

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ И ДОПУСКОВ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ ЗДАНИЙ НА ЭВМ

А. КРАУТЕР—Б. МАРКУШ

Институт Геодезии, Кафедра Общей Геодезии Будапештского Технического Университета

(Поступило: 1 октября 1974 г.)

Представлено: д-р П. Биро

## 1. Некоторые технические вопросы монтажа металло-стеклянных панелей при облицовке зданий

В наши дни — как признак современного строительства — фасады декоративных зданий все чаще строятся с применением металло-стеклянных панелей. Такой вид строительства распространяется не только из-за эстетичности. Эти облицовочные панели монтируются быстро, кроме того они изготовлены из отечественного сырья (катанного алюминия и стекла) и, наконец, в них выражается в некоторой степени сближение отечественного строительства с мировым стандартом.

Однако сборка облицовочных панелей представляет собой серьезную техническую задачу. Самая большая трудность заключается в том, что изготовленные с точностью в несколько миллиметров облицовочные панели прикреплены к железобетонному каркасу, имеющему неточность в несколько сантиметров. Поэтому понятно старание архитекторов свести по возможности к минимуму площадь соприкосновения каркаса зданий с облицовочными панелями. Строительные ошибки каркаса можно выравнять с помощью сборочного механизма, юстируемого обычно в трех направлениях. В то же время, в начале сборки облицовочных панелей остается открытым вопрос: имеет ли конструкция сборочных механизмов достаточно широкие пределы юстировки при неизвестных строительных ошибках данного сооружения, можно ли с их помощью выравнять наибольшие строительные неточности.

Кафедре Общей Геодезии Геодезического Института было поручено наблюдение за строительством административных зданий организаций внешней торговли МЕТАЛЛИМПЭКС-КОНЗУМЭКС, строящихся в районе Варошлигет (городской сад). В заказе большое внимание было уделено определению неточностей постройки каркаса по периметру ярусов, поскольку эти неточности играют основную роль при монтаже облицовочных панелей.

В сущности, здание МЕТАЛЛИМПЭКС-КОНЗУМЭКС — это два высотных здания, поднимающиеся над трехъярусным фундаментальным сооружением.

Одно из них, будущее здание МЕТАЛЛИМПЭКС (здание «М») монтируется из готовых железобетонных колонн в 11 ярусов, а другое — здание КОНЗУМЭКС (здание «К»), семиярусное, аналогичной конструкции. Запланированное превышение ярусов — 3 м, каркас состоит из колонн, размещенных в узловых точках квадратной сетки  $6 \times 6$  м, расстояние между крайними колоннами 24 м. Имеется консоль в 1,5 м, таким образом каждый ярус представляет собой квадрат  $27 \times 27$  м, с радиусом округления в 1,5 м. Каждый фасад обоих зданий строится из облицовочных панелей. В процессе определения строительных ошибок многотысячные данные мы попытались обрабатывать на ЭВМ. Перед собой ставили задачу найти оптимальные размеры и положение прямоугольной сетки, при которых отклонения из-за неточности постройки станут минимальными.

## 2. Геодезическая формулировка задачи

Вертикальные направляющие ребра и горизонтальные края металлических панелей составляют прямоугольную сетку на каждом фасаде, которая при безошибочном строительстве точно накладывается на осевую линию фасадных плоскостей крайних колонн и на некоторую горизонтальную линию периметра ярусов (линия горизонтального края панелей, в зависимости от конструкции, может пройти и параллельно периметру яруса, на некотором, заранее заданном расстоянии).

Вследствие присутствия данной технологии недостатков, безошибочный монтаж невозможен.

Задача сводится к отыскиванию оптимального варианта (минимума): нужно найти параметры прямоугольной сетки, при которой невязки, обусловленные ошибками строительства, стремятся к минимуму.

Перед нами стоит общеизвестная в геодезии задача уравнивательных вычислений. Итак, находим такие значения положения и размеров панелей, при которых сумма квадратов поправок (отклонений) после уравнивания будет минимальной, то есть  $[vv] = \text{мин}$ .

Перед детальным описанием решения задачи отметим, что вычисление можно разделить на две части. Первая из них, это определение горизонтального размера сетки и одного по каждому фасаду данного, характеризующего её положение. При решении этой задачи необходимо определить отклонения от вертикали осевой линии фасадной стороны крайних колонн, а также отклонения от проектного межосевых расстояний остальных колонн. Определение одного данного по положению сетки по каждому фасаду вытекает из конструктивной особенности, так как четыре фасада здания соединяются округленными на углах панелями, значит у соседних фасадов нет общей линии пересечения, которая создавала бы принудительное условие объединения горизонтальных размеров.

Вторая часть задачи — определение вертикального размера искомой сетки и одного по каждому зданию (значит не по фасаду) данного, характеризующего её положение. В этом случае необходимо определить отклонения краевой линии каждого яруса от горизонтали и отклонения от проектного межъярусных расстояний. Необходимость определения одного, общего для всех четырех фасадов, данного положения обусловлена непрерывной горизонтальной линией соединения фасадов округленными панелями.

Рассмотрим вначале способ определения оптимального горизонтального размера сетки и данного по её положению. Прежде всего необходимо было определить положение, искаженное ошибками строительства. Из возможных вариантов мы выбрали следующее: на одном из ярусов создали две вертикали, проходящие через отмеченные точки крайних колонн, а на остальных ярусах положения отмеренных осевых точек вертикального ряда колонн определили при помощи созданной вертикали.

При этом предположили, что межъярусный отрезок осевой линии фасадной плоскости колонн с достаточным приближением совпадает с проходящей через отмеченную осевую точку вертикалью. Такое предположение является целесообразным со стороны измерений и вычислений, а с другой стороны, на основе полученного при строительстве опыта оно является допустимым. Таким образом определены отклонения от вертикали межъярусных отрезков осевой линии крайних колонн. Положение смежных колонн было определено линейными измерениями между крайними колоннами.

На основе рис. 1 можно составить уравнения поправок. Ось абсцисс совпадает с осевым отрезком одной из колонн (точнее, проходит вертикально через осевую точку). На рис. 1 показали схему произвольного (с порядковым

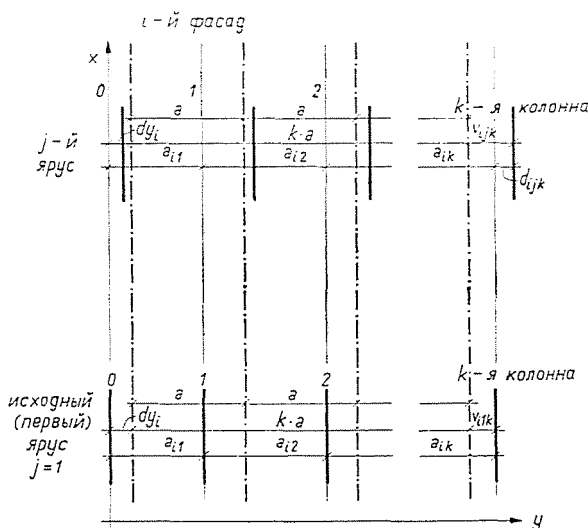


Рис. 1

номером  $i$ ) фасада здания. Толстым отрезком изображены осевые отрезки колонн. Для простоты они на разных ярусах вертикальны и параллельны друг другу. На самом деле, для уменьшения времени наблюдений мы определили положения только одной осевой точки каждой колонны. Вышеупомянутое приближение допускается в силу того, что нам были известны положения лишь одной точки осевых отрезков.

Вертикальные направляющие ребра, с оптимальными горизонтальными расстояниями и положением, изображены штрих-пунктирной линией.

Напишем уравнение для  $k$ -й колонны первого яруса ( $j = 1$ ),  $i$ -го фасада:

$$v_{i,1,k} = [a_{i,k}] - k \cdot a - dy_i \quad (1)$$

где  $[a_{i,k}]$  — сумма линейных размеров от 0 до  $k$ -й колонны,  $a$  — оптимальный размер горизонтальной сетки,  $dy_i$  — расстояние левого крайнего элемента от оси левой крайней колонны на первом ярусе, то есть данное, характеризующее горизонтальное положение сетки.

На произвольном ( $j$ -ом) ярусе уравнение принимает (1) следующий вид:

$$v_{i,j,k} = [a_{i,k}] - k \cdot a + d_{i,j,k} - dy_i \quad (2)$$

где  $d_{i,j,k}$  — расстояние осевого отрезка произвольной колонны от осевого отрезка соответствующей колонны на первом ярусе.

Очевидно, что уравнения поправок можно записать в общем виде:

$$v_{i,j,k} = [a_{i,k}] - k \cdot a + d_{i,j,k} - dy_i \quad (3)$$

если условимся, что  $d_{i,j,k} = 0$  если  $j = 1$ .

Установим теперь пределы изменения индексов для однозначного ввода данных в ЭВМ:

- $i$  — изменяется от 1 по 8 по шагу 1 (два здания имеют всего 8 фасадов)
- $j$  — изменяется от 0 по 12 по шагу 1, если  $i < 5$  (здание «М» имеет 11 этажей). К этому добавляется т. н. «монтажный» (нулевой) ярус и потолок 11-го яруса, иначе:
- $j$  — изменяется от 0 по 8 по шагу 1 (здание «К» имеет 7 этажей с упомянутыми уже дополнениями)
- $k$  — изменяется от 0 по 4 по шагу 1 (каждый ярус на каждом фасаде имеет 5 колонн)

Если, в добавок, условимся на том, что порядковый номер фасадов обоих зданий начинается с улицы Айтоши Дюрер и продолжается против

хода часовой стрелки в плановом положении, то система ввода данных имеет вполне определенный характер.

Определение оптимального вертикального размера и данного по положению сетки производится идентичным способом. Отклонения положения стыковочных мест краев от горизонтальной плоскости были определены нивелированием, а вертикальные расстояния отдельных ярусов были измерены мерной лентой.

Для составления уравнений поправок рассмотрим рис. 2. Положение оси ординат  $y$  совпадает с нулевой отметкой измерений. Положения стыковоч

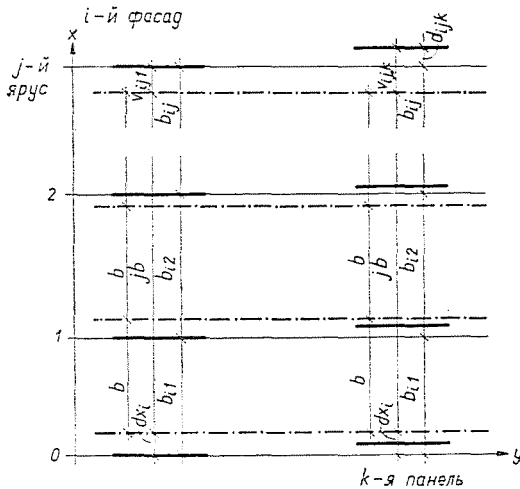


Рис. 2

ных краев ярусных панелей изображены толстыми отрезками, обозначающими среднее положение края, вычисленное как среднее из двух отметок конечных пунктов края каждой панели яруса. Горизонтальные края металло-стеклянных панелей с оптимальными расстоянием и положением по вертикали изображены на рис. 2 штрих-пунктирной линией.

По аналогии с предыдущей задачей составим уравнение поправок для левой крайней точки ( $k = 1$ )  $j$ -го яруса,  $i$ -го фасада:

$$v_{i,j,1} = [b_{i,j}] - j \cdot b - dx_i \quad (4)$$

где  $b_{i,j}$  — сумма первых  $j$  вертикальных расстояний, т. е. расстояние  $j$ -го яруса от основного;

$b$  — оптимальный размер вертикальной сетки;

$dx_i$  — вертикальное расстояние нижней горизонтальной линии сетки от нулевой отметки измерений, т. е. данное, характеризующее вертикальное положение сетки.

Уравнение поправок для произвольной,  $k$ -й панели принимает вид:

$$v_{i,j,k} = [b_{i,j}] - j \cdot b + d_{i,j,k} - dx_i \quad (5)$$

где  $d_{i,j,k}$  — отклонение  $k$ -й панели от горизонтальной плоскости, проходящей через нулевую отметку данного яруса.

Уравнение (5) является общим, если условимся, что  $d_{i,j,k} = 0$ , при  $k = 1$ .

Однако, решение задач «планового» и «высотного» уравновешивания имеет некоторое различие. При решении второй задачи следует учесть, что 4 фасада обоих зданий составляют единую систему, так как они как бы раз-вертываются в одну плоскость.

Поэтому очевидно, что

$$b_{1,j} = b_{2,j} = b_{3,j} = b_{4,j}$$

$$b_{5,j} = b_{6,j} = b_{7,j} = b_{8,j}$$

а также

$$dx_1 = dx_2 = dx_3 = dx_4$$

и

$$dx_5 = dx_6 = dx_7 = dx_8.$$

Последнее обстоятельство сокращает число неизвестных высотного уравнения с девяти к трем.

Пределы изменения индексов:

$i$  — изменяется от 1 по 8 по шагу 1 (как в предыдущем случае)

$j$  — изменяется от 1 по 12 по шагу 1, если  $j < 5$ , иначе:

$j$  — изменяется от 1 по 8, по шагу 1,

$k$  — изменяется от 1 по 10, по шагу 1, если  $i$  — четное число, от 1 по 14, по шагу 1, если  $i$  — нечетное число (число панелей на четных и нечетных фасадах не одинаково).

Порядковые номера фасадов установлены идентично первой задаче.

### 3. Вычислительная программа решения задачи на ЭВМ

По объему вычислений можно судить, зная, что при «плановом» уравновешивании коэффициенты нормальных уравнений с 9 неизвестными могут быть вычислены из 540 уравнений поправок. При «высотном» уравновешивании число уравнений поправок — 1000, а неизвестных — 3. Очевидно, что в наше время решить такую задачу целесообразно только при помощи ЭВМ.

Вычислительная программа была составлена для ЭВМ типа ОДРА-1204, на программном языке ОДРА-АЛГОЛ.

#### 4. Графическое представление результатов при помощи чертежной программы

Разрабатывая чертежную программу, мы старались объединить несомненные преимущества быстроты работы ЭВМ и наглядности графического представления.

Чертежно-печатающие программы были составлены для представления результатов как «планового» так и «высотного» уравнивания. В обоих случаях с помощью периферии ЭВМ печатаются упрощенные схемы фасадов зданий, с указанием на остаточные отклонения после уравнивания. На схемах указаны также знаки для идентификации, оптимальные размеры сетки (плановой и высотной) и данные, характеризующие её положение.

Для большей наглядности на ЭВМ также была составлена схема, изображающая состояние с ошибками строительства до уравнивания.

Образец из графического материала результатов уравнивания показан на рис. 3.

8	-7 Н	-16 ННН	-21 НННН	-22 НННН	-23 ННННН
7	-11 НН	-9 НН	-12 НН	-8 НН	-14 ННН
6	-7 Н	-11 НН	-4 Н	-9 НН	-12 НН
5	-11 НН	-11 НН	-20 НННН	-9 НН	-11 НН
4	-8 НН	-11 НН	-23 ННННН	-0	-9 НН
3	11 НН	7 Н	2	9 НН	7 Н
2	15 ННН	30 НННННН	21 НННН	35 ННННННН	13 ННН
1	10 6002 НН	27 6002 ННННН	26 6002 ННННН	16 6002 ННН	6 Н
0	15 ННН	16 ННН	21 НННН	8 НН	-3 Н
	Е 13	Е 12	Е 11	Е 10	Е 9

Рис. 3 — Здание Металлимпэкс — Конзумэкс  
 Геодезические проверочные измерения  
 Определение оптимальных размеров и положения облицовочных панелей на ЭВМ  
 (Горизонтальный размер и положение)  
 Здание «К»  
 Фасад со стороны школы  
 Масштаб 1 : 150 (для отклонений 1 : 2)  
 0 = монолитный ж. б. ярус  
 8 = плоскость верхних концов колонн  
 Размеры и отклонения после уравнивания

Такая чертежно-вычислительная программа может служить основой для графического представления результатов других, подобных задач. Преимуществом такого способа является сокращение времени черчения, так как в данном случае для печатания полного графического материала (32 листа) потребовалось всего 8 минут. Для вычерчивания такого объема графического материала требуется 8 рабочих дней.

Решение задачи определения оптимальных размеров металлических панелей создало возможность внедрения в строительную практику современной теоретической мысли. Такой способ решения нам не встречался ни в отечественной, ни в зарубежной литературе.

Исследуемая тема скрывает в себе дальнейшие возможности, особенно в области статистического анализа строительных ошибок. Наши исследования обещают новые интересные результаты в этой области.

### Резюме

При монтаже металло-стеклянных панелей облицовки административных зданий самую большую трудность составляет соединение этих панелей, изготовленных с миллиметровой точностью, с каркасом здания, имеющим ошибки постройки или монтажа в несколько сантиметров. Однако, если эти ошибки известны, то можно найти размеры металлических панелей и данные, характеризующие их положение, при которых сумма квадратов отклонений окажется минимальной.

Авторы определяли эти оптимальные размеры для одного построенного в Будапеште административного здания с использованием более чем 1000 данных. Рассмотрен способ решения задачи на ЭВМ, а также метод составления чертежно-вычислительной программы для графического представления результатов.

Описанная методика может служить основой при решении подобных задач.

Ст. преп. д-р. Андраш Краутер }  
 Асс. д-р. Бела Маркуш } Н-1521 Будапешт

*Printed in Hungary*

А kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója. — Műszaki szerkesztő: Botyánszky Pál  
 А kézirat nyomdába érkezett: 1975. III. 21. — Terjedelem: 17,5 (A/5) ív, 68 ábra. (1 színes) 1 melléklet

75.1637 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György