

Министерство медицинской и микробиологической промышленности СССР
Центральное бюро научно-технической информации

ЭКОНОМИКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Обзорная информация

Выпуск I

МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ГЕНЕРАЛЬНЫХ
ПЛАНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ И КОМПОНОВКИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Издается с 1985 года Москва 1987

2 выпуска в год

УДК 681.3:51.001.57]:331.015.13(047)

А.Д.Вайнштейн, В.Н.Данилов, Б.З.Шапиро

ВВЕДЕНИЕ

Основными направлениями развития народного хозяйства в нашей стране предусматривается повышение эффективности капитальных вложений в строительство путем улучшения планирования, проектирования и организации строительного производства. В связи с этим важную роль приобретают задачи оптимального проектирования генеральных планов предприятий и оптимального размещения оборудования. Решение этих задач в микробиологической промышленности внесет существенный вклад в повышение эффективности производства и уровня его технической оснащенности, а также в совершенствование его структуры, что позволит более полно удовлетворять потребности народного хозяйства в продуктах микробиологического синтеза.

Как известно, генеральный план — это проект организации предприятия в пространстве с решением функциональных, экономических, социальных, эстетических и других задач, определяющих эксплуатационные, экономические показатели и будущее развитие заводов /1/. Его разработка представляет собой сложную проблему, требующую увязки комплекса противоречивых требований и переработки большого объема информации. Формирование генерального плана в самом общем случае включает в себя решение следующих основных задач:

- размещение площадки в заданном районе;
- компоновка группы предприятий;
- компоновка зданий и сооружений на территории предприятия;
- компоновка производственных цехов и вспомогательных помещений в здании;

расположение оборудования внутри цеха;
трассировка и размещение инженерных коммуникаций.

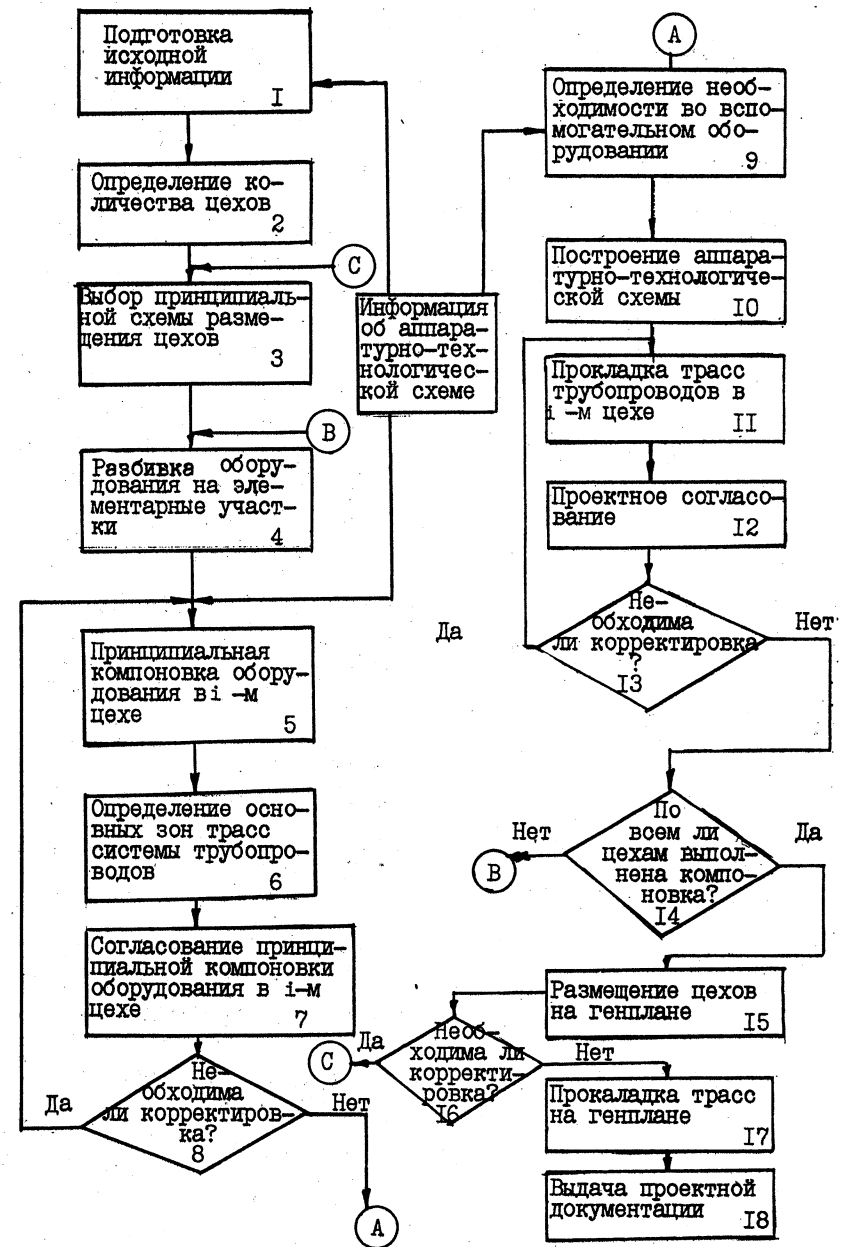
В ряде работ /2,3/ в понятие формирования генерального плана включаются лишь четыре последние задачи.

При традиционном проектировании генеральных планов составляют несколько вариантов решений, которые обсуждаются коллективом проектировщиков. Однако следует иметь в виду, что современное промышленное производство – это сложный комплекс сооружений, насыщенных оборудованием, трубопроводами, средствами автоматизации, технологическими связями и т.д. Поэтому традиционный способ не обеспечивает выбор оптимального расположения элементов этого комплекса. Более того, с ручной увязкой на генеральном плане всех компонентов промышленного предприятия связано немало проектных ошибок.

Повышение уровня проектирования в настоящее время связывается с автоматизацией решения проектных задач с помощью средств вычислительной техники. При этом оказывается целесообразным подходить к проектированию сложных комплексов с позиций создания и применения автоматизированных (человеко-машинных) систем, реализуемых в диалоговых системах автоматизированного проектирования (САПР), позволяющих наиболее эффективно использовать специальные знания и опыт проектировщиков.

Основными задачами указанной САПР являются размещение элементов системы (аппаратов, отделений, цехов, промышленных зданий, колонн) и построение связывающей их транспортной сети (трубопроводов, каскадов, пневмотранспорта и т.д.). Актуальность автоматизации решения этих задач подтверждается, в частности, тем, что при традиционном проектировании на принятие решения о размещении объектов уходит около 20% всего времени, а приведенные затраты могут в зависимости от выбранного варианта размещения изменяться на 15 – 30%. Отметим также, что доля капитальных вложений в технологические и сантехнические сети трубопроводов может составлять до 20 – 30% от общей суммы капитальных затрат /4/.

Необходимым условием успешного построения САПР сложных технологических систем является детальный и всесторонний анализ существующей системы традиционного проектирования. Такой анализ был проведен в работах /4,5/ и привел к приведенной ниже схеме.



Как видно из этой схемы, процесс проектирования является циклическим. Сначала определяют число производственных цехов, составляют принципиальную схему генплана, осуществляют компоновку основного оборудования в каждом здании и намечают основные трассы коммуникаций. По мере уточнения типа и количества вспомогательного оборудования, выяснения возможности прокладки различных по назначению коммуникаций, учета технологических и строительных требований устанавливается действительное расположение зданий, трасс и т.п. на генеральном плане. Проектирование компоновки выполняют параллельно с другими этапами проектирования, в частности с технологической и архитектурно-строительной частями проекта. Полный объем всей необходимой информации настолько велик, что специалист не в состоянии во всех деталях проанализировать соответствующую информацию, поэтому анализ проводится по укрупненным блокам.

Приведенная блок-схема процесса построения аппаратно-технологической компоновки позволяет выделить набор проектных задач, подлежащих формализации и математическому описанию. Анализ специфики этих задач позволил разбить их на три основных класса. К первому относятся задачи расчетно-геометрического характера, которые могут решаться на ЭЕМ без диалога со специалистами. Во второй класс попадают задачи, связанные с выработкой принципиальных решений задач анализа, синтеза и окончательной оценки проекта, для которых целесообразен режим диалога. К третьему классу относятся неформальные задачи, в ходе решения которых проектировщик согласовывает основные проектные решения, осуществляет их корректировку и получает окончательный вариант синтеза структуры.

В настоящем обзоре рассмотрены постановки широкого класса задач оптимального формирования генеральных планов и компоновок промышленных предприятий. Основной упор при этом сделан на задачу построения генерального плана предприятия внутри выделенной площадки.

Отдельно рассмотрены математические модели, используемые при решении задач проектирования генеральных планов. Выделены три класса таких моделей (задачи размещения, задачи соединения и задачи компоновки) и описаны методы исследования этих задач. Последний раздел посвящен краткому описанию программного обеспечения задач оптимального формирования генеральных планов.

Ввиду ограниченного объема в обзор не включены постановки прикладных задач трассировки коммуникаций. С существующими подходами к решению этих задач можно ознакомиться в работе /6/.

Ряд других вопросов, связанных с использованием математических методов и ЭЕМ для проектирования оптимального размещения оборудования в микробиологической промышленности, освещен в обзоре /7/.

I. ПОСТАНОВКИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПОНОВКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА И ПРЕДПРИЯТИЯ

Задачи проектирования строительных генеральных планов предприятий по существу делятся на две большие группы:

размещение предприятий на ситуационном плане с учетом планировочной организации промышленной зоны и города (строительный генеральный план промышленного узла);

компоновка зданий и сооружений на территории предприятия.

Опыт специалистов показал, что задача размещения предприятий на ситуационном плане имеет две разновидности: размещение одной площадки или участка по отношению к группе других и компоновка нескольких участков для группы предприятий. Общим для обеих задач является необходимость моделирования как территории в районе размещения объектов, включая ее инженерную подготовку, так и внутренней структуры размещаемых предприятий. Основное различие заключается в том, что при решении второй задачи необходимо обеспечить не только компоновку группы площадок, но и вертикальную планировку территории, трассировку коммуникаций и размещение объектов обслуживания.

В этом разделе будут отдельно рассмотрены модели и методы решения всех трех перечисленных выше задач.

I.1. Размещение площадки в заданном районе

Задача размещения площадки относится к классу задач размещения единичного объекта среди некоторого множества других. К этому классу можно отнести также следующие задачи:

размещение одного здания среди других на территории предприятия;

размещение пристройки к зданию;

размещение вспомогательных помещений в пределах крупного цеха.

Задача размещения площадки является самой сложной и трудоемкой из перечисленных. Необходимые для ее решения данные должны включать информацию о территории, о размещаемом объекте, о его коммуникациях и о разрывах, которые должны обеспечиваться между ним и другими объектами.

Наиболее сложной является информация о территории. Аналогом принятого в проектной практике ситуационного плана является при автоматизированном проектировании цифровой макет местности (ЦММ). Существует ряд работ, посвященных машинным методам формирования и преобразования цифровых макетов местности.

К настоящему времени достаточно глубоко изучены два способа формирования ЦММ – геодезический и картометрический. Первый описан в работах НИИ прикладной геодезии /8,9/, второй – в работах Центрального научно-исследовательского и проектного института автоматизированных систем в строительстве. Кроме того, ведутся исследования новых технологий: во-первых, формирования ЦММ путем машинной обработки результатов аэрофотосъемки, а во-вторых – комбинированного способа формирования ЦММ путем картометрической обработки фрагментов планов, полученных при полевых съемках.

По способу отражения местности ЦММ можно разбить на три группы: модели, отражающие местность в виде сети квадратов /12/, в виде сети ребер /13/ и в виде сети точек /14/. Модели первой группы наиболее точно отражают ситуацию, однако они более трудоемки, чем другие модели. Модели третьей группы широко используются при решении задач вертикальной планировки /15/.

Трудности, возникающие при использовании ЦММ в задачах размещения площадки, обсуждаются в работе /16/. К ним относятся, в первую очередь, большая трудоемкость подготовки и контроля правильности данных, связанных с ЦММ, и необходимость в корректировках ЦММ после размещения очередного объекта. Несмотря на эти трудности ЦММ остаются основным способом представления информации о местности для последующего анализа территории.

Анализ территории должен, в первую очередь, выделить допустимые и запретные зоны. При этом может оказаться, что участки, допустимые для одних объектов, являются запретными для других, и наоборот, что приводит к появлению нескольких видов запретных зон. Допустимые зоны также складываются из участков с различными свойствами. Для анализа этих свойств необходимо выявление территорий с различными уклонами и несущими способностями грунтов, различной транспортной доступностью и ценностью угодий, построек и коммуникаций.

Ко второй группе исходных данных относится информация о размещаемом объекте, в том числе варианты его размеров и формы. Третьей частью исходных данных являются сведения о коммуникациях, которые должны связывать размещаемую площадку с головными сооружениями

и точками примыканий к существующим магистралям. Для сопоставления разнородных коммуникаций используются такие показатели, как единовременные и текущие затраты, надежность и металлоемкость коммуникаций. Наконец, четвертой частью исходных данных являются сведения о требуемых разрывах между размещаемым объектом и внешними входами. В эту часть данных входят также сведения о розе ветров.

На основе собранной информации осуществляется машинное формирование набора конкурентных решений, оптимальных по группе частных критериев. К таким критериям относятся затраты на освоение территории и компенсацию убытков от отчуждения угодий, убытки от потери сельскохозяйственных угодий и лесов как трудно и долго восстанавливаемых ресурсов, обеспечение надежного функционирования объекта, протяженность всех основных коммуникаций и т.п.

Как показали эксперименты /6/, машинные решения оказываются существенно экономичнее, чем исходные проектные решения, полученные специалистами.

1.2. Компоновка группы предприятий

Задача компоновки группы предприятий на заданной территории является наиболее емкой по составу требуемой информации среди задач компоновки строительных объектов. В состав исходных данных для этой задачи должны входить цифровая модель местности, сведения о габаритах размещаемых предприятий и основные характеристики внешних коммуникаций. Кроме того, необходимы основные характеристики коммуникаций, связывающих предприятия между собой, т.е. межзаводских коммуникаций элементов компоновки; ограничения на взаимное приближение и удаление отдельных пар предприятий и основные качественные характеристики предприятий.

Изложенные выше принципы моделирования территории используются также и при компоновке группы предприятий. Особенностью этой задачи может быть усложнение правил размещения группы объектов различного класса вредности и с различными требованиями к территории.

При проектировании промузлов, когда имеется возможность предварительной проработки генпланов отдельных предприятий, может использоваться принцип многоуровневой оптимизации /17/. В связи с этим по каждому из размещаемых предприятий может быть заранее принято несколько вариантов их габаритов с соответствующими оценками предпочтений, обусловленными показателями качества их компоновочных решений. Данные о внешних коммуникациях содержат основные тех-

нические и экономические характеристики, а также варианты размещения головных сооружений и точек примыкания к инженерным и транспортным магистралям.

Сведения об ограничениях на взаимное приближение и удаление отдельных пар или групп предприятий носят нормативный характер. Сущность ограничений на приближение предприятий определяется их пожаро- или взрывоопасным характером или степенью выделения вредностей (газа, пыли, шума и т.п.), а сущность ограничений на удаление определяется, в основном, ограничением на длину некоторых видов коммуникаций.

Обработывая все перечисленные данные, машина формирует множество альтернативных вариантов. При этом могут использоваться как индуктивные, так и дедуктивные методы.

Дедуктивные методы формируют вариант решения от общего к частному. Одним из вариантов такого построения является следующий. Территория, выделенная для компоновки, первоначально делится на 2-3 зоны в соответствии с наиболее очевидной группировкой предприятий, например по санитарной классификации. Затем каждая из зон делится на 2-3 подзоны в соответствии с внутренней классификацией предприятий каждой из подгрупп. Процесс разбивки на зоны продолжается до тех пор, пока общее количество участков не сравняется с количеством предприятий. В ходе деления происходит учет размеров площадей, необходимых для групп, подгрупп и т.д. При этом варьируются осуществление за счет ориентации и неравенства зон, и число разных вариантов быстро разрастается.

Наиболее эффективная область применения этого метода - объекты, компоновываемые в простейших прямоугольных областях и требующие максимально плотной упаковки элементов.

Большинство реализованных сегодня методов являются индуктивными. Они основаны на последовательном размещении компоновываемых элементов (подробнее см. главу 3). Последовательность размещения может определяться различными процедурами. В наиболее эффективных процедурах порядок размещения определяется степенью свободы размещения элемента, оцениваемой по каким-нибудь сравнительно простым характеристикам. При этом, чем меньше свобода размещения элемента, тем раньше он должен быть размещен.

Основными факторами, влияющими на ограничение свободы размещения элементов, являются: степень вредности размещаемых предприятий, возможность блокирования основных зданий, величина террито-

рии каждого предприятия, наличие железнодорожного подъезда, потенциальная необходимость расширения и особые требования к территории.

Практика показывает /18/ существенно более высокую эффективность таких методов по сравнению, например, с методами, основанными на случайном поиске решений. Отметим, что собственно размещение каждого конкретного элемента может осуществляться различными методами, в том числе описанными методами размещения отдельных площадок.

К методам последовательного размещения относятся и методы случайного размещения. Они проще и быстрее прочих, так как не требуют полного сканирования территории, но существенно менее эффективны с точки зрения количества неудовлетворительных решений, формируемых в ходе размещения.

Оценка и отбор вариантов проводятся на основе сравнения следующих критериев /19/:

минимальная суммарная протяженность внешних межобъектных коммуникаций с учетом их качественных характеристик;

максимальное соответствие искомым участкам индивидуальным требованиям к их качеству для каждого размещаемого объекта;

максимальная компактность компоновочного решения;

минимальное количество предприятий, попадающих в зону повышенной концентрации вредностей, с учетом количества трудящихся и герметичности построек;

максимальные возможности территориального расширения с учетом предполагаемых темпов и принципов развития;

максимальная группировка предприятий по очередности строительства, типу застройки, отраслевой направленности и т.д.;

максимальная композиционная целостность компоновочного решения схемы генплана группы предприятий;

композиционное единство решаемых объектов с окружающим ландшафтом.

1.3. Компоновка зданий и сооружений на территории предприятия

В этой задаче меньшую роль играют цифровые макеты местности и большую - конструктивное решение компоновываемых элементов. Один из подходов к ее решению был предложен в работах /20,21/. В них разработана методика, решающая следующую задачу: на заранее заданной площадке, представляющей собой выпуклый многоугольник, следует

компактно разместить сооружения основного, вспомогательного и обслуживающего производств так, чтобы минимизировать целевую функцию.

Исходными данными являются:

координаты вершин многоугольника;

координаты границ квадратов внутри многоугольника;

геометрические характеристики объектов, приоритет размещения, санитарные и противопожарные разрывы, точки ввода и вывода коммуникаций;

конструктивные параметры объектов; сведения о каркасе, фундаментах и крановых нагрузках;

стоимости фундаментов на различных участках территории;

стоимости технологического оборудования и его монтажа;

параметры материалопотоков;

удельные стоимости связей объектов.

Формальная постановка этой задачи имеет следующий вид. На выпуклом многограннике, заданном координатами последовательных вершин, следует разместить n объектов прямоугольной и (или) круглой формы так, чтобы минимизировать некоторый целевой функционал при заданных ограничениях на расположение объектов. При этом на площадке заданы зоны запрета в виде набора прямоугольников или кругов. На границе площадки и на самой площадке заданы точки подвода коммуникаций всех видов, а также общий уклон.

Размещаемые объекты классифицируются по группам: основные, вспомогательные, складские и обслуживающие. Сторона объекта обычно должна быть параллельна одной из осей прямоугольной системы координат, но иногда допустима и свободная ориентация.

К числу ограничений на размещение в области допустимых решений объекта относятся следующие:

объекты не должны пересекаться;

объекты должны отстоять от границы области на расстояние не менее заданного;

объекты обслуживающего характера должны быть подтянуты к фасаду генплана, а склады - к железной дороге;

объекты должны размещаться на генплане плотно.

В ходе решения сначала размещаются объекты обслуживающего типа, затем складское хозяйство и в конце, одной группой, - основные и вспомогательные объекты. Такой порядок значительно сужает число перебираемых вариантов возможных компоновок.

Рассмотрим структуру приоритета выбираемого объекта. Для объектов обслуживающих производств приоритет назначается проекти-

ровщиком заранее. Приоритет объектов основного и вспомогательного производств связан с количеством и удельным весом связей каждого объекта и т.п. На основании этих разнородных показателей формируется безразмерный показатель приоритета.

Полученная задача является сложной многокритериальной оптимизационной задачей, имеющей зачастую неединственное решение. Метод, предложенный в работах /20,21/, использует элемент случайности для первоначального выбора размещений и ориентаций объектов с учетом приоритетов и некоторых дополнительных эвристических соображений, таких как стягивание к общему центру тяжести. Обобщенной целевой функцией является сумма капвложений и произведения текущих затрат на период окупаемости капвложений.

В работах /22,23/ предложен другой методический подход к решению той же задачи, т.е. размещения производственных объектов на выделенной площадке с соблюдением всех технологических и строительных требований так, чтобы целевая функция была минимальной.

В отличие от предыдущего случая целевая функция здесь имеет вид комплексного экономического критерия, состоящего из суммы приведенных затрат на компенсацию потерь от отчуждения сельскохозяйственных угодий, на благоустройство территории и на коммуникации. В случае несоизмеримости слагаемых целевой функции задаются коэффициенты их приведения к соизмеримым единицам.

Для решения задачи выделяется исходная информация, включающая общие параметры задачи, и информация, используемая непосредственно при формировании компоновочного решения.

К исходной информации относятся:

ограничения на размер площадки, в пределах которой будет проводиться размещение объектов;

количество существующих, фиксированных и размещаемых объектов;

ограничения на форму объектов, а именно: элементы могут иметь форму многоугольников, состоящих из прямоугольников со сторонами, параллельными осям координат; размеры элементов задаются координатами правого верхнего угла каждого элемента в подвижной системе координат с началом в центре размещаемого объекта.

К информации, полученной в ходе решения, относятся: информационный массив размещаемых, фиксированных объектов и объектов сложной формы, содержащий геометрические характеристики, ориентацию объектов относительно сторон площадки, координаты точек входа (подвода коммуникаций);

массив минимально и максимально допустимых расстояний между парами объектов;

массив расстояний объектов до границ площадки;

массив внутренних связей между элементами.

Данная задача имеет следующую математическую постановку. На площадке прямоугольной формы с заданными длиной и шириной необходимо разместить n прямоугольных объектов так, чтобы достигался минимум некоторой целевой функции и выполнялся ряд ограничений на расположение объектов.

В пределах площадки имеются области запрета, ограниченные отрезками прямых, параллельных ее сторонам. Это, например, участки местности, на которой уже построены сооружения и коммуникации. Области запрета представляют собой объединение прямоугольников и могут вырождаться в отрезки или точки. Области запрета выявляются в результате анализа местности предполагаемой застройки и задаются габаритами и координатами центров описывающих их прямоугольников.

Технологические, санитарные и противопожарные требования определяют минимально и максимально допустимые расстояния между парами объектов, а также между объектами и областями запретов.

Для некоторых объектов могут задаваться ограничения на их расположение относительно границ площадки. Они описываются минимально допустимыми расстояниями между объектами и границами площадки. Для некоторых объектов может фиксироваться их ориентация относительно границ площадки. В этом случае фиксируется значение переменной, определяющей ориентацию.

Кроме перечисленных ограничений проектировщиком могут задаваться условия объединения некоторых простых объектов в один сложный. Под сложным объектом понимается совокупность простых прямоугольных объектов, расположение которых друг относительно друга фиксировано. Такой объект может представлять собой типовое решение некоторого производственного комплекса или здания сложной формы.

К форме площадки помимо ограничений на ее размер может предъявляться ряд дополнительных требований, а именно:

желаемые пропорции площадок;

совпадение некоторых размеров объекта с размерами площадки.

Искомое размещение объектов однозначно определяется координатами центра объекта и его ориентацией.

На размещение объектов накладываются следующие ограничения:

условия взаимного размещения объектов;

условия размещения объектов относительно областей запрета;

условия размещения объектов относительно границ площадки.

Критерием оптимальности компоновочной схемы генплана является сумма приведенных затрат, состоящая из затрат на компенсацию потерь от отчуждения сельскохозяйственных угодий, расходов по благоустройству и затрат на коммуникации.

Затраты на компенсацию потерь от отчуждения сельскохозяйственных угодий и расходы по благоустройству территории обычно имеют вид произведения коэффициента затрат на благоустройство (отчуждение) на полезную площадь, равную разности полной площади и площади областей запрета.

Затраты на коммуникации вычисляются как произведение длины коммуникационной сети (в той или иной метрике) на стоимость единицы длины коммуникаций. Задачи оптимальной компоновки генплана промышленного предприятия относятся к классу нелинейных многоэкстремальных задач математического программирования. Точное решение подобных задач за обозримое время, по-видимому, невозможно. Для приближенного решения используется метод последовательно одиночного размещения в сочетании со случайным поиском, описанный в одном из следующих разделов.

Проектирование с помощью ЭВМ велось параллельно с традиционными методами, что дало возможность их сравнения /22,23/. В результате технико-экономического анализа выявилась значительная эффективность применения ЭВМ при проектировании схем генпланов промышленных предприятий.

Третий метод решений этой задачи был предложен в работе /24/. Своеобразие метода заключается в том, что процедуры оценки вариантов почти полностью отделены от процедур их генерации. Генерация вариантов происходит на основе минимизации только стоимости связей между элементами, а общая оценка — на основе важных характеристик, определяющих основные закономерности формирования генплана. Постановка задачи аналогична описанной выше.

Для решения задачи используется следующая исходная информация:

о размещаемых элементах, включающая геометрические размеры объектов;

о фиксированных элементах, включающая их координаты и геометрические размеры;

о зонировании размещаемых элементов по функционально-технологическому признаку;

о максимально и минимально допустимых расстояниях между объектами;

о приведенной стоимости единицы длины транспортных коммуникаций.

Объект задается одним из трех вариантов расположения прямоугольника, который может размещаться на n местах. Общее число различных вариантов размещения на n местах равно $n! \cdot 3^n$. Случайно выбранный элемент пытаются расположить в заданной зоне размещения прямоугольной формы последовательно, начиная с левой нижней точки, до тех пор, пока не будут выполнены ограничения: отсутствие перекрытий вводимого и уже размещенных элементов и сохранение требуемых минимальных и максимальных расстояний.

Размещение производится в первой точке, где выполняются все ограничения, затем выбирается следующий элемент. Процесс продолжается, пока все элементы не будут размещены в заданной зоне. Если последнее возможно, то сформирован допустимый вариант размещения. Если определенное число попыток не приводит к допустимому размещению, то зона размещения расширяется. Процесс повторяется до получения решения. При достаточном числе допустимых решений процесс формирования вариантов прерывается.

Для оценки компоновочных решений используется 5 критериев: приведенные стоимости транспортных и коммуникационных связей, людской поток от входа до рабочих мест, технологическая совместимость смежных элементов размещения, гибкость объекта и его компактность (площадь прямоугольника, ограничивающего размещенные элементы).

Общим критерием оптимальности является сумма взвешенных относительных отклонений от каждого критерия, что достигается путем сложной нормировки. Оценка вариантов производится по комплексному критерию минимизации суммарных отклонений от соответствующих эталонов. После завершения процесса выбора решения его дальнейшее улучшение достигается путем локальной оптимизации.

Описанная методика неоднократно использовалась для компоновки генпланов предприятий и давала высокий экономический эффект.

2. ПОСТАНОВКИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПОНОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

При строительстве новых и реконструкции действующих предприятий в настоящее время возводятся тысячи производственных зданий. Значительная их часть не требует многовариантной проработки из-за жесткости пространственного решения крупного технологического оборудования. Однако около 20% от общего количества зданий нуждается в такой проработке. С задачами компоновки таких объектов и связаны разработанные к настоящему времени модели. Большая их часть посвя-

щена задачам компоновки одноэтажных зданий, меньшая — многоэтажных. При этом компоновка многоэтажных зданий в одних случаях рассматривается как единый процесс, а в других делится на три части: определение габаритов здания, распределение компоновочных элементов по этажам и самостоятельную компоновку каждого этажа. При этом третья из перечисленных задач оказывается сходной с задачей компоновки одноэтажного здания, что дает право рассматривать их как идентичные.

2.1. Компоновка многоэтажного здания

Эта задача является самой сложной из компоновочных задач, поскольку поиск решения осуществляется не на плоскости, а в трехмерном пространстве. Один из подходов к ее решению был разработан в работах /22,23/. В этих работах создана методика решения следующей задачи: разместить n различных помещений с заданными площадями S_i , кратными стандартному модулю ($6 \times 6 \text{ м}^2$), на некотором количестве этажей. Исходными данными для указанной задачи являются:

- размеры помещений;
 - размеры здания;
 - напряженности связей между помещениями;
 - затраты на единицу связи;
 - капитальные затраты;
 - затраты на компенсацию потерь от отчуждения единицы сельскохозяйственных угодий;
 - затраты на благоустройство.
- При решении задачи учитываются следующие ограничения:
- на естественную освещенность и проветривание помещений;
 - на зонирование по вертикали;
 - на плотную упаковку помещений;
 - на размещение помещения на двух этажах при допустимости его разделения на две части.

Критерием оптимальности решаемой задачи является минимум суммарных приведенных затрат на отчуждение земельных угодий, благоустройство территории, строительство здания и на реализацию всевозможных технологических связей (информационных, инженерных, транспортных и грузо-людских потоков).

Поставленная задача решается следующим образом. Сначала случайным образом из заданных интервалов выбираются этажность и ширина здания. Далее производится поэтажная компоновка, начиная с верх-

него этажа. Первыми размещаются элементы, фиксированные на данном этаже. Затем этаж дополняется элементами, выбираемыми случайным образом из тех, которые могут размещаться на любом этаже, до максимальной площади.

После компоновки всех этажей полученный вариант многоэтажного здания проверяется на допустимость. Вариант считается допустимым, если форма каждого этажа близка к прямоугольной и длины этажей достаточно близки между собой. Если вариант имеет допустимую форму, подсчитывается значение целевой функции и сравнивается с наилучшим имеющимся вариантом. Производится варьирование числа этажей, с тем чтобы выбранный объем здания и размещение функциональных элементов минимизировали целевую функцию.

Второй подход к решению рассматриваемой задачи предложен в работе /25/. Исходными информационными данными являются количество этажей и план типового этажа, количество и площади помещений, матрицы людских потоков, связей и совместимости между помещениями. Задача решается со следующими ограничениями: размеров участка строительства, размеров и высоты помещений, общей высоты здания, требований к естественному освещению, ориентации помещений и их расположения на определенных этажах.

На первом этапе решается задача распределения помещений по этажам, для которой при подготовке исходных данных для ЭВМ определяются: порядок (приоритет) размещения помещений в зависимости от матрицы взаимосвязей, наименьшая единица измерения площади элементов, значение горизонтального эквивалента вертикального расстояния.

На основании принятого модуля проектировщик делает эскизы нескольких допустимых вариантов исходного объемного решения здания (количество этажей, размер типового этажа и модульная сетка). Эта исходная информация вводится в ЭВМ. В центре каждого этажа вначале условно располагается зона вертикальной циркуляции. Размещение начинается с первого этажа или подвала и последовательно заполняется этаж за этажом.

Сначала осуществляются перебор незанятых модулей и наложение на них помещений в соответствии с ранее определенным приоритетом. Поиск места для любого помещения производится по минимальному значению целевой функции, рассчитываемой для каждого незанятого модуля, в котором может находиться элемент. Тем самым гарантируется лучшее размещение относительно уже расположенных элементов.

На втором этапе полученные варианты оцениваются по общему показателю эффективности. На третьем этапе для оптимального варианта распределения помещений по этажам производится уточненная компоновка каждого этажа. Для этого рассчитываются весовые значения связей между вариантами расположения зон вертикальной циркуляции и каждым помещением соответственно значению связи между выбранным и остальными помещениями, не находящимися на том же этаже. Оптимальный вариант расположения зон вертикальной циркуляции, найденный для первого этажа, фиксируется для следующих этажей. Далее процесс размещения происходит так же, как и на первом этаже, но с той разницей, что модуль выбирается меньшего размера, поскольку размещаемые элементы меньше.

Третьим вариантом формализации рассматриваемой задачи являются разработки, осуществленные в работе /26/. Они ориентированы на проектирование производственных зданий с повышенной приспособляемостью к изменениям технологии в процессе эксплуатации.

Основными методологическими принципами являются следующие: унификация исходных требований к разделам проекта, информационному обеспечению процесса проектирования и набору решений; модульность планировки помещений и разводки инженерных сетей; разделение здания на неизменяемую и изменяемую части.

Последний принцип возникает из-за наличия гибких связей, которые позволили бы максимально сохранять одни элементы при изменении других. Соответственно проект также разделяется на две части, из которых неизменяемая запроектирована на основе унифицированных требований и содержит комплекс архитектурно-строительных решений, а изменяемая составляет технологические решения. Авторами были выделены следующие этапы решения задачи: определение основных строительных параметров промышленного здания, вертикальное распределение функциональных элементов по этажам и компоновка помещений на этажах. Такое разделение общей задачи объемно-планировочных решений многоэтажных зданий является достаточно гибким, так как появляется возможность использовать различные алгоритмы в зависимости от конкретной ситуации.

Первый этап указанной задачи можно формализовать следующим образом: определить для заданной общей полезной площади наиболее рациональные основные строительные параметры промышленного здания (длину, ширину, этажность) и найти распределение функциональных элементов по этажам, обеспечивающее минимальные затраты на связь между этажами с учетом вертикального зонирования.

Исходной информацией для решения задачи являются: общая площадь здания; количество, высота и площади элементов; кратность воздухообмена; конструктивная схема здания; грузовые лифты; объем капитальных вложений; количество работающих; отклонение площади от заданной; вес связей между элементами; балльность зонирования между элементами; грунтовые условия; характеристики строительных конструкций.

Ограничениями для решаемой задачи могут являться: минимальная и максимальная длина, ширина и этажность здания; минимальное и максимальное расстояния; номера элементов, которые необходимо распределить на первом и последнем этажах; номера элементов, которые должны находиться друг под другом.

Оценка эффективности использования территории под строительство производится через отношение площади застройки к капвложениям для зданий административного назначения или к годовому выпуску — для зданий производственного назначения. Компактность планировки выражается отношением площади ограждения к общей развернутой площади здания и отражает тенденцию к сокращению периметра объекта, минимизации материалов на ограждающие конструкции и эксплуатационных расходов. Однако при увеличении этажности падает доля эффективной площади этажа за счет площади лифтов, коммуникационных шахт и лестничных клеток, происходит удорожание стоимости строительства. Эти факторы учитываются с помощью штрафных функций.

Алгоритм генерации объемных решений здания состоит в следующем. Полным перебором производится просмотр вариантов объема здания с прямоугольным основанием в плане путем наложения сетки колонн при соблюдении заданных ограничений. Вначале в соответствии с исходными данными определяется минимально возможная площадь первого и типового этажей. Далее выбирается начальная ширина здания из допустимого интервала и производится полный перебор вариантов для заданного диапазона этажности. Процесс повторяется для каждой ширины здания.

Так как в директивно заданную общую полезную площадь здания не входят площади, занимаемые вертикальными коммуникационными шахтами, то для каждого варианта автоматически пересчитываются площади с учетом лестничных клеток. Исходя из требований унификации принято, что в промышленном здании нецелесообразно применять более двух типоразмеров высот этажей. Предусмотрено получение вариантов объемного решения здания с развитыми нижними этажами (стилобатной частью).

Множество полученных вариантов оценивается по группе критериев. Выделяется область Парето (множество компромиссных вариантов), производится определение весовых коэффициентов и ранжирование вариантов в соответствии с критериями. При этом производится приближенный расчет расходов материалов (бетон, металл и др.) и их стоимости по основным конструктивным элементам здания (фундаменты, каркас, ограждение и т.д.).

Полученные показатели являются дополнительной информацией, используемой проектировщиком при анализе и выборе окончательного решения в режиме диалога с ЭВМ. Диалог производится по следующей схеме. Проектировщик получает для анализа два лучших варианта объемного решения здания с графическим изображением. Привлекая дополнительную информацию о расходе стройматериалов, проектировщик выработывает решение, направленное на улучшение тех или иных показателей. Такое попарное сравнение вариантов производится итеративно до стабилизации значений показателей.

Окончательный вариант объемного решения здания является исходным для этапа распределения элементов по этажам. В основу алгоритмов поиска вариантов положена идея направленного перебора по структурному графу, отражающему взаимодействие элементов в промышленном здании. Связи графа принимаются с равным весом, а он сам является неориентированным. Размещение начинается с некоторых опорных элементов, связанных с остальными.

По начальному опорному множеству и структурному графу выбирается множество элементов, подлежащих первоочередному размещению. Так, например, опорное множество i -го этажа состоит из элементов ($i-1$)-го этажа, имеющих связь с еще неразмещенными элементами, а также из некоторых элементов i -го этажа. Для первого этажа опорное множество формируется из фиксированных на этаже элементов и из элементов, непосредственно связанных с внешней средой. После заполнения первого этажа происходят формирование опорного множества второго этажа и соответствующее размещение на нем остальных элементов, дополняющих его общую площадь и т.д.

Далее из базового множества выделяются допустимые варианты с отрицательным резервом площади на каждом этаже. Для этого производится перемещение элементов на незаполненные этажи до тех пор, пока не будет получено необходимое количество допустимых вариантов. При этом, однако, может ухудшиться связанность элементов. Для оценки увеличения межэтажных связей формируется матрица перемещений эле-

ментов. Все допустимые варианты поступают в блок оценки, в котором проводится выбор лучшего.

В работе /27/ рассмотрена задача объемной компоновки технологического оборудования в форме задачи многокритериальной оптимизации. Ограничения в этой задаче учитывают расстановку каждой группы оборудования на каждом этаже относительно всех других групп оборудования и стен, а также влияние на размещение оборудования на данном этаже здания оборудования других этажей. Критериями являются компактность размещения каждой группы. Предлагается решать поставленную задачу (в диалоговом режиме с участием проектировщика) как на минимум, так и на максимум целевых функций. При решении задачи на минимум возникает наиболее плотная общая компоновка, что позволяет определить минимальный габарит здания. После этого, решая задачу на максимум, можно найти наиболее свободное размещение оборудования при заданном габарите.

Отметим в заключение вопрос об определении этажности здания. В работе /28/ предложен подход к определению рациональной этажности с переходом к последующей компоновке. В качестве основных критериев предлагаются показатель приведенных затрат, являющийся суммой единовременных затрат на строительство, и участок с годовыми эксплуатационными затратами, умноженными на нормативный срок окупаемости.

Анализ 120 проектов (приведенных к одному уровню цен) позволил построить регрессивные модели оценки основных составляющих приведенных затрат через основные конструктивные характеристики здания (высота, длина, ширина, площадь земельного участка и т.д.). Построенные модели позволяют определить эффективную этажность на основе анализа минимального набора конструктивных параметров.

2.2. Компоновка помещений на этаже или в одноэтажном здании

Это задача имеет несколько различных методических подходов. Наиболее известными из них являются случайный поиск, метод ветвей и границ и итерационные методы.

Случайный поиск рассматривался в работах /29,30/, в которых задача выбора оптимального объемно-планировочного решения одноэтажного здания сводится к поиску размещения заданного числа элементов на плане, которое минимизировало бы значение общекомпоновочной функции. Общекомпоновочная функция определяется сверткой следующих величин:

длины транспортных и коммуникационных связей, характеризующей объединение помещений различного назначения;

степени выполнения требований технологической совместимости и блокирования элементов размещения;

величины людских потоков, характеризующих компоновку функционально-технологических элементов с точки зрения размещения и протяженности потоков трудящихся от входа в здание до производственных помещений;

степени мобильности (гибкости) переоборудования здания в связи с модернизацией или расширением (она определяется количеством парных сочетаний функционально-технологических элементов, не требующих капитальных перегородок в варианте компоновки);

компактности размещения функционально-технологических элементов.

Кроме того, при решении каждой конкретной задачи методом экспертных оценок определяются коэффициенты значимости функций оптимальности.

Исходная информация включает: таблицу габаритов размещаемых элементов в модульной сетке, таблицу подгрупп элементов, варианты габаритных сеток, фиксацию входов и элементов, матрицу ограничений на допустимые расстояния между всеми элементами, таблицу ориентаций элементов по отношению к габаритной сетке.

В основу решения положен метод случайного поиска. На первом этапе вырабатывается допустимое размещение элементов на плане. Далее случайным образом выбираются номера подгрупп, составленных проектировщиком по функционально-технологическому признаку. Элементы этих подгрупп могут располагаться в части плана, выделенной для этой подгруппы. При размещении проверяется выполнение ограничений на допустимые расстояния между элементами.

На втором этапе среди допустимых размещений производится последовательный отбор вариантов по приведенным критериям. В результате возникает возможность соизмерения разнородных показателей по степени относительного отклонения значений критериев от их среднего.

На третьем этапе среди допустимых размещений осуществляется поиск вариантов проектных решений по минимальному суммарному отклонению от общекомпоновочной функции.

Варианты размещений, получаемые в результате второго и третьего этапов, анализируются и корректируются проектировщиком с последующим повторением расчета и оценки.

Вариант метода ветвей и границ был реализован в работе /31/. Неформальная постановка задачи состоит в том, чтобы оптимально разместить производственные, вспомогательные и складские помещения в заданном контуре с соблюдением всех технологических и строительных требований. Критерием оптимальности являются приведенные затраты на коммуникации, общую площадь здания и перегородок.

К исходной информации относятся:

ограничения на размер области размещения одноэтажного здания; правила выбора центра осей координат, от которого начинается компоновка;

классификация всех помещений на существующие, фиксированные и размещаемые;

ограничения на форму помещений, т.е. все элементы должны иметь форму прямоугольника или нескольких прямоугольников;

области запрета, задаваемые координатами центров в осях координат контура размещения;

количество источников ресурсов;

внешние связи и источники ресурсов, представленные точечными областями запрета на контуре, в котором производится размещение.

Кроме того, исходная информация включает:

информационный массив размещаемых помещений, описывающий состав помещений и их площадь;

условия компоновки объектов в заданном контуре;

области запрета;

информационный массив минимально и максимально допустимых расстояний между помещениями, областями запрета;

информационный массив стоимостей единицы длины взвешенных производственных связей между размещаемыми помещениями и областями запрета.

В целевую функцию входят затраты на коммуникационные связи и перегородки.

В основе решения задачи лежит человеко-машинный вариант оптимизации компоновки помещений. Проектировщиком задаются принципиальная схема компоновки зон в здании, сетки колонн и определяются предварительные размеры зон.

При автоматическом распределении зон под помещения критерием оптимальности являются затраты на строительство перегородок и коммуникаций. Перебираются все допустимые варианты габаритов помещений, и для каждого варианта решается задача нахождения оптимальных параметров размещения объектов.

В основу решения задачи положен метод ветвей и границ. Оптимизация по критерию площади здания выполняется в процессе анализа различных сеток колонн. Так как размеры здания дискретны, то число допустимых вариантов размеров здания невелико.

В третьем случае задача состоит в определении оптимальных геометрических параметров (площади, периметра, связи) компоновочных решений производственных зданий на основе просмотра вариантов технологического проектирования /32/.

Для этой задачи существенным является наличие множества технологических вариантов хотя бы по одному из следующих аспектов:

изменение технологических параметров на этапах процесса переработки сырья в продукты;

изменение номенклатуры технологического оборудования и технических средств;

аппаратурно-технологическая компоновка (АТК) на этапах технологического процесса производства.

Оценка качества компоновочных решений производственных зданий осуществляется по трем группам показателей: экономическим, компоновочным и натуральным. Экономические показатели сводятся к приведенным затратам.

Группа компоновочных показателей характеризует компоновочное решение объекта по основным закономерностям формообразования: связанности компоновочных элементов, компактности объекта, гибкости (мобильности) и технологичности.

Группа натуральных показателей отражает качество компоновочных решений в виде, принятом в традиционном проектировании. Их основу составляют показатели, отражающие расходы различных строительных материалов, трудоемкость монтажа, расходы электроэнергии и т.д.

К информации для формирования вариантов относятся: параметры, характеризующие принципиальное компоновочное решение (размещение элементов компоновки относительно друг друга); исходная матрица технологических вариантов, которые отличаются различным количеством ресурсов на этапах технологического процесса производства; параметры, характеризующие геометрические размеры технологического оборудования и технических средств, а также способы их аппаратно-технологической компоновки.

Данные для оценки вариантов компоновочных решений включают информацию для определения капитальных затрат на строительство объекта; эксплуатационных затрат; различных натуральных показа-

телей; различных компоновочных показателей и коэффициентов, характеризующих основные закономерности формообразования объекта.

Решение задачи осуществляется путем автоматического перехода от одного варианта технологического проектирования к другому, т.е. итерационным методом. Варианты технологического проектирования формируются с помощью алгоритма, определяющего количество технологических ресурсов на этапах процесса производства и основанного на различных сочетаниях исходных данных, которые осуществляются проектировщиком-технологом.

В процессе решения проектировщик может принять любые параметры как технологического, так и строительного проектирования. Выбор наиболее эффективных вариантов осуществляется по критерию приведенных затрат, объединяющих экономические показатели, или с помощью свертки разноразмерных показателей в единый критерий.

Кроме перечисленных основных подходов возможны различные эвристические методы построения компоновок. Так, в работе /33/ предложен один из таких методов решения оптимизационной задачи компоновки. Критерием считается приведенная стоимость проектного решения, являющаяся взвешенной суммой компактности размещения, стоимости связей, напряженности транспортных потоков, совместности элементов, мобильности.

На первом этапе определяются веса размещаемых элементов и элементы упорядочиваются по весам. Вес элемента зависит от его площади, ограничений на расстоянии с размещенными и не размещенными элементами, ориентации и т.д. На втором этапе при выбранном порядке размещения ищется расположение, минимизирующее прирост приведенной стоимости. Место расположения выбирается путем перебора возможных вариантов по отмеченным точкам.

Приведенный алгоритм сравнивался с алгоритмом случайного размещения /34/ и качество выбранной компоновки оказалось существенно выше.

К решению указанной задачи можно применить также специфические многокритериальные методы. В работе /35/ предложена эффективная процедура, ориентированная на программный комплекс "Форпроект-1", которая позволяет по цифровой модели объекта, пользуясь методами векторной оптимизации, получать эффективное решение без явного описания обобщенной целевой функции.

3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ

Приведенные в предыдущих разделах постановки различных практических задач оптимального формирования генеральных планов позволяют выделить три основных типа математических моделей, используемых при решении таких задач.

Первый тип моделей составляют задачи размещения. В этих задачах задано конечное множество объектов A_1, \dots, A_n и необходимо разместить некоторое количество новых объектов B_1, \dots, B_k с тем, чтобы минимизировать некоторую функцию от расстояний между новыми и старыми объектами и от мест расположения новых объектов.

Второй тип моделей называется задачами соединения. В таких задачах задано конечное множество точек A_1, \dots, A_n и необходимо построить сеть, удовлетворяющую тем или иным ограничениям и минимизирующую некоторую функцию от длин дуг сети (расстояний между непосредственно соединенными точками A_1, \dots, A_n).

Наконец, третий тип моделей составляют задачи компоновки. В этих задачах заданы некоторая область S и набор фигур (тел) T_1, \dots, T_m . Необходимо разместить этот набор или некоторое его подмножество в области S без наложений элементов набора друг на друга так, чтобы минимизировать некоторую целевую функцию.

Нетрудно увидеть, что все обсуждавшиеся выше задачи оптимального формирования генеральных планов могут быть представлены в виде тех или иных комбинаций этих трех моделей.

Ниже мы кратко опишем существующие подходы к исследованию этих моделей.

3.1. Задачи размещения

В зависимости от вида минимизируемой функции задачи размещения подразделяются на задачи размещения центров, задачи размещения медиан и общие задачи размещения.

Рассмотрим сначала задачи размещения центров. Простейшей из них является задача об I-центре на графе, которая формулируется следующим образом. Задан граф $G=(V, E)$ с множеством вершин V и множеством ребер E . На ребрах графа задана числовая функция c — длина ребер. Необходимо найти такую вершину $x \in V$, которая минимизировала бы величину

$$\max_{v \in V} c(x, v), \quad (I)$$

где $c(x, v)$ - сумма длин ребер кратчайшего пути из x в v . Точка x в этом случае называется I -центром графа G .

Несколько более общей является задача об абсолютном I -центре графа. Она отличается от предыдущей тем, что искомую точку можно размещать не только в вершинах, но и на ребрах графа. При этом если (v_i, v_j) - ребро графа с длиной c_{ij} , то точка u , помещаемая на этом ребре, определяется посредством задания длины $c(v_i, u)$ участка (v_i, u) , причем должно выполняться равенство $c(v_i, u) + c(u, v_j) = c_{ij}$.

Эффективные алгоритмы отыскания I -центров и абсолютных I -центров на графе предложены Хакими /36/.

Сформулированные выше задачи о центрах возникают (в некотором приближении) в тех случаях, когда множество возможных точек размещения центра конечно (I -центры), или когда структура связывающей сети является фиксированной (абсолютные I -центры). Если же множество возможных точек размещения центра может заполнять целую область, то адекватной моделью такой ситуации будет служить евклидова или манхэттенская задачи об I -центре.

Эти задачи формулируются следующим образом. На плоскости заданы n точек A_1, \dots, A_n . Необходимо разместить новую точку B так, чтобы минимизировать величину

$$\max_{1 \leq i \leq n} \rho(B, A_i), \quad (2)$$

где

$$\rho(B, A_i) = \sqrt{(x_B - x_{A_i})^2 + (y_B - y_{A_i})^2} \quad (3)$$

в случае евклидовой задачи и

$$\rho(B, A_i) = |x_B - x_{A_i}| + |y_B - y_{A_i}| \quad (4)$$

в случае манхэттенской задачи.

Алгоритмы решения этих задач предложены в работе /37/.

В случаях, когда точки A_1, \dots, A_n соответствуют разнородным объектам в исходной содержательной постановке задачи, удельные стоимости коммуникаций между B и различными A_i могут быть разными. Эта ситуация формализуется в виде задачи о взвешенном I -центре, в которой выражение (1) заменяется на

$$\max_{1 \leq i \leq n} k_i \rho(B, A_i), \quad (5)$$

где k_i - удельная стоимость коммуникаций между B и A_i .

Соответствующие задачи могут быть также решены методами работы /37/.

Более сложными являются задачи о кратных центрах, возникающие в тех случаях, когда требуется разместить несколько новых объектов. Задача о p -центре на графе формулируется следующим образом. На графе $G=(V, E)$ с длинами ребер c_{ij} найти p точек $x_1, \dots, x_p \in V$ так, чтобы минимизировать величину

$$\max_{v \in V} \min_{1 \leq j \leq p} c(v, x_j) \quad (6)$$

Множество точек x_1, \dots, x_p называется p -центром графа G . Задача об абсолютном p -центре получается, как и ранее, если разрешить размещать точки x_1, \dots, x_p не только в вершинах, но и на ребрах графа.

Различные подходы к решению задач о p -центрах на графах описаны в /36/.

Непрерывный вариант задачи о p -центрах формулируется аналогично: минимизировать

$$\max_{1 \leq i \leq n} \min_{1 \leq j \leq p} \rho(B_j, A_i), \quad (7)$$

где $\rho(B_j, A_i)$ имеют такой же смысл, что и в (2).

Рассмотрим теперь задачи о размещении медиан. Задача об I -медиане на графе отличается от задачи об I -центре тем, что вместо (1) необходимо минимизировать величину

$$\sum_{v \in V} c(x, v) \quad (8)$$

Задача об абсолютной I -медиане здесь не рассматривается, так как нетрудно показать, что абсолютная I -медиана должна располагаться в вершине графа и поэтому совпадает с I -медианой.

Алгоритм отыскания I -медианы графа приведен в работе /36/.

В случае, когда множество возможных точек размещения заполняет область, получаем евклидову либо манхэттенскую задачи об I -медиане. В них необходимо минимизировать величину

$$\sum_{i=1}^n \rho(B, A_i), \quad (9)$$

где $\rho(B, A_i)$ имеет тот же смысл, что и в (2).

Отметим существенное отличие задач об евклидовой (манхэттенской) I -медиане от соответствующих задач об I -центрах. Задачи об I -центрах являются, в сущности, дискретными, то есть могут быть сведены в перебор конечного числа вариантов (вершин так называемых диаграмм Вороного), в то время как задачи об I -медианах существенно непрерывны, и в лучшем случае можно рассчитывать лишь на итерационную процедуру, сходящуюся к искомому решению в пределе.

Задачи о p -медианах и о взвешенных p -медианах получаются из соответствующих задач о p -центрах аналогичным образом — заменой в минимизируемой функции операции $\max_{1 \leq i \leq n}$ на $\sum_{i=1}^n$.

Алгоритмы решения задачи о p -медиане на графе обсуждаются в работах /36, 38, 39/. Следует отметить, что эффективные комбинаторные алгоритмы, которые бы в полной мере учитывали специфику задачи, пока не разработаны. Поэтому приходится сводить ее к задаче линейного целочисленного программирования, а затем решать соответствующие линейные релаксированные задачи. Другой подход связан с использованием множителей Лагранжа /36/. Наконец, в работе /40/ предлагается алгоритм, использующий метод ветвей и границ.

Итерационные методы нелинейного программирования, позволяющие решать непрерывные задачи о p -медианах, описаны в работе /41/.

Общие задачи размещения могут быть существенно более сложными, чем описанные выше задачи размещения центров и медиан. Такие задачи обычно содержат дополнительный член в минимизируемой функции, который может быть интерпретирован как штраф за размещение медианы (центра) в той или иной точке. Кроме того, в общих задачах могут быть наложены дополнительные ограничения на возможные места размещения (зоны запрета), на структуру множества точек, прикрепленных к данному центру (медиане) и т.п. Некоторые общие задачи размещения рассмотрены в работах /38, 41/.

Все перечисленные выше задачи были связаны с размещением точечных объектов. На практике размещаемые объекты имеют определенную протяженность. Это обстоятельство обычно учитывают одним из следующих способов: либо фиксируют на внешнем контуре объекта точки входа и выхода, либо считают, что этой точкой является геометрический центр объекта.

3.2. Задачи соединения

В зависимости от структуры результирующей сети различают задачи построения путей и задачи построения связывающих сетей.

В задачах построения путей необходимо соединить две заданные вершины путем, минимизирующим некоторую функцию от весов (длин) ребер. Наиболее известной задачей такого рода является задача построения кратчайшего пути. В дискретной постановке она формулируется следующим образом. Дан граф $G = (V, E)$ с длинами ребер c_{ij} .

Необходимо построить путь, соединяющий пару заданных вершин $u, v \in V$, так, чтобы минимизировать величину

$$\sum_{i,j} c_{ij} (v_i, v_j), \quad (10)$$

где сумма распространяется на все ребра искомого пути. Эта задача является одной из наиболее изученных задач в дискретной оптимизации; известен целый ряд алгоритмов ее решения /36, 42/. В каждом конкретном случае в зависимости от длин ребер, густоты сети и других параметров может быть выбран наиболее подходящий алгоритм.

В непрерывном случае представляет интерес задача определения кратчайшего пути в области с запретными зонами. Эта задача формулируется следующим образом. На плоскости заданы две точки A и B и область U , содержащая эти точки. Необходимо найти кратчайший (в смысле евклидовой или манхэттенской метрики) путь, соединяющий эти точки и целиком проходящий по области U . Предполагается, что граница U является ломаной (быть может, несвязной). Такая задача может быть решена методами вычислительной геометрии /43/.

Другой важной задачей о построении путей является задача о пути с максимальной пропускной способностью. Эта задача соотносится с задачей о кратчайшем пути так же, как задача о центрах с задачей о медианах. Именно, необходимо в графе $G=(V, E)$ найти путь, соединяющий две заданные вершины $u, v \in V$, максимизирующий величину

$$\min c(v_i, v_j), \quad (11)$$

где минимум берется по всем ребрам искомого пути. Алгоритм решения этой задачи содержится в /44/.

Рассмотрим теперь задачи построения связывающих сетей. Общая формулировка этих задач такова: имеется множество точек A_1, \dots, A_n необходимо построить сеть, связывающую эти точки, то есть такую, в которой существовал бы путь между двумя любыми точками A_i, A_j минимизирующую некоторую функцию от длин (весов) входящих в нее ребер. Обычно эта функция такова, что удаление любого ребра ведет к уменьшению ее значения. В такой ситуации искомая сеть оказывается деревом, то есть между двумя любыми ее вершинами существует ровно один путь.

В классической ситуации минимизируемая функция есть просто сумма длин ребер. В этом случае в зависимости от возможности добавления новых вершин различают задачу о кратчайшем остове и задачу Штейнера.

В задаче о кратчайшем остове задан граф $G=(V, E)$ с длинами ребер c_{ij} и необходимо построить дерево, проходящее через все

Имеется ряд работ, посвященных построению связывающих сетей с дополнительными ограничениями. Так, в работе /53/ рассмотрены математические модели задач построения таких сетей при наличии препятствий, например дорог. Получающиеся при этом оптимизационные задачи могут быть решены методами нелинейного программирования. Другие модификации задач построения сетей рассмотрены в работах /54-57/.

3.3. Задачи компоновки

Общая задача компоновки на плоскости заключается в размещении заданного набора фигур T_1, \dots, T_m или некоторого его подмножества внутри заданной области без наложений элементов набора друг на друга так, чтобы минимизировать ту или иную компоновочную функцию. Простейшей (и основной) задачей такого типа является задача об упаковке прямоугольников в полосу. В этой задаче Ω - полубесконечная полоса, ограниченная двумя лучами O_1X_1 и O_2X_2 и перпендикулярным к ним отрезком O_1O_2 (дном полосы), фигуры $T_i, 1 \leq i \leq m$, - прямоугольники, основания которых параллельны дну полосы. Минимизируемой компоновочной функцией является максимум расстояния между точками упаковки и дном полосы.

Сформулированная задача оказывается весьма сложной даже в тех случаях, когда на вид прямоугольников T_1, \dots, T_m накладываются дополнительные ограничения (например равенство всех высот или всех длин). Проведенные исследования заставляют предполагать, что не существует алгоритмов, дающих в реальных случаях ($\sim 10^2$ прямоугольников) точное решение этой задачи за приемлемое время /58/. Поэтому наиболее перспективными являются алгоритмы, дающие за короткое время хорошее приближенное решение.

Исследование таких алгоритмов развивалось в двух направлениях. Первое из них связано с разработкой быстрых приближенных алгоритмов с априорной оценкой погрешности. Для таких алгоритмов удается провести полное математическое исследование и оценить отклонение получаемого результата от реального оптимума. Второе направление основано на применении функции плотного размещения. Для алгоритмов этого типа не удается провести анализ погрешности в общем виде, однако на практике они часто дают приемлемое решение. Достоинством этих алгоритмов является также то, что они легко обобщаются на случай непрямоугольных фигур и дополнительных ограничений.

Алгоритмы первого направления рассматривались в значительном числе работ (см. /59/ и цитированную там литературу). Так, в работе /60/ исследовались так называемые уровневые алгоритмы, заключающиеся в следующем. Список прямоугольников упорядочивается по убыванию высоты. Первый прямоугольник укладывается в левом нижнем углу, следующий - вплотную к нему справа и т.д. до тех пор, пока очередной прямоугольник не окажется слишком длинным. В этом случае через верхнее основание первого прямоугольника проводится горизонтальная линия l и оставшаяся часть списка укладывается аналогичным образом в полосу, дном которой служит l . Отрезок полосы между двумя последовательными прямыми называется блоком. Как доказано в работе /60/, асимптотическая погрешность этого алгоритма, обозначаемого в дальнейшем через A , не превышает 100%. При незначительной модификации алгоритма A , заключающейся в том, что очередной прямоугольник в списке укладывается в самый нижний из блоков, в которые он подходит, асимптотическую погрешность удается снизить до 70%.

Дальнейшее снижение асимптотической погрешности может быть получено ценой усложнения алгоритмов. Так, в работе /60/ предлагается разбить исходный список, упорядоченный по убыванию высоты, на два подсписка. В первый входят прямоугольники, длина которых не менее половины ширины полосы. Они укладываются с помощью алгоритма A , описанного выше, после чего полученная упаковка переупорядочивается по возрастанию длины (значение компоновочной функции при этом не изменяется). В результате в правом нижнем углу полосы образуется незаполненная область, в которую вписывается прямоугольник длины $w/3$ (w - ширина полосы). Оставшиеся прямоугольники из исходного списка укладываются с помощью алгоритма A внутри этого прямоугольника, а не поместившиеся туда - выше упаковки первого подсписка. Оказывается, асимптотическая погрешность этого алгоритма не превышает 50%.

В алгоритмах, описанных в работах /61,62/, исходный список разбивается на пять групп с учетом длины входящих в него прямоугольников. Каждая из полученных групп укладывается в определенную область (часть полосы) с помощью той или иной модификации алгоритма A . В первом из указанных алгоритмов этими областями являются прямоугольники различных размеров, последовательно вписываемые в незаполненные части полосы после окончания упаковки предыдущей группы. Во втором алгоритме используются нерегулярные области сложной формы. Асимптотическая погрешность первого алгоритма не превышает 34%, второго - 25%. Последняя оценка является наилучшей из известных на сегодняшний день.

В работе /59/ описаны также алгоритмы решения ряда других задач, примыкающих к изложенной выше, в частности задачи упаковки максимального числа прямоугольников из заданного списка в заданный прямоугольник.

Рассмотрим теперь второй подход к построению приближенных алгоритмов компоновки, разработанный в Институте проблем машиностроения АН УССР. Этот подход основан на понятии функции плотного размещения и подробно освещен в работах /63-65/. Функцией плотного размещения некоторой пары фигур называется зависимость расстояния между двумя фиксированными точками (полюсами) этих фигур от направления прямой, соединяющей эти точки, при плотном движении фигур (т.е. таком, при котором фигуры все время соприкасаются). Годографом функции плотного размещения называется множество точек, пробегаемых одним из полюсов при плотном движении.

С помощью введенных определений задача компоновки может быть представлена в виде задачи математического программирования. Следующая работа /66/, отметит основные свойства этой задачи:

целевая функция кусочно-гладкая и неубывающая по каждому аргументу;

область допустимых решений невыпукла;

аналитическое выражение функции плотного размещения очень громоздко;

размерность задачи составляет $2n$, где n - число размещаемых прямоугольников;

количество неравенств - порядка n^2 ;

в каждое неравенство входит не более 6 переменных;

все локальные экстремумы достигаются на границе допустимой области;

количество локальных экстремумов - порядке $n!$;

функция распределения экстремальных значений целевой функции при $n \rightarrow \infty$ сходится равномерно с вероятностью 1 к логнормальному закону.

Учет перечисленных особенностей приводит к следующему алгоритму отыскания допустимого решения, называемому методом последовательно-одиночного нерегулярного размещения. Для $n = 1, 2, \dots$ осуществляются следующие шаги:

1) строится годограф функции плотного размещения фигуры и области $R^2 \setminus (\cup_{j=1}^{i-1} U_j)$;

2) в области, ограниченной этим годографом, отыскивается точка, дающая минимальное приращение целевой функции, и в нее помещается полюс;

3) $i:=i+1$; если $i < n$ - переход на шаг 1, иначе размещение закончено.

Этот алгоритм приводит к решению n двумерных задач (на шаге 2) вместо одной $2n$ -мерной. Очевидно, что генерируемое таким способом размещение может оказаться весьма далеким от оптимального (в действительности можно показать, что оно может быть сколь угодно хуже оптимального). Для того, чтобы улучшить качество генерируемых решений в работах /64,66/, предлагается ввести в процедуру перебора последовательностей в описанном алгоритме фактор случайности. Простейшим способом реализации этой идеи является генерирование случайных последовательностей и выбор лучшего из полученных результатов. Более эффективным оказывается метод асимптотического перебора локальных экстремумов, заключающийся в следующем. С помощью датчика случайных чисел выбирается некоторая последовательность и осуществляется последовательно-одиночное нерегулярное размещение объектов в этой последовательности. Затем некоторое количество случайно выбираемых объектов меняют местами и процедура повторяется. Если полученное размещение оказывается хуже, чем предыдущее, возвращаются к исходной последовательности, иначе - продолжают осуществлять описанные шаги с новой последовательностью. В результате таких действий будет сгенерирована последовательность улучшающихся значений целевой функции. На каждом шаге с помощью экстраполяции вычисляется предполагаемое значение глобального экстремума, и если полученный результат отстает от него не более чем на Δ , осуществляется переход к новому этапу алгоритма, на котором число изменяемых мест в последовательности меньше. Итерации продолжаются до тех пор, пока это число не достигнет единицы.

В работе /64/ получены результаты, подтверждающие высокую эффективность изложенного метода.

Выше были описаны методы решения простейшей задачи компоновки на плоскости. Эти методы могут быть разделены на задачи пространственной компоновки /59,66/, на случаи областей сложной формы с запретами и т.п. С более подробным описанием этих и других подходов к решению различных задач компоновки можно ознакомиться в работах /59,64,67/.

4. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ

В последнее время предпринимаются значительные усилия по соединению отечественного программного обеспечения задач формирования генеральных планов в мощный комплекс, пригодный для решения широкого класса отраслевых и общесоюзных задач. На сегодняшний день накоплен уже некоторый опыт практического применения этого программного обеспечения. Этот опыт показывает высокую эффективность автоматизированного проектирования генеральных планов. Средний эффект при машинном проектировании крупного предприятия составляет несколько миллионов рублей /31/.

Ниже приводится краткое описание отечественных комплексов программ, предназначенных для автоматизации на разных уровнях задач формирования генеральных планов, — от расположения площадки на местности до компоновки конкретного этажа или помещения. Основной упор при изложении материала делается на содержательную и методическую стороны дела. Совсем не затронут широкий круг вопросов, связанных с автоматизацией графических работ.

Один из первых комплексов работ по применению вычислительной техники в задачах поиска оптимальных компоновочных решений был выполнен в Центральном научно-исследовательском и проектном институте автоматизированных систем в строительстве (ЦНИПИАСС)* /17,68-71/. В этих работах рассматривались два вопроса: поиск оптимальных объемно-планировочных решений одноэтажных промышленных зданий и формирование конструктивных решений одноэтажных промышленных зданий. Первая задача освещена в этом обзоре, вторая — в работе /68/.

По инициативе Гипротис в МИФИ в 1968 г. разрабатывались две программы с наименованиями "Компоновка 1-70" и "Компоновка 2-70" /24,71/.

В процессе эксплуатации программы "Компоновка 2-70" было установлено, что при компоновке схемы генплана группы предприятий не удается получить рациональное расположение центров культурно-бытового обслуживания. В связи с этим в 1969 — 1970 гг. в Гипротисе была разработана программа "Компоновка 3-70" и соответствующая методика решения задач размещения центров обслуживания трудящихся в промышленных районах. Все три программы создавались на единой методической основе.

* До 1974 г. — Гипротис, с 1982 г. — ЦНИИпроект

В 1970 — 1972 гг. специалисты МИФИ проводили исследования и разработку программы для компоновки объектов с помощью метода ветвей и границ. Однако эта программа с предварительным названием "Компоновка 2-72" не получила распространения.

В этот же период в Центральном научно-исследовательском институте проектирования градостроительства была разработана аналогичная методика /12/, предназначенная для решения задач размещения основных градостроительных объектов и зонирования города. Программа размещала не одну, а несколько площадок. При этом расстояния между элементами определялись с учетом естественных преград.

В 1972 г. в Гипротисе и МИФИ была выпущена методика автоматизированного выбора объемно-планировочных решений одноэтажных зданий /29/ и программа "Компоновка 10-73". В дальнейшем усовершенствование этой программы выполнялось специалистами Института проектирования и стандартизации Строительной академии ГДР. Была выпущена новая версия "Компоновка 10-75". Программа "Компоновка 10-73" усовершенствовалась также в Ленинградском государственном союзном проектном институте (ЛГСПИ). Была разработана методика многокритериальной оптимизации, основанная на повышении управляемости процессом поиска решений за счет получения и использования дополнительной информации в режиме диалога проектировщика с ЭВМ. В методике предложена более универсальная "нормировка" критериев, а также выделяется область парето-оптимальных решений. Приоритет критериев основывается на выравнивании обобщенных отклонений показателей от их экстремальных значений. До этого в программе использовались значения весовых коэффициентов, определяющиеся по методу Дельфи /70/.

Описанная методика в 1976 г. была передана в отраслевой фонд алгоритмов и программ. В этой редакции программная система "Компоновка 10-73" дополнена выводом на графопостроитель и имеет название "Компоновка 10-73 К".

В 1970 — 1972 гг. в ЛГСПИ была проведена одна из первых разработок для решения на ЭВМ задачи распределения производственных подразделений предприятия по корпусам ("Распределение-72") и размещения подразделений в одноэтажном корпусе ("Расцеховка-72") /26/.

Большая работа по использованию ЭВМ в оптимизации компоновочных решений производственных зданий и предприятий проводилась в Ростовском инженерно-строительном институте (РИСИ) и Ростовском государственном университете (РГУ) /22,23/. В результате был разработан ряд моделей и программ, охватывающих несколько уровней рассмотрения проектируемых предприятий:

компоновка оборудования с целью определения пространственных параметров элементарного производственного подразделения, или так называемого передела, состоящего из группы станков, работающих в единой пространственной среде;

компоновка группы переделов, образующих производственное отделение;

компоновка группы производственных отделений, образующих цех;

компоновка группы цехов, образующих одно- или многоэтажное здание;

компоновка группы зданий, образующих функциональную зону предприятия;

компоновка нескольких функциональных зон предприятия, то есть формирование его генерального плана.

Такое многоуровневое рассмотрение позволило связать указанные задачи в определенную последовательность и искать решения, оптимальные не только на каждом уровне, но и в совокупности.

Первые три задачи решаются с помощью программы "Цех-PI".

Для компоновки объемно-планировочных решений зданий специалисты РИСИ и РГУ создали 4 программы: "Здание-PI", "Здание-P2", "Форма-PI", "Корпус-PI". Программы "Здание-PI" и "Здание-P2" предназначены для решения задач одного типа - компоновки одноэтажных производственных зданий, состоящих из производственных, складских и вспомогательных помещений. Программа "Форма-PI" позволяет делать то же самое, но дает возможность компоновать здание любой из 6 заданных форм.

Для определения объемно-планировочного решения многоэтажного здания одного из типов предназначена программа "Корпус-PI".

Для компоновки генпланов предприятий разработаны программы "Блок-PI", "Генплан-PI", "Генплан-P2". Программа "Блок-PI" предназначена для определения количества зданий на генплане и оптимальной блокировки цехов предприятий в здании. Программы "Генплан-PI" и "Генплан-P2" предназначены для автоматической компоновки схем расположения различных зданий на территории предприятия.

В 1974 - 1976 г. в ЦНИИИАССе был разработан программный комплекс "Форпроект-1" /72/, предназначенный для проектирования одноэтажных промзданий. Он состоит из ряда подсистем, которые позволяют получать группу эффективных вариантов, оценить их по совокупности критериев, сформировать направление дальнейшего поиска оптимального решения. В системе реализованы диалог с проектировщиком и ряд графических средств.

В 1976 г. была проведена экспериментальная проверка системы на ряде проектов Госстроя СССР, Минхиммаша СССР и Минпромстроя. Анализ результатов показал высокую эффективность получаемых решений по сравнению с традиционными. Так, в частности, были значительно улучшены следующие показатели:

напряженность грузовых и людских потоков;

стоимость внутренних стен;

стоимость грузопотоков;

сроки строительства;

общий расход стройматериалов.

Программа "Компоновка 2-75" с электропланшетом и первоначальный справочно-информационный фонд для автоматизированного проектирования образовали экспериментальный методико-технический комплекс СОКРАД-75 (система для оценки компоновочных решений с автоматизированным диалогом) /73/.

Этот комплекс дает возможность решать задачи трех видов:

размещение одной или нескольких площадок для нового строительства;

компоновка группы зданий и сооружений на данной территории;

компоновка основных объемов и планировка внутренней структуры зданий.

Оценка вариантов компоновочных решений проводится на основе анализа следующей информации:

перечень основных объемов зданий и помещений;

диапазон допустимых размеров;

состав и мощность всех потоков и коммуникаций.

Оценка варианта является суммой оценок по видам элементов, которые являются суммой оценок элементов.

В 1974 - 1976 гг. в ЦНИИИАССе разрабатывались системы "Компоновка 4-76" и "Компоновка I-76". Первая из них предназначалась для решения компоновочных задач дедуктивным методом /18/ путем последовательного деления заданного абриса объекта на 2, 4 и т.д. зон. Вторая система работала с полигонально моделируемой территорией.

В результате сотрудничества ЦНИИИАССа и Харьковского института проблем машиностроения АН УССР появилась программа "Компоновка-II-77", предназначенная для формирования генеральных планов предприятий. С помощью этой программы в Гипромезе было проведено проектирование Оскольского электрометаллургического комбината. За счет оптимизации площадь завода была уменьшена на 45 га, что обеспечило экономию 5% капитальных затрат и одновременное уменьшение транспортных затрат на 18% /74/.

С 1976 г. специалисты ЦНИИАСС, РИСИ и ЛГСПИ начали совместную разработку "Пакета прикладных программ для размещения и компоновки производственных комплексов и зданий" (ППП КОМП). Этот пакет дает возможность решить следующие задачи:

размещение площадки для строительства одного или группы предприятий;

компоновка группы предприятий (генплан промузла);

компоновка группы зданий (генплан предприятия);

компоновка многоэтажного здания;

компоновка одноэтажного здания или одного этажа многоэтажного здания /75/.

Для решения большой группы задач, связанных с трассировкой коммуникаций к компоновке объектам, предназначен "Пакет прикладных программ для укрупненного технико-экономического расчета инженерных и транспортных коммуникаций производственных комплексов" /76/.

Целый ряд программ, предназначенных для автоматизированного проектирования генеральных планов предприятий химической промышленности, был разработан в (НИОХИМе). Еще в 1977 г. для формирования структуры, оценки и оптимизации объемно-планировочных решений одноэтажных объектов была разработана программа СКПФ /2/. Аналогичную задачу для многоэтажных зданий решала программа СКМФ /2/. Для перекomпоновки уже размещенных объектов (в том числе зданий на площадке) предназначалась программа ГПРФ /2/. Впоследствии все указанные программы, а также ряд новых, были объединены в систему "Компоновка ХТС". Подробное описание состава и возможностей этой системы содержится в работе /5/.

Дальнейшим развитием этого направления было создание диалоговой системы синтеза многосвязных структур промышленных объектов ДИСК /77/. Эта система позволяет достаточно эффективно решать большинство задач формирования генеральных планов и с учетом известного сходства химических и микробиологических производств может быть рекомендована для использования в микробиологической промышленности.

В десятой пятилетке был разработан ряд пакетов прикладных программ для решения тех или иных проектных задач. Так, задачи выбора стройплощадки, разработки генпланов и т.п. решаются в "Пакете прикладных программ для компоновки и размещения производственных комплексов и зданий" (ППП КОМП), который разработан ЦНИИАССом,

РИСИ и др. /31/. Он предназначен для автоматизированного формирования оценки и выбора рациональных компоновочных решений на ранних стадиях проектирования площадки для строительства одного или группы предприятий, генпланов предприятия или промузла, компоновки этажа, одно- или многоэтажных зданий.

Наибольший объем информации при решении компоновочных задач приходится на трассировку коммуникаций к элементам компоновки на заданной территории. Трассировка требует знания технических и экономических характеристик этих связей, а также вариантов размещения головных сооружений и точек примыкания их к проектируемым магистралям.

Получение необходимых данных осуществляет "Пакет III для укрупненных технико-экономических расчетов при трассировке инженерных и транспортных коммуникаций производственных комплексов", разработанный ЦНИИАССом, ПромтрансНИИпроектом, Союзводоканалпроектом и др. Он обеспечивает:

расчет мощности пассажиро- и грузопотоков;

расчет ливневых стоков;

укрупненный гидравлический расчет трасс водоводов;

укрупненный гидравлический расчет трасс теплосетей;

расчет проводов и тросов воздушных электролиний и т.д.

Новую форму организации проектно-сметного дела, в основе которой лежит комплекс специализированных структурных подразделений проектных организаций, обеспечивающих оперативную разработку документации на базе программно-информационных средств и вычислительных систем, представляет собой технологическая линия автоматизированного проектирования производственных зданий /78/.

Создание ТЛП в капитальном строительстве началось с системы "Комплекс-I" (Гипротис), ориентированной на разработку одноэтажных промзданий. Дальнейшее развитие ТЛП получила в системах КОРТ (Киев ЗНИИЭП), КЦД - ориентированной на формирование крупнопанельных жилых домов, "Мачта" (ЦНИИ проектстальконструкция), "Комплекс-МП" - для проектирования многоэтажных промзданий, "Комплекс-ЛМК" (Гипротис) - для проектирования легких металлических конструкций.

С 1975 г. начинает развиваться автоматизированная система многофункционального назначения (ТЛП промзданий), ориентированная на комплексную автоматизацию архитектурных, сантехнических и сметных работ.

Эту систему характеризует многообразие функциональных возможностей, предоставляемых проектировщикам, при котором производится оперативное обеспечение проектировщика информацией о реальных возможностях автоматизации конкретных проектных работ и возможностях выбора конкретных программных средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В обзоре проанализирован широкий круг работ, связанных с проблемами автоматизации формирования генеральных планов и компоновок промышленных предприятий. Выделены основные классы задач, возникающих в этой области проектирования. К настоящему времени накоплен значительный опыт разработки математических моделей и методов исследования задач построения генеральных планов. Описанные математические задачи образуют самостоятельные разделы в методах оптимизации, такие как геометрическое проектирование, многокритериальная оптимизация и т.д. Проведенный анализ показал, что за редким исключением эти задачи не поддаются точному решению и должны быть использованы приближенные методы и методы локальной оптимизации. На практике часто применяют эвристические алгоритмы, использующие случайный поиск или имитирующие в той или иной степени процесс ручного проектирования.

Значительное число работ посвящено ориентированным на программную реализацию описаниям более узких классов задач построения генеральных планов и компоновок. При этом особое внимание уделено формализации реальных ограничений и критериев оценки качества проектных решений.

Описанные модели и методы легли в основу построения ряда программных комплексов, с помощью которых решались конкретные задачи проектирования в разных отраслях промышленности. Внедрение указанных комплексов позволило в ряде случаев повысить экономическую эффективность проектирования. Проводились работы по автоматизации отдельных трудоемких процессов проектирования, такие как ввод и контроль информации о земельных участках, графические работы, создание сводных баз данных о типовых проектных решениях и т.д. Однако эти работы не завершились созданием единого универсального программного комплекса, ориентированного на стандартные программные средства и вычислительную технику.

Разработанные методы решения задач построения генеральных планов и программные комплексы могли бы широко применяться в САПР различных отраслей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пичугин С. А., Козорез А. А. // Хим.пром. - 1979. - № 8. - С.52-54.
2. Разработка и внедрение системы автоматизированного проектирования генеральных планов предприятий химической промышленности / И.Д.Зайцев, А.Ф.Зозуля, А.А.Мовчан и др. // Препринт ИК АН УССР. - 1977. - № 77-42. - 28 с.
3. Стоян Ю. Г., Литвинов В. Н., Новиков И. Д. Разработка генеральных планов промышленных предприятий с помощью ЭВМ // Препринт ИПМаш АН УССР. - 1977. - № 43. - 8 с.
4. Зайцев И. Д. Методы оптимального проектирования производств основной химии. - Киев: Техника, 1977. - 139 с.
5. Салыга В. И., Зайцев И. Д. Автоматизация проектирования непрерывных производств. - Киев: Техника, 1979. - 160 с.
6. Блажко И. В., Минаков И. П. Автоматизация планирования трасс инженерных и транспортных коммуникаций. - Л.: Стройиздат, 1982. - 89 с.
7. Скворцов А. А. Использование математических методов и ЭВМ для проектирования оптимального размещения оборудования: Серия II: Общие вопросы микробиологической промышленности. - М.: ОНТИЭИмикробиопром, 1982. - Вып.5. - 39 с.
8. Автоматизация процессов крупномасштабного картографирования // Труды НИИПГ. - 1979. - Вып.3. - 176 с.
9. Антипов И. Т., Лисицкий Д. В. // Геодезия и картография. - 1979. - № II. - С.24-27.
10. Минаков И. П., Озерова А. П. К вопросу о разработке единых межотраслевых правил формирования ЦММ различных типов // Труды ЦНИИИАСС. - 1978. - Вып.19. - С.72-80.
11. Озерова А. П., Левченко Г. И. Подготовка исходных данных и программное обеспечение цифрового моделирования местности картометрическим способом // Труды ЦНИИИАСС. - 1980. - Вып. 27. - С.69-74.
12. Заков А. И. Модель оптимизации планирования структуры города // Применение математических методов и вычислительной техники в градостроительных задачах. - М., 1971. - С.3-12.
13. Бойко А. В. Методы и средства автоматизации топографических съемок. - М.: Недра, 1980. - 222 с.
14. Минаков И. П. Некоторые актуальные вопросы математического моделирования и цифрового макетирования местности // Труды ЦНИИПроект. - 1983. - Вып.4. - С.7-16.

15. Иевлева О. Т., Рафалович И. И. Вопросы моделирования рельефа местности при автоматизированном решении задач вертикальной планировки // Труды ЦНИИПроект. - 1983. - Вып.4. - С.151-158.

16. Татарникова Т. В., Тимофеева Н. М. Опыт использования ЦМЭ при поиске оптимальных вариантов направления развития городов // Труды ЦНИИПроект. - 1983. - Вып.4. - С.138-142.

17. Минаков И. П. Критерии автоматизированной оценки компоновочных решений промузлов: Автореф. дис. канд. техн. наук. - М., 1972. - 16 с.

18. Новиков В. В. Два эвристических метода компоновки объектов // Вопросы автоматизированного проектирования объектов строительства. - М., 1979. - С.12-14.

19. Бузина И. М., Корабельникова Р. И. Опыт использования методики и комплекса программ "Компоновка 2-70" // Труды Гипротис. - 1972. - Вып.2. - С.47-52.

20. Зайцев И. Д., Мовчан А. А. Разработка и внедрение подсистемы проектирования генеральных планов в САПР "Сода" // Организация, методы и технология проектирования. - 1978. - № 6. - С.18-20.

21. Методика автоматизированной компоновки объектов химической промышленности. Харьков: НИОХИМ, 1978. - 89 с.

22. Жак С. В., Мермельштейн Г. Г., Рафалович И. И. Общая схема имитационной модели процесса архитектурно-строительного проектирования промышленных предприятий // Имитационное моделирование. - М., 1977. - С.10-23.

23. Рафалович И. И., Жак С. В. Компоновочные задачи архитектурно-строительного проектирования и их математическое обеспечение // УИИ

Int. Kong. Math. Ing. Wiss.: Anwendung mathematischer Methoden und der EDV zur Intensivierung der Bauproduktion. - Weimar, 1978.

24. Использование ЭВМ при проектировании промузлов и промрайонов городов: Методики. - М.: Гипротис, 1971. - 106 с.

25. Митвали М. Оптимизация решений многоэтажных общественных зданий с применением вычислительной техники: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1977. - 16 с.

26. Егоров В. А., Романовский И. В. // Электронная техника. Сер.13. - 1971. Вып.2. - С.71-82.

27. Эпельцвейг Г. Я., Амангельдиев Б. Р., Арынгазин К. Ш. Постановки задачи объемной компоновки технологического оборудования // Труды ЦНИИМАС. - 1980. - Вып.27. - С.123-128.

28. Эпельцвейг Г. Я., Смолина Г. Е. Анализ рациональной этажности промышленных зданий // Труды ЦНИИМАС. - 1976. - Вып.11. - С.126-130.

29. Автоматизированный выбор объемно-планировочных решений одноэтажных промышленных зданий. - М.: ЦНИИМАС, 1973. - 63 с.

30. Математическая модель процесса построения оптимального варианта объемно-планировочного решения одноэтажного промздания. "Компоновка 10-73". - М.: ЦНИИМАС, 1974. - 81 с.

31. Минаков И. П., Рафалович И. М., Тимошук В. С. Использование ЭВМ при проектировании генеральных планов и объемно-планировочных решений зданий промышленных предприятий. - Л.: Стройиздат, 1982. - III с.

32. Лопусев П. З. Задачи рационализации геометрических параметров компоновочных решений производственных объектов // Организация, методы и технология проектирования. - 1979. - № 9. - С.21-24.

33. Тищенко А. В. Выбор объемно-планировочного решения одноэтажного промышленного здания // Труды ЦНИИМАС. - 1975. - Вып.10. - С.132-139.

34. Алгоритм случайного поиска оптимального варианта объемно-планировочного решения одноэтажного здания и его экспериментальная проверка // Фонд алгоритмов и программ для ЭВМ (в отделе "Строительство"). - 1974. - Вып.У1-27.

35. Эпельцвейг Г. Я. О возможности реализации автоматических режимов поиска эффективных проектных решений сложных объектов с использованием системы "Форпроект-1" // Труды ЦНИИМАС. - 1978. - Вып.19. - С.28-36.

36. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. - М.: Мир, 1978. - 432 с.

37. Megiddo N. // SIAM J. Computing. - 1983. - Vol.12. - № 4. - P. 14-16

38. Elson D. // Oper. Res. Quart. - 1972. - Vol. 23. - № 1. - P. 31-43.

39. Revelle C., Swain R. // *Geograph. Analysis.* - 1970. - Vol. 2. - N 1. - P. 30-39.
40. Jarvinen P., Rajala J., Siervo H. // *Oper. Res.* - 1972. - Vol. 20. - N 2. - P. 173-185.
41. Eilon S., Watson-Gandy C., Christofides N. *Distribution management: mathematical modelling and practical analysis.* - London: Griffin, 1971. - 234p.
42. Mahr B. // *Lect. Notes Comp. Sci.* - 1981. - Vol. 100. - P. 335-353.
43. Preparata F., Lee D. // *IEEE Trans. Comput.* - 1984. - Vol. 33. - N 12. - P. 1072-1101.
44. Вайнштейн А. Д. О построении цепей с одним экстремальным свойством // *Труды МИИТ.* - 1979. - Вып. 640. - С. 121-125.
45. Cheriton D., Tarjan R. // *SIAM J. Computing.* - 1976. - Vol. 5. - N 4. - P. 724-742.
46. Yao A. // *Inform. Proc. Lett.* - 1975. - Vol. 4. - N 1. - P. 21-23.
47. Dreyfus S., Wagner R. // *Networks* - 1972. - Vol. 1. - N 2. - P. 195-207.
48. Соскауне Е., Newgill D. // *Inform. Proc. Lett.* - 1986. - Vol. 22. - N 3. - P. 151-156.
49. Nakimi S. // *Networks.* - 1972. - Vol. 1. - N 2. - P. 113-134
50. Соскауне Е. // *J. SIAM.* - 1970. - Vol. 18. - N 1. - P. 150-159.
51. Winter P. // *Networks.* - 1985. - Vol. 15. - N 3. - P. 323-345.
52. Напан М. // *J. SIAM.* - 1966. - Vol. 14. - N 3. - P. 255-265.
53. Зайцев И. Д., Вайнер В. Г., Губницкий С. Б. Алгоритмы решения различных модификаций задачи о переходе дороги // *Математические методы кибернетики.* - Киев, 1980. - С. 60-65.
54. Вайнер В. Г., Зайцев И. Д., Лившиц Э. М. // *Автоматика и телемеханика.* - 1978. - N 7. - С. 158-162.
55. Зайцев И. Д., Вайнер В. Г. // *Экономика и матем. методы.* - 1979. - Т. 15. - N 1. - С. 171-177.
56. Зайцев И. Д., Вайнер В. Г. // *Доклады АН УССР: Сер. А.* - 1977. - N 5. - С. 476-479.
57. Зайцев И. Д., Салыга В. И., Вайнер В. Г. // *Доклады АН УССР: Сер. А.* - 1979. - N 12. - С. 1035-1039.
58. Гэри М., Джонсон Д. *Вычислительные машины и труднорешаемые задачи.* - М.: Мир, 1982. - 416 с.
59. Вайнштейн А. Д. // *Управляемые системы.* - 1984. - Вып. 25. - С. 17-37.
60. Coffman E. et. al. // *SIAM J. Computing.* - 1980. - Vol. 9. - N 4. - P. 808-826.
61. Golan I. // *SIAM J. Computing.* - 1981. - Vol. 10. - N 3. - P. 571-585.
62. Baker B., Brown D., Katseff H. // *J. Algorithms.* - 1981. - Vol. 2. - N 4. - P. 348-368.
63. Задачи размещения геометрических объектов в проектировании / В. Г. Ещенко, В. Н. Литвинов, И. В. Аристова и др. // *Препринт ИК АН УССР.* - 1981. - N 81-31. - 31 с.
64. Стоян Ю. Г., Гиль Н. И. *Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов.* - Киев: Наукова думка, 1976. - 248 с.
65. Стоян Ю. Г., Гиль Н. И., Ещенко В. Г. Некоторые вопросы автоматизации программирования и решения задач рационального размещения плоских геометрических объектов // *Препринт ИК АН УССР.* - 1981. - N 81-58. - 35 с.
66. Стоян Ю. Г., Пономаренко Л. Д., Литвинов В. Н. *Размещение тел в трехмерном пространстве* // *Препринт АН ИПМаш АН УССР.* - 1976. - N 19. - 74 с.
67. Стоян Ю. Г., Кулиш Е. Н. *Автоматизация проектирования компоновки оборудования летательных аппаратов.* - М.: Машиностроение, 1984. - 200 с.
68. Блюмберг И. С. Система автоматизированного проектирования одноэтажных промзданий и ее применение для выбора оптимальных объемно-конструктивных решений: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. - М., 1973. - 17 с.
69. Григорьев Э. П. *Инвариантный метод проектирования:* Автореф. дис. ... канд. архит. - М., 1972. - 27 с.
70. Нагинская В. С. *Оптимизация компоновочных решений одноэтажных промзданий:* Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1971. - 12 с.
71. Родендорф Ю. К. *Эффективность автоматизации проектирования планировочных решений одноэтажных промзданий:* Автореф. дис. ... канд. экон. наук. - М., 1974. - 26 с.

72. Эпельцвейг Г. Я. Задачи и функции автоматизированной системы формирования проектных решений одноэтажных производственных зданий (Форпроект-1) // Труды ЦНИИПИАСС. - 1975. - Вып. 10. - С. 35-44.

73. Использование экспериментального комплекса СОКРАД-75 по программе "Компоновка 2-75". Методические указания. - М.: ЦНИИПИАСС, 1976. - 35 с.

74. Литвинов В. Н., Токарев В. Н. Комплекс программ для разработки схем генеральных планов "Компоновки П-77" // Препринт ИГиМаш АН УССР. - 1978. - 30 с.

75. Лопусев П. З., Минаков И. П. Пакет прикладных программ для решения компоновочных задач объектов строительства // Системы автоматизированного проектирования в строительстве. - М., 1974. - С. 241-243.

76. Пакет прикладных программ для укрупненного расчета и трассировки инженерных и транспортных коммуникаций / В. И. Козлов и др. // Системы автоматизированного проектирования. - М., 1979.

77. Диалоговая система синтеза многосвязных структур промышленных объектов / И. Д. Зайцев, И. М. Кисиль, В. Г. Вайнер и др. // Препринт ИГиМаш АН УССР. - 1981. - № 81-30. - 50 с.

78. Богод Б. Н., Слепухин В. Я., Эпельцвейг Г. Я. Технологические линии автоматизированного проектирования промышленных зданий. - М.: Стройиздат, 1982. - 159 с.

Оглавление

Введение.....	I
1. Постановки и методы решения задач компоновки строительных генеральных планов промышленного узла и предприятия.....	5
1.1. Размещение площадки в заданном районе.....	5
1.2. Компоновка группы предприятий.....	7
1.3. Компоновка зданий и сооружений на территории предприятия.....	9
2. Постановки и методы решения задач компоновки производственных зданий.....	14
2.1. Компоновка многоэтажного здания.....	15
2.2. Компоновка помещений на этаже или в одноэтажном здании.....	20
3. Математические модели задач оптимального формирования генеральных планов.....	25
3.1. Задачи размещения.....	25
3.2. Задачи соединения.....	28
3.3. Задачи компоновки.....	30
4. Программное обеспечение задач формирования генеральных планов.....	34
Заключение.....	40
Литература.....	41