

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

03, март 2017

Балясников Д. А.^{1,*}, Степанов В. П.^{1,}**

УДК: 519.8 + 004.2

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

^{*}bda2291@mail.ru

^{**}vapals@yandex.ru

Введение

Эффективность проектного решения объекта капитального строительства закладывается на этапе эскизного проектирования. На этом этапе создается образ будущего объекта и закладывается его функциональность. Учитывая важность этого этапа проектирования разрабатываемый алгоритм ориентирован на создание эскиза планировочного решения типового этажа будущего объекта капитального строительства и не предполагает окончательного проектного решения с разработкой рабочих чертежей. Полученный вариант эскиза планировочного решения используется в качестве основы при окончательном оформлении проектной документации.

Организация планировочного решения объекта капитального строительства относится к задачам непрерывного математического программирования, в частности к задаче нерегулярного прямоугольного размещения геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками на плоскости. Для нахождения точного решения, подобного рода задачи предполагают применение полного перебора и относятся к классу NP-трудных.

Вопрос прямоугольного размещения можно считать базовым для кластера задач оптимизации геометрического проектирования и задач теории исследования операций [1-3]. Подобные задачи приводятся в одно- или многокритериальной постановках, с учетом ограничений на размещение, связанных с конкретными практическими приложениями [4,5]. Анализ научной литературы выявляет факт недостаточной изученности класса задач прямоугольного размещения с изменяемыми метрическими характеристиками. Отметим некоторые публикации, затрагивающие данную тематику. В работах [6,7] приводится формальная постановка задачи оптимизации прямоугольного размещения геометрических объектов с изменяемыми метрическими характеристиками. В работах [8,9] выделены конструктивные свойства области допустимых решений рассматриваемой задачи оптимизации.

1. Постановка задачи

Пусть дан план типового этажа объекта капитального строительства, на котором обозначены несущие стены, оконные проемы и зона эвакуации и конечное множество помещений различного функционального назначения. Требуется разместить помещения из данного множества в контуре заданного планировочного решения таким образом, чтобы при соблюдении всех функциональных, строительных, санитарно-гигиенических и других требований [10, 11] общая жилая площадь помещений была максимальной.

Данная задача сведена к решению модифицированной задачи "О рюкзаке", когда область размещения ограничена, а количество помещаемых предметов в рюкзак фиксировано и для каждого предмета имеет свое значение. Дополнительным условием является тот факт, что метрические характеристики размещаемых предметов могут изменяться в заданных пределах.

2. Математическая постановка задачи

Для формализации постановки задачи введем следующие понятия:

Через Ω обозначается глобальная область (ГО) – это зона, равная полезной площади этажа до начала компоновки.

Через X_q обозначается локальная область (ЛО) – это зона, равная площади квартиры q -го типа, где q – количество жилых комнат в квартире, $q = 1, 2, 3, 4$. Каждая ЛО характеризуется двумя параметрами, общей площадью $P_q \in [P_{q_min}, P_{q_max}]$ и жилой $W_q \in [W_{q_min}, W_{q_max}]$, где q_min и q_max – это минимальное и максимальное значения соответствующего параметра из табл.1 для ЛО q -го типа. В качестве единицы измерения этих площадей принят m^2 .

Через Ω_h обозначаются замкнутые области (ЗО) – это взаимонепересекающиеся и ограничены несущими стенами зоны, которые разделяют ГО на H частей, где h – порядковый номер ЗО, $h = 1, 2, \dots, H$.

Все перечисленные области понимаются как двухпараметрические точечные множества на плоскости, ограниченные замкнутыми однопараметрическими точечными подмножествами.

Введем следующие значения:

X_1 – ЛО однокомнатной квартиры: $P_1 \in [34, 40]$, $W_1 \in [14, 18]$,

X_2 – ЛО двухкомнатной квартиры: $P_2 \in [49, 59]$, $W_2 \in [26, 34]$,

X_3 – ЛО трехкомнатной квартиры: $P_3 \in [59, 75]$, $W_3 \in [36, 48]$,

X_4 – ЛО четырехкомнатной квартиры: $P_4 \in [70, 88]$, $W_4 \in [46, 62]$.

Диапазон значений P_q и W_q , $q = 1, 2, 3, 4$ для каждого типа квартир приняты в соответствии с рекомендациями свода правил [10, 11].

Пусть имеется конечный набор, содержащий различные ЛО в количестве N , которые могут иметь форму прямоугольника $X = \{X_i\}$, $i = 1, 2, \dots, N$ и заданная ГО $\Omega \subseteq R^2$, которая может быть разделена на H несвязанных друг с другом ЗО Ω_h , $h = 1, 2, \dots, H$. Положение ЛО X_i в ГО Ω задается параметрами размещения (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$.

Метрические характеристики ЛО (a_i, b_i) , $i=1,2,\dots,N$ являются переменными, изменяющимися в диапазоне $a_i \in [a_{i_min}, a_{i_max}]$, $b_i \in [b_{i_min}, b_{i_max}]$ $a_{i_min}, b_{i_min} > 0$. Причем изменение происходит таким образом, чтобы площадь ЛО оставалась в заданных пределах $P_i \in [P_{i_min}, P_{i_max}]$.

Тогда вектор независимых переменных задачи имеет вид:
 $\omega=(x_1,y_1,a_1,b_1,\dots,x_N,y_N,a_N,b_N)$.

С учетом введенных обозначений математическая задача представляется в следующем виде:

Необходимо разместить множество ЛО $\{X_i\}$ в ГО Ω без взаимных пересечений таким образом, чтобы суммарная жилая площадь W всех ЛО была максимальной:

$$\begin{aligned} \max W, \\ \omega \in D \end{aligned} \quad (1)$$

где $W = \sum_{i=1}^N W_i$, а область допустимых решений $D=D_1 \cap D_2$ определяется условиями вида

$$D_1: X_i(x_i, y_i, a_i, b_i) \cap X_j(x_j, y_j, a_j, b_j) = \emptyset, i, j = 1, 2, \dots, N; i \neq j$$

$$D_2: X_i(x_i, y_i, a_i, b_i) \subseteq \Omega$$

Отметим, что размещаемые ЛО должны отвечать ряду дополнительных шести условий. Рассмотрим более подробно эти условия.

Условие 1. Количество ЛО каждого типа не должно превышать заданного значения:

$$0 \leq n_q \leq f_q, \quad (2)$$

где:

n_q – размещаемое количество квартир q -го типа,

f_q – максимальное заданное количество квартир q -го типа.

Условие 2. Накладываемая ЛО должна быть смежной с фиксированной областью эвакуации, обозначенной на данном планировочном решении, на отрезке длиной не менее E :

$$t_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i}) \in R_i$$

$$t_{2,i}(x_{2,i}, y_{2,i}) \in R_i$$

$$\exists t_{1,i}, t_{2,i}: \rho_{f,i}(R_f, t_{1,2,i}) = 0 \rightarrow |t_{1,i} - t_{2,i}| \geq E, \quad (3)$$

где:

R_i - подмножество граничных точек ЛО X_i ,

$t_{1,i}$ и $t_{2,i}$ точки из подмножества R_i ,

R_f – подмножество граничных точек фиксированной области эвакуации.

Условие 3. Накладываемая ЛО должна быть смежной с количеством точек, обозначающих оконные проемы, из подмножества граничных точек ГО, равным количеству жилых комнат в квартире q -го типа:

$$p_{w,i}(R_w, R_i) = 0, \quad (4)$$

где:

p – кратчайшее расстояние между двумя различными подмножествами граничных точек,

R_w – специальная точка из подмножества граничных точек ГО, обозначающая оконный проем.

Условие 4. Стороны ЛО должны быть параллельны сторонам ГО:

$$(a'_i = a_i) \cup (b'_i = b_i), \quad i = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где:

a_i, b_i – стороны ЛО,

a'_i, b'_i – проекции сторон ЛО на оси координат Ox и Oy .

Условие 5. Необходимо разместить множество ЛО $\{X_i\}$ в замкнутой области Ω_h без взаимных пересечений таким образом, чтобы обеспечить максимально плотную упаковку

$$\sum_{i=1}^N P_i \rightarrow \Omega_h, \quad \omega_i \in D, \quad (6)$$

где P_i – вес i -ой ЛО, а область допустимых решений $D = D_1 \cap D_2$ определяется условиями вида:

$$D_1: X_i(x_i, y_i, a_i, b_i) \cap X_j(x_j, y_j, a_j, b_j) = \emptyset, \quad i, j = 1, 2, \dots, N; \quad i \neq j,$$

$$D_2: X_i(x_i, y_i, a_i, b_i) \subseteq \Omega.$$

Условие 6. Точка, принадлежащая подмножеству граничных точек фиксированной области эвакуации может соприкасаться с точкой, принадлежащей подмножеству граничных точек лишь одной ЛО:

$$t_i(x_i, y_i) \in R_i,$$

$$t_f(x_f, y_f) \in R_f,$$

$$t_i, t_f: \rho_{f,i}(t_f, t_i) = 0 \rightarrow t_i \cap R_j = \emptyset, \quad i \neq j, \quad (7)$$

где:

R_i, R_i – подмножества граничных точек ЛО X_i и X_j соответственно,

R_f – подмножество граничных точек фиксированной области эвакуации,

t_i, t_f – точки из подмножества R_i и R_f соответственно.

3. Алгоритм решения

Алгоритм решения задачи состоит из двух этапов (рис.1). На первом этапе производится наложение ЛО каждого типа в пределах заданной ГО. На втором этапа в каждой из наложенных ЛО производится компоновка набора помещений различного функционального назначения в соответствии с типом квартиры.

В ходе своей работы данный алгоритма в первую очередь размещает из рабочего набора ЛО с наибольшим значением отношения W/P , что связано с особенностями рассматриваемой задачи. Но для использования данного подхода алгоритм модифицируется так, чтобы он не приводил к одинаковым результатам на разных итерациях. Для этого добавляется алгоритм с возвратом и алгоритм поиска с запретами. При этом алгоритм основан на моделировании движений ЛО с учетом их непересечения друг с другом, а также с границами ГО. Для выбора траектории, по которой происходит движение ЛО, а также значений метрических характеристик, используется механизм моделирования "годогра-

фа", поскольку он обеспечивает гарантию соблюдения условия плотности упаковки, а также отвечает требованию соблюдения фиксированного угла поворота размещаемой ЛО. Под годографом понимается такое множество ЛО с положением и размерами, описываемыми соответствующими векторами независимых переменных ω , при котором они плотно расположены относительно зоны эвакуации, для обеспечения условия (2) математической постановки задачи.

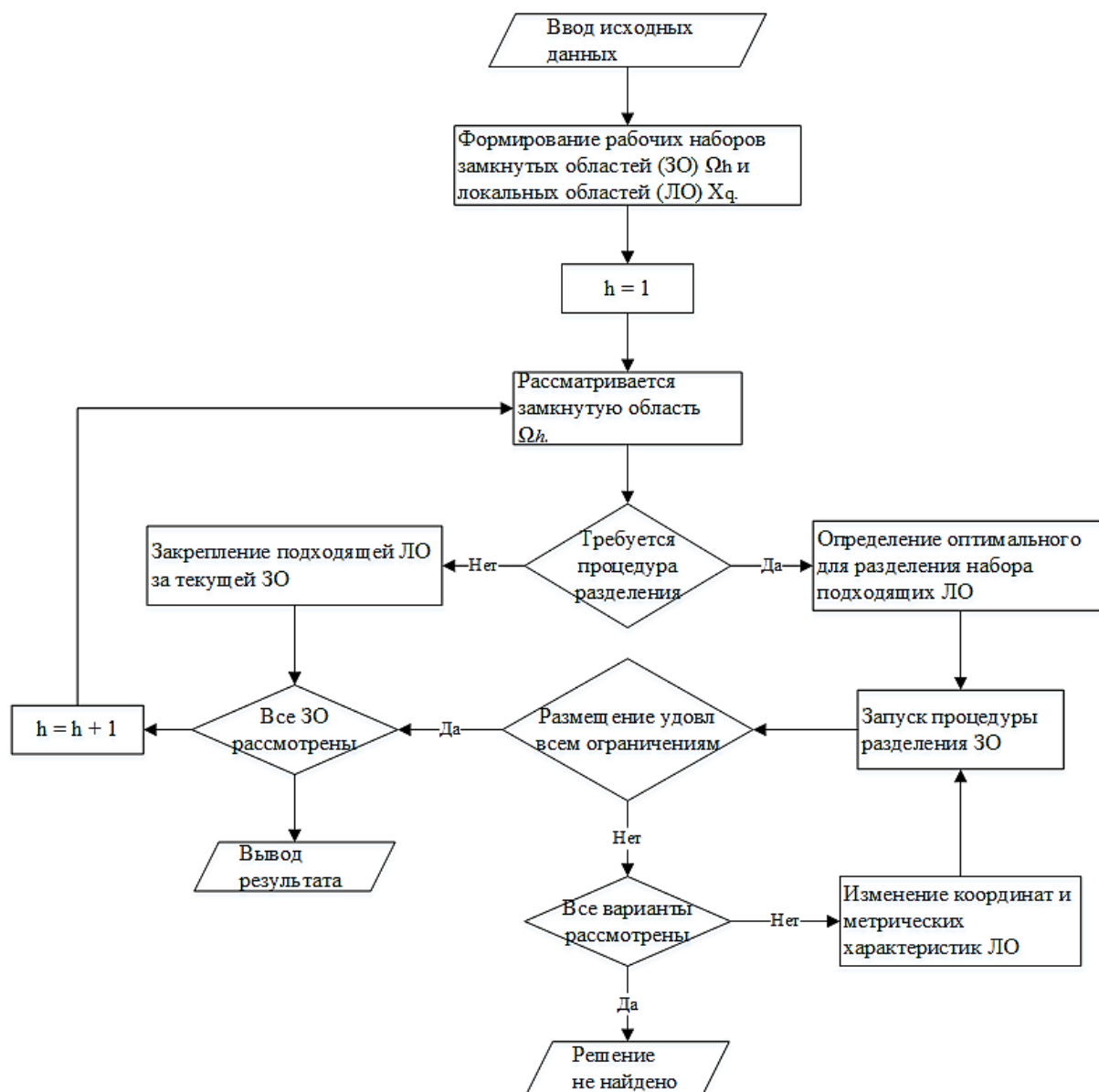


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Алгоритм первого этапа оптимизации планировочного решения состоит из семи шагов:

Шаг 1. На вход подается планировочное решение, на котором отмечены несущие стены, оконные проемы и области эвакуации. Чтобы уменьшить количество вычислений, по возможности указывается ось симметрии, которая должна проходить по несущей стене между секциями, расчеты производятся только для одной секции. Также указывается min

и max количества ЛО каждого типа, которые требуется размесить в ГО, из которых составляется рабочий набор размещаемых объектов в виде отсортированного в порядке увеличения значения q массива, именованного WS (*working set*).

Шаг 2. Программой определяется количество ЗО, а также их площадь, количество оконных проемов, принадлежащих границе, соответствующей ЗО и проверяется соблюдение условия смежности каждой ЗО с областью эвакуации. Найденные замкнутые области Ω_h заносятся в массив, именованный СА (*closed area*), где хранятся в порядке возрастания значений их площадей P_{Ω_h} .

В программе предусмотрено хранилище, содержащее диапазоны значений веса P_q , стоимости W_q и удельной стоимости $C_q = W_q/P_q$ (табл. 1). В таблице 1 приводятся характерные значения для каждого типа ЛО X_q , $q = 1, 2, 3, 4$. Значения в таблице 1 приняты в соответствии с рекомендациями [10, 11].

Таблица 1. Диапазоны значений характеристик локальных областей

Тип ЛО X_q	Вес P		Стоимость W		Уд. стоимость C	
	min	max	min	max	min	max
$q = 1$	34	40	14	18	0.411	0.450
$q = 2$	49	59	26	34	0.530	0.576
$q = 3$	59	75	36	48	0.610	0.640
$q = 4$	70	88	46	62	0.657	0.704

Из таблицы видно, что с ростом значения q увеличивается удельная стоимость ЛО, и, следовательно, в первую очередь алгоритм рассматривает размещение ЛО из массива WS с максимальным значением q .

Для решения задачи, исходя из опыта проектирования объектов капитального строительства, целесообразно принять шаг изменения значения P_q равным 0,1. Значения W_q и C_q изменяются в пропорциональном отношении.

С целью обеспечения дополнительного условия максимально плотной упаковки, алгоритм просматривает найденные ЗО Ω_h , в порядке возрастая значений P_{Ω_h} .

Шаг 3. Предусматривается счетчик h , которому присваивается значение единицы, после чего рассматривается ЗО Ω_h из массива СА. Если значение P_{Ω_h} рассматриваемой ЗО Ω_h принадлежит интервалу $[P_{q_min}, P_{q_max}]$ какой-либо из ЛО X_q , находящихся в массиве WS, следовательно, данная ЛО может быть вписана в рассматриваемую ЗО без остатка. Если количество оконных проемов в рассматриваемой ЗО достаточно для размещения ЛО, то последняя вписывается в данную ЗО. ЛО X_q удаляется из массива WS, переменная h увеличивается на единицу. Если же в массиве WS отсутствуют ЛО, которые могли бы быть вписаны в рассматриваемую ЗО без остатка, то будет запущена процедура разделения.

Шаг 4. В ходе процедуры разделения ЗО Ω_h , определяется какие ЛО X_q из массива WS могут быть размещены с учетом всех дополнительных требований так, чтобы сумма значений W_q была максимальной, и сумма значений P_q равнялась P_{Ω_h} . Найденные ЛО за-

носятся в массив, именованный LWS (*local working set*), где хранятся в порядке убывания значений P_q . Количество ЛО, занесенных в массив LWS обозначим K .

Шаг 5. Предусматривается счетчик k , которому присваивается значение единицы, после чего ЛО X_{qk} с произвольными метрическими характеристиками из массива LWS заносится в рассматриваемую ЗО Ω_h . Формируется пустой список запретов, именованный TS (*tabu search*), на изменение координат размещения и метрических характеристик ЛО X_{qk} , затем проводится проверка на соответствие всем дополнительным требованиям на размещение ЛО. Если проверка условий привела к отрицательному результату, то производится изменение координат размещения и метрических характеристик рассматриваемой в данный момент ЛО, а предыдущие параметры заносятся в список запретов TS. Данная процедура продолжается до тех пор, пока рассматриваемая ЛО не будет размещена с соблюдением всех дополнительных требований, если удачное сочетание параметров было найдено, то переменная k увеличивается на единицу.

Очевидно, что если старая информация не будет удаляться из списка TS, то работоспособность алгоритма со временем будет падать. Поэтому длина списка ограничивается сверху некоторой константой. Меняя длину списка запретов, можно управлять процессом поиска. При уменьшении длины, интенсифицируется поиск в текущей области, увеличение длины способствует переходу к другой области. В качестве окрестности можно рассматривать множество всех решений, которые получаются из текущего решения изменением одной из координат или метрических характеристик ЛО. Целесообразно хранить не сами решения, а либо функции от них, либо номера изменяемых параметров и атрибуты перехода.

Шаг 6. Далее ЛО X_{qk+1} заносится в ЗО Ω_h поверх ранее размещенных ЛО и повторяется описанная ранее процедура, пока рассматриваемая ЛО X_{qk+1} не будет размещена с соблюдением всех требований.

Следует отметить, что может возникнуть ситуация, когда невозможно выполнить размещение ЛО X_{qk+1} . В этом случае производится процедура отката к размещению предыдущей ЛО X_{qk} , т.е. рассматриваемая ЛО X_{qk+1} удаляется из ЗО, программа возвращается к рассмотрению предыдущей ЛО X_{qk} , производится изменение её параметров, а предыдущие параметры заносятся в список запретов TS. Если удастся найти отличное от предыдущего размещение ЛО X_{qk} с соблюдением всех дополнительных требований, то алгоритм вновь переходит к рассмотрению ЛО X_{qk+1} . Данная процедура продолжается до тех пор, пока рассматриваемая ЛО X_{qk+1} не будет размещена с соблюдением всех требований. Если удачное сочетание параметров было найдено, то переменная k увеличивается на единицу.

Шаг 7. После размещения ЛО X_{qk+1} , ранее размещенная ЛО X_{qk} могла уменьшиться в размерах из-за отчуждения части, попавшей под перекрытие ЛО X_{qk+1} . В таком случае алгоритм находит свободные участки ЗО и если они смежные с ЛО X_{qk} , то объединяет их с последней, пока она не приобретет прежнее значение параметра P_{qk} . Если найденных свободных участков недостаточно, то производится изменение параметров ЛО X_{qk+1} , а предыдущие параметры заносятся в список запретов TS.

Алгоритм будет повторять Шаг 6 и Шаг 7, до тех пор, пока на одной из итераций не получится размещение всех ЛО из массива LWS, причем, с выполнением равенства $\sum_{k=1}^K P_{qk} = P_{\Omega h}$, $q=1,2,3,4$, либо пока не выполнится заранее определенное количество итераций.

Далее по аналогии с логикой, описанной в Шаге 3, в рассматриваемую ЗО Ω_h , вписывается без остатка комбинация из найденных ЛО с координатами размещения и метрическими характеристиками, при которых выполнилось равенство $\sum_{k=1}^K P_{qk} = P_{\Omega h}$. Все ЛО, вошедшие в эту комбинацию, удаляются из массива WS.

Конечным результатом работы алгоритма будет размещенное множество ЛО в ГО без взаимных пересечений с максимальной суммарной жилой площадью W , а также с соблюдением всех дополнительных условий, перечисленных при математической постановке задачи (1-7).

4. Схема работы алгоритма на примере

Пусть на вход поступила ГО, изображенная на рис.2. Заштрихованная область является зоной эвакуации, штрихами по периметру глобальной области обозначены оконные проемы. На представленном рисунке их всего 21. После её анализа алгоритм обнаружил четыре ЗО, отвечающие всем дополнительным требованиям, а также определил площадь каждой из них.

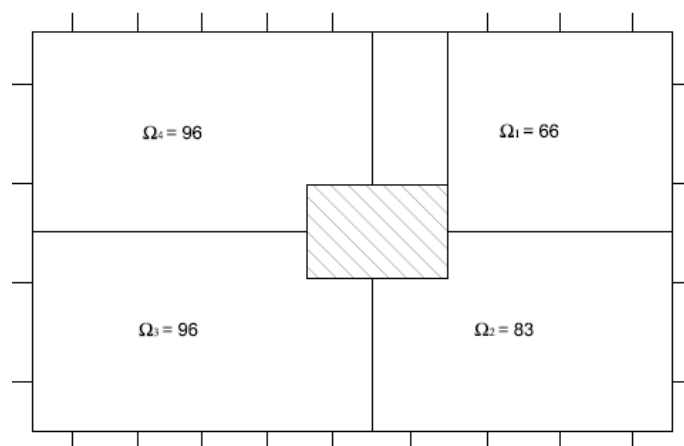


Рис. 2. Заданная ГО

Задаются количества ЛО каждого типа, которые требуется размесить в глобальной области. $X_1 \in [0, 3]$, $X_2 \in [0, 3]$, $X_3 \in [0, 1]$, $X_4 \in [0, 1]$, тогда рабочий набор WS будет выглядеть в виде массива $[X_1, X_1, X_1, X_2, X_2, X_2, X_3, X_4]$. Здесь X_q – это ЛО q -го типа, где q – количество жилых комнат в квартире, $q = 1,2,3,4$.

В данном примере первой рассматривается ЗО $\Omega_1 = 66$. Площадь 66 м^2 относится к диапазону значений параметра P_3 , следовательно, ЛО X_3 может быть вписана в данную ЗО без остатка. Количество оконных проемов равняется пяти, что достаточно для размещения ЛО X_3 . Следуя принятой стратегии, алгоритм отведет данную ЗО под ЛО X_3 , имеющую следующие значения: $P_3 = 66$, $W_3 = 41,3$, $C_3 = 0,625$. ЛО X_3 удаляется из массива WS.

Второй рассматривается ЗО $\Omega_2 = 83$. Количество оконных проемов равняется шести, что достаточно для размещения ЛО X_4 . Следуя описанной ранее логике, данная область будет отведена под ЛО X_4 имеющую следующие значения: $P_4 = 83$, $W_4 = 57,6$, $C_4 = 0,693$ (рис.3). Затем ЛО X_4 удаляется из массива WS.

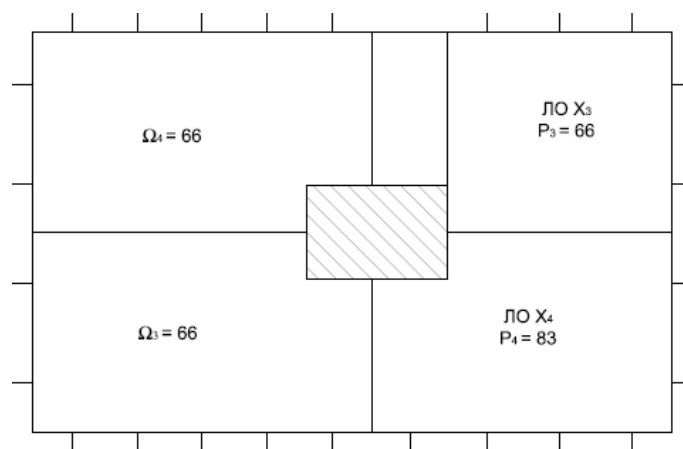


Рис. 3. ГО с размещенными ЛО X_3 и X_4

Оставшиеся две ЗО абсолютно идентичны и расположены симметрично, поэтому рассматривается лишь одна из них, так как алгоритм по отношению к ним будет применять одинаковые процедуры.

На данный момент массив WS содержит значения $[X_1, X_1, X_1, X_2, X_2, X_2]$. Поскольку в массиве WS отсутствуют ЛО, которые могли бы быть вписаны в рассматриваемую ЗО площадью 96 м^2 без остатка, то будет запущена процедура разделения. Поскольку в массиве WS на текущем этапе содержится несколько ЛО X_2 , алгоритм в первую очередь рассмотрит возможность размещения двух ЛО X_2 в данной ЗО. Но так как площадь 96 м^2 недостаточна для размещения двух ЛО X_2 , каждая из которых имеет минимальное значение $P_2 = 49$, то очевидно будет произведено разделение с учетом будущего размещения ЛО X_1 и X_2 , причем X_2 будет иметь максимально возможное значение $P_2 = 59$, т.к. $C_2 > C_1$ в любом случае. Заносятся выбранные ЛО в отдельный массив LWS и сортируются по убыванию значения q . Таким образом массив LWS содержит значения $[X_2, X_1]$.

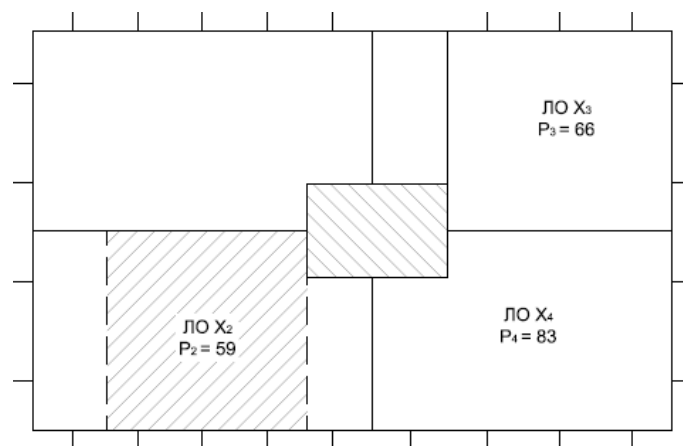


Рис. 4. Размещенная ЛО X_2

В начале ЛО X_2 с произвольными метрическими характеристиками заносится в ЗО Ω_3 , затем проводится проверка на соответствие всем дополнительным требованиям на размещение ЛО. Если проверка дала отрицательный результат, то производится изменение координат размещения и метрических характеристик рассматриваемой в данный момент ЛО, а предыдущие параметры заносятся в список запретов TS. Данная процедура продолжается до тех пор, пока рассматриваемая ЛО X_2 не будет размещена с соблюдением всех требований (рис.4).

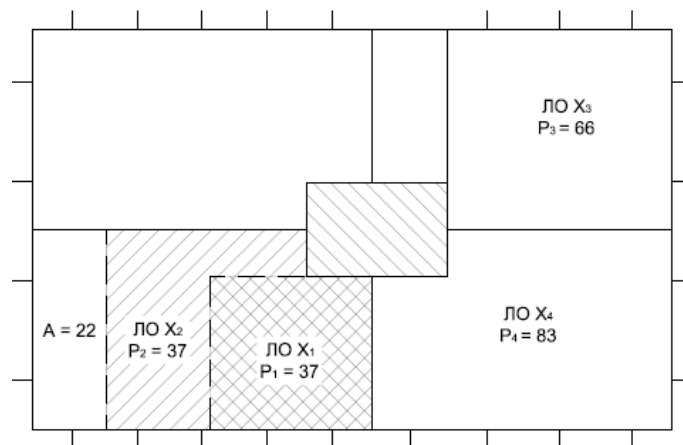


Рис. 5. Размещенные ЛО X_1 и X_2

После того как размещение ЛО X_2 было завершено, алгоритм переходит к рассмотрению ЛО, следующей за ней в массиве LWS, в данном случае это ЛО X_1 . ЛО X_1 заносится в замкнутую область Ω_3 поверх ранее размещенных ЛО и повторяется описанная ранее процедура, пока рассматриваемая ЛО не будет размещена с соблюдением всех требований. Рис.5 иллюстрирует описанный промежуточный этап работы алгоритма.

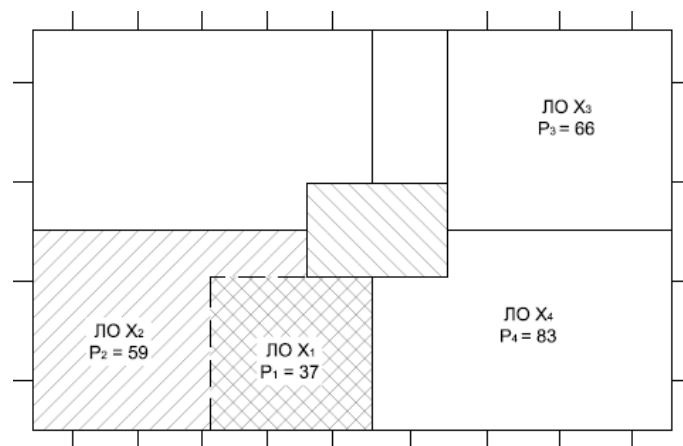


Рис. 6. Размещенные ЛО X_1 и X_2

После размещения ЛО X_1 , ранее размещенная ЛО X_2 уменьшилась в размерах и теперь имеет значение $P_2 = 37$. В рассматриваемой ЗО Ω_3 остался пустой участок $A = 22$ (рис.5). Поскольку участок A является смежным с ЛО X_2 , объединим их. В результате значение P_2 станет равно 59 и будет достигнуто максимальное значение суммарной жилой

площади W , а также выполнено дополнительное условие плотности упаковки, т.к. $P_2 + P_1 = P_{\Omega}$. Рис.6 иллюстрирует описанный заключительный этап работы алгоритма.

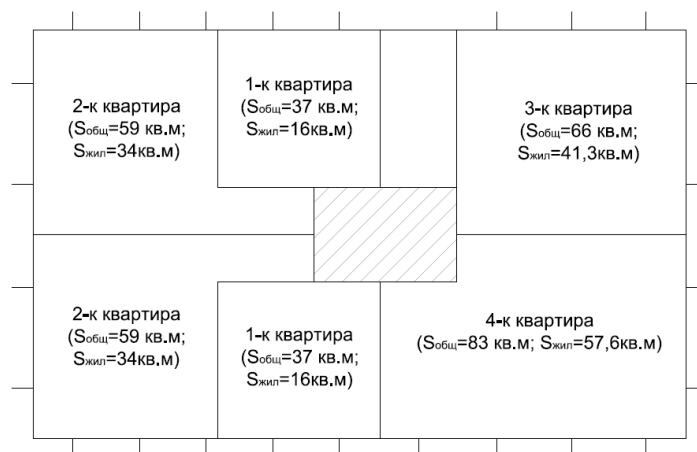


Рис. 7. Конечный результат работы алгоритма

Далее по аналогии с описанной ранее логикой в рассматриваемую ЗО, будут вписаны без остатка ЛО X_1 , имеющая значения: $P_1 = 37$, $W_1 = 16$, $C_1 = 0,432$ и ЛО X_2 , имеющая значения: $P_2 = 59$, $W_2 = 34$, $C_2 = 0,576$. ЛО X_1 и X_2 удаляются из массива WS .

Конечным результатом работы алгоритма будет размещенное множество ЛО без взаимных пересечений с максимальной суммарной жилой площадью $W=198,9$ (Рис.7). Дополнительное условие обеспечения максимально плотной упаковки выполнено, суммарная общая площадь всех ЛО равна по величине площади ГО $P_{\Omega}=341$.

5. Программная реализация алгоритма

Алгоритм решения задачи реализован в виде программного комплекса (ПК) на языке Python [12]. Программный комплекс предназначен для работы через систему меню с использованием мыши. Интерфейс ПК приведен на рис.8. Меню включает в себя следующие пункты: загрузка исходного файла, печать изображения, регулирование масштаба изображения, разбиение типового этажа из исходного файла на группу квартир и компоновка функциональных помещений в полученной группировке квартир.

Исходный эскиз типового этажа загружается из внешнего векторного файла *.dxf, подготовленного инженером-проектировщиком, с обозначением местоположения зоны эвакуации, несущих стен и оконных проемов. При этом ПК конвертирует формат исходного файла и отображает в центре окна растровое изображение (рис.8).

При разбиении типового этажа ПК требуется задать количество квартир каждого типа, входящих в рабочий набор, которым он будет оперировать. Ввод производится через дополнительное диалоговое окно (рис.9). Задаваемые параметров ввода определяются особенностями исходной конструкции объекта капитального строительства, а также техническим заданием на проектирование и требованиями заказчика. От сформированного рабочего набора может зависеть не только скорость поиска оптимального планировочного ре-

шения, но и сама возможность его компоновки. В случае неудачной попытки скомпоновать планировочное решение, программа выведет на экран предупреждение.

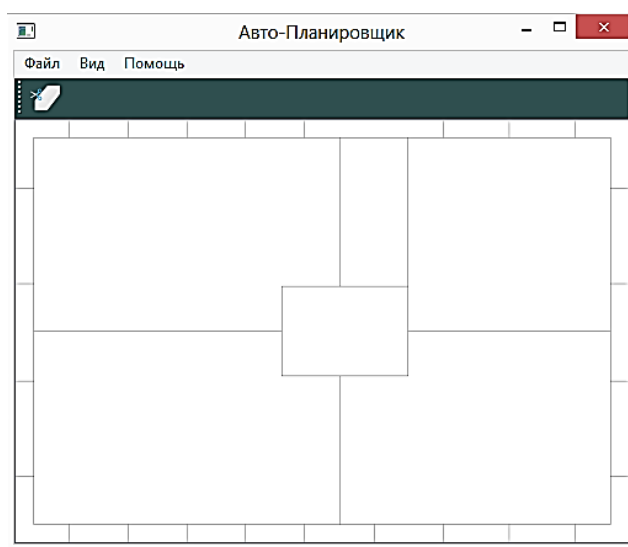


Рис. 8. Отображение исходного планировочного решения

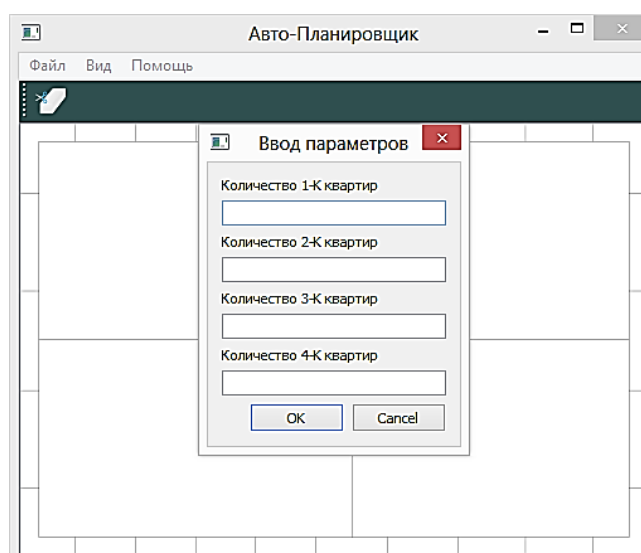


Рис. 9. Отображение диалогового окна

После ввода в ПК рабочего набора $[X_1, X_1, X_1, X_2, X_2, X_2, X_3, X_4]$ из рассмотренного ранее примера, алгоритм находит оптимальное решение, изображенное на рис.10. На рисунке видно, что в результате работы алгоритма, в заданную ГО были вписаны шесть локальных областей X_4 ($P = 82.92 \text{ м}^2$), X_3 ($P = 66.01 \text{ м}^2$), $2 \cdot X_2$ ($P = 59 \text{ м}^2$) и $2 \cdot X_1$ ($P = 36.56 \text{ м}^2$), при этом выполняются все дополнительные требования, предъявляемые нормативными документами [10, 11]. Следует заметить, что найденное решение совпадает с результатами ранее рассмотренного примера и можно сделать заключение о приемлемости найденного им решения. Время работы основного алгоритма оптимизации на данном рабочем наборе составило 2.0386 сек.

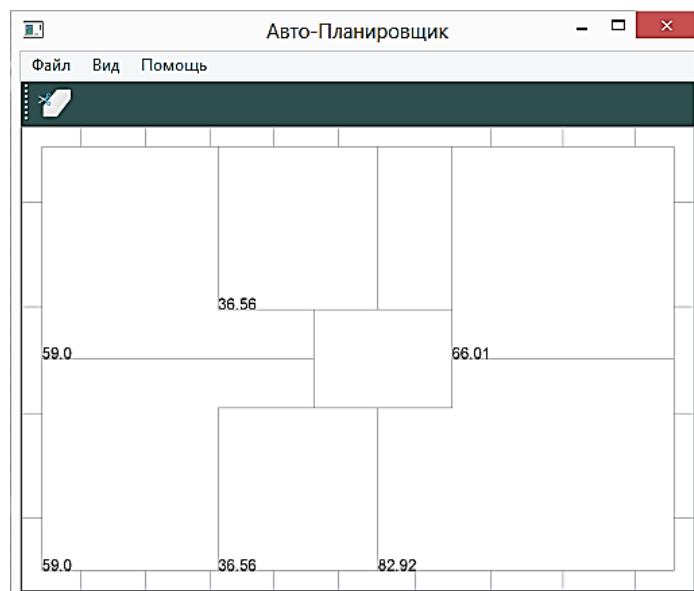


Рис. 10. Результат работы программы

Заключение

1. Предложена математическая модель задачи организации объемно-планировочного решения объекта капитального строительства.
2. Предложен алгоритм для решения рассматриваемой задачи, модифицированный добавлением процедуры возврата и списка запретов.
3. Выполнена реализация предложенного алгоритма в виде программного комплекса на языке Python с проверкой его сходимости на рабочем примере.

Список литературы

- [1]. Wascher G. An improved typology of cutting and packing problems / G. Wascher, H. Haubner, H. Schumann // European Journal of Operational Research. 2007. Vol. 183. P. 1109-1130.
- [2]. Lodi A. Two-dimensional packing problems: a survey/ A. Lodi, S. Martello, M. Monaci // EJOR. 2002. Vol. 141. P. 241-252.
- [3]. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Киев: Наукова думка. 1986. 268 с.
- [4]. Stoyan Yu. G., Novozhilova M.V., Kartashov A.V. Mathematical Model and Method of Searching for a Local Extremum for the Non Convex Oriented Polygons Allocation Problem // European Journal of Operational Research 92. 1996. P.193-210.
- [5]. Верхотуров М.А. Задача нерегулярного раскроя фигурных заготовок: оптимизация размещения и пути режущего инструмента // Вестник УГАТУ 2007. №2, С.106-118.
- [6]. Мурин М.Н., Новожилова М.В., Чуб И.А. Формализация ограничений одной задачи распределения ресурсов проекта // Науковий вісник будівництва. 2007. Вип. 43. С. 229-232.

- [7]. Мурин М.Н., Чуб И.А., Новожилова М.В. Математическое обеспечение решения задачи размещения прямоугольников с изменяемыми метрическими характеристиками. // Математичні моделі та методи. 2012. №2. С. 195-199.
- [8]. Чуб И.А., Новожилова М.В., Мурин М.Н. Метод решения задачи размещения прямоугольников с переменными метрическими характеристиками. // Радиоэлектроника и информатика. 2007. № 4. С. 134-141.
- [9]. Чуб И.А., Новожилова М.В. Построение линейной аппроксимации области допустимых решений задачи размещения неориентированных геометрических объектов // Математические машины и системы. Киев: Институт проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины. 2010. № 2. С. 99-107.
- [10]. Свод правил: СП 54.13330.2011. Здания жилые многоквартирные. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. 2011. 36 с.
- [11]. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях: санитарно-эпидемиологические правила СанПиН 2.1.2.2645-10. – М.: Министерство юстиции РФ. 2010. 15 с.
- [12]. Прохоренок Н.А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. СПб.: БХВ-Петербург. 2012. 704 с.