT (I4)
DO 2 I = 1,N
      READ 3, N1, K1
3 FORMAT (2I 4)
      READ 4, (K2(J), J = 1, N1)
4 FORMAT (15I 4)
      READ 4, (K3(J), J = 1, N1)
      N2 = N1 + 1
      M(N2) = 0
      L(N2) = 0 $ L1(N2) = N2
      DO 6 J = 1, N1
          M(J) = K1 - K2(J) - K3(J)
6       L(J) = M(J) $ L1(J) = J
7       P = . FALSE.
      DO 8 J = 1, N1
          IF (L(J) - L(J+1)) 9, 10, 10
9       L1 = L(J)
          L(J) = L(J+1)
```

```
L(J+1) = L1
L1 = L1(J)
L1(J) = L1(J+1)
L1(J+1) = L1
P = .TRUE.

10 CONTINUE
8 CONTINUE
IF (P) GO TO 7
MJUMP(1) = Ø
MMAX = Ø
MAX = L(1) - L(N2)
DO 11 J = 2,N2
MJUMP(J) = L(J-1) - L(J)
IF (MMAX = MJUMP(J)) 12, 13, 13
12 MMAX = MJUMP(J)
13 CONTINUE
11 CONTINUE
A = MAX
B = MMAX
C = (A - B)/A
PRINT 14, I
14 FORMAT (/55, 9H VERSION, I4)
PRINT 15, N1, K1
15 FORMAT (// 15X, 25H NUMBER OF STAGES N1 = , I4, 30X,
          18HSUBSISTEM 1 K1 = , I4)
PRINT 16
16 FORMAT (// 10X, 16 HSUBSISTEM 2 - K2, 10X, 16 HSUBSISTEM 3
          - K3, 10X, 11HMORFNOST M, 1 10X, 12HEVOLUTION L,
          10X, 4HJUMP)
DO 17 J = 1,N2
17 PRINT 18, J, K2(J), K3(J), M(J), L1(J), L(J), MJUMP(J)
18 FORMAT (4X, 14, 7X, I4, 22X, I4, 20X, I4, 12X, I4, 1X, I4, 14X, I4)
PRINT 19, MAX, MMAX, C
19 FORMAT (// 20X, 6H MAX = , I4, 30X, 7H MMAX = , I4, 20X,
          4HIC = , F9.7)
2 CONTINUE
END
```

БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМА

Таблица 1



Были просчитаны два типа задач; результаты счета отражены в табл.2 и 3. В табл.2 отражены результаты счета экспертной задачи, т.е. выбора наилучшего проектного решения из заданной серии вариантов проектных решений. Вариант 2 соответствует

Таблица 2

Инвариантный метод проектирования
Анализ вариантов проектных решений

Вариант 1

$N = 4$	$K_1 = 24$				
Θ	K_2	K_3	M	W	ΔM
(1)	15	5	4	(4) 11	-
(2)	9	11	4	(1) 4	7 (lim)
(3)	15	8	1	(2) 4	0
(4)	8	5	11	(3) 1	3
(5)	-	-	0	(5) 0	1

$\Delta M_{max} = 11; \Delta M_{lim} = 7;$
 $M_{33} = 1; O3 = 0,36$

Вариант 2

$N = 5$	$K_1 = 32$				
Θ	K_2	K_3	M	W	ΔM
(1)	18	2	12	(2) 18	-
(2)	9	5	18	(1) 12	6
(3)	18	2	12	(3) 12	0
(4)	22	9	1	(5) 2	11 (lim)
(5)	22	8	2	(4) 1	1
(6)	-	-	0	(6) 0	1

$\Delta M_{max} = 18; \Delta M_{lim} = 11;$
 $M_{33} = 1; O3 = 0,39$

Вариант 3

 $N = 7$ $K_1 = 30$

Θ	K_2	K_3	M	W	ΔM
(1)	17	9	4	(6) 17	-
(2)	10	5	15	(2) 15	2
(3)	21	8	6	(3) 6	9 (lim)
(4)	16	8	6	(4) 6	0
(5)	24	2	4	(7) 6	0
(6)	9	14	17	(1) 4	2
(7)	13	11	6	(5) 4	0
(8)	-	-	0	(8) 0	4

$\Delta M_{\max} = 17; \quad \Delta M_{\lim} = 9; \quad M_{3\Theta} = 4;$
 $O\Theta = 0,47$

Лучшим является вариант 2, поскольку его завершенность $M_{3\Theta} = 1$ наименьшая. По сравнению с вариантом 1, имеющим такую же завершенность, вариант 2 имеет наибольшую полноту $O\Theta = 0,39 > 0,36$.

рассмотренной в данной книге задаче о постройке мануфактурного центра. На практике был признан лучшим этап 5, а не завершающий этап 4, так как в нашем примере рассмотрение велось на уровне проектирования здания, а не генерального плана участка. Авторы проекта принимали фактическое решение, исходя из соображений удобства планировки генерального плана, что условно было опущено в нашем примере (см. рис. 30, 33).

В табл.3 отражены результаты стимулирования творчества архитектора в процессе поиска проектного решения с использованием ЭЦВМ (стр. 141).

Требуемый уровень завершенности S и требуемый уровень полноты K заданы.

Таблица 3

Инвариантный метод проектирования
 Стимулирование творческого поиска архитектора
 $(S = 1, K = 0,42)$

Вариант 1

 $N = 3$ $K_1 = 32$

Θ	K_2	K_3	M	W	ΔM
(1)	18	2	12	(2) 18	-
(2)	9	5	18	(1) 12	6
(3)	22	9	1	(3) 1	11 (lim)
(4)	-	-	0	(4) 0	1

$\Delta M_{\max} = 18; \Delta M_{\text{lim}} = 11; M_{39} = 1;$
 $O\Theta = 0,39; M_{39} = S; O\Theta < K$

Вариант 2

 $N = 4$ $K_1 = 32$

Θ	K_2	K_3	M	W	ΔM
(1)	18	2	12	(2) 18	-
(2)	9	5	18	(1) 12	6
(3)	22	9	1	(4) 12	0
(4)	18	2	12	(3) 1	11 (lim)
(5)	-	-	0	(5) 0	1

$\Delta M_{\max} = 18; \Delta M_{\text{lim}} = 11$
 $M_{39} = 1; O\Theta = 39; O\Theta < K$

Вариант 3

$N = 5$

$K1 = 32$

Θ	$K2$	$K3$	M	W	ΔM
(1)	18	2	12	(2) 18	-
(2)	9	5	18	(1) 12	6
(3)	22	9	1	(4) 12	0
(4)	18	2	12	(5) 2	10 (\lim)
(5)	22	8	2	(3) 1	1
(6)	-	-	0	(6) 0	1

$$\Delta M_{\max} = 18; \quad \Delta M_{\lim} = 10; \quad M = 2;$$

$$1 < M < 12; \quad O3 = 0,44; \quad O3 > K$$

Вариант 1 удовлетворяет требованию по уровню завершенности, так как $M_{39} = 1$, но не удовлетворяет требованию полноты, так как $O3 = 0,39 < 0,42$.

Архитектор предлагает новый этап, что дает вариант 2. Поскольку уровень завершенности достигнут и не может возрасти с добавлением новых этапов, то проверяют полноту варианта. Добавление нового этапа не изменило ΔM_{\lim} , поэтому значение полноты также не изменилось. Это означает, что архитектор работает не в эффективном направлении. Он меняет направление поиска, переосмысливая объект проектирования, и предлагает новый этап, что дает вариант 3. Уменьшение ΔM_{\lim} говорит о возрастании полноты варианта. Она равна $O3 = 0,44 > 0,42$, т.е. требуемый уровень полноты достигнут, процесс проектирования можно считать законченным.

Таким образом, рассмотренная математическая модель инвариантного метода проектирования дает в придачу к ЭЦВМ метод, который помогает проектировщику действовать в сложной ситуации и не ограничивает его инициативу, а наоборот, способствует новаторству и успеху творческого поиска, повышая тем самым эффективность проектной деятельности архитектора.