

КИЕВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

АЛЕКСИН Игорь Викторович

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА АЭРОДРОМОВ
НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специальность 05.23.11 - Строительство автомобильных
дорог и аэродромов

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Киев 1994

257



00343996 (Y)

Дисертацією являється

Работа выполнена в киевском международном университете гражданской авиации.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Вержский Юрий Васильевич.

Официальные оппоненты:

1. доктор технических наук, профессор Баран Петр Иванович;
2. кандидат технических наук, доцент Канин Александр Петрович.

Ведущая организация - Укрэропроект Департамента авиационного транспорта Министерства транспорта Украины, г.Киев.

Защита состоится "01. мае 1994 г. в 10:00 на заседании специализированного ученого совета Д068.09.02 Киевского автомобильно-дорожного института по адресу: 252601, Киев-10, улица Суворова, 1. К.333а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "30" мае 1994 г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета,
профессор

Дмитриев Н.Н.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Повышение требований к безопасности полетов, рост объемов перевозок воздушным транспортом, в том числе международных, модернизация парка воздушных судов, низкая обеспеченность гражданской авиации СНГ категорированными аэродромами и необходимость приведения их геометрических параметров к международным стандартам требуют совершенствования наземной базы отрасли. Необходима реконструкция преобладающей части аэродромов Украины.

Большая потребность в аэродромном строительстве, его высокая стоимость и быстрое удорожание требуют экономного использования ограниченного объема выделяемых на него капитальных вложений при одновременном ускорении ввода объектов строительства в эксплуатацию. Одним из главных направлений решения этой проблемы является повышение качества, сокращение сроков и снижение стоимости проектирования. Наиболее эффективно это достигается использованием математического моделирования на ЭВМ.

Обязательной составной частью проекта как строительства, так и реконструкции (удлинение взлетно-посадочных полос, расширение перронов и мест стоянки самолетов, реконструкция рулежных дорожек) является вертикальная планировка, цель которой состоит в разработке оптимального (рационального) решения по исправлению существующего рельефа грунтовых площадей аэродрома, а также по созданию проектного рельефа поверхности искусственных покрытий, обеспечивающих условия нормальной работы авиации и инженерных сооружений аэродрома (искусственных покрытий, водосточно-дренажной сети и тому подобное). От ее решения в значительной степени зависят экономичность строительства и технической эксплуатации аэродрома.

На практике выявление участков рельефа, требующих исправления, и их проектирование (дефектовка), как правило, выполняются вручную с применением простейших графических приспособлений. При этом выбор решения на многовариантной основе ограничен сроками проектирования, что не позволяет в достаточной мере судить о преимуществах принятого решения.

Необходимость получения в приемлемые сроки решений, ба-

вирующихся на объективных оценках, привела к разработке различных моделей, использованию численных методов для исследования вертикальной планировки летных полос аэродромов и созданию на их основе средств автоматизированного проектирования. Однако, используемые методы накладывают на модели вертикальной планировки такие дополнительные ограничения, которые приводят к существенному упрощению модели и снижению степени ее адекватности исследуемому объекту.

В настоящее время использование моделей, вытекающих из применения наиболее распространенных в инженерной практике рациональных методов проектирования, зачастую не позволяет получить экономичное решение. Поэтому дальнейшая разработка и исследование альтернативных моделей объектов вертикальной планировки аэродромов и приложений методов оптимизации, необходимых для формирования проектного рельефа, более полно соответствующего нормативным требованиям, являются актуальной научной задачей.

В данной работе рассматривается использование имитационного моделирования для исследования объектов вертикальной планировки. Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых некоторыми критериями или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы.

Имитационные модели не позволяют формировать решение в том виде, в каком оно имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве средства для анализа поведения системы. Поэтому для нахождения оптимального управления системой использован модифицированный метод пси-преобразований, который позволяет найти глобальный оптимум на основании оценки возможных вариантов поведения всей системы для целевой функции практически произвольного вида.

Целью работы является:

- разработка методики вертикальной планировки летных полос аэродромов, основанной на имитационном моделировании;
- построение алгоритма численной реализации имитационной модели поверхности летных полос аэродромов;

- разработка программного комплекса автоматизированного проектирования рельефа летных полос аэродромов;
- применение разработанной методики и программного комплекса для реального проектирования.

Научную новизну работы составляют:

- применение имитационного моделирования для проектирования вертикальной планировки;
- разработка алгоритма численной реализации имитационной модели поверхности летных полос аэродромов.

Практическая ценность состоит в разработке методики оптимального проектирования поверхности летных полос аэродромов на основе имитационного алгоритма. Разработанная методика и реализующий ее комплекс программ могут использоваться для автоматизированного проектирования вертикальной планировки при строительстве и реконструкции аэродромов. Эффективность методики и программного комплекса проверены на объектах реального проектирования.

Достоверность решений подтверждается сопоставлением результатов численных исследований с аналитическими решениями тестовых задач и материалами проектов вертикальной планировки реальных объектов, выполненных традиционными средствами.

Апробация работы. Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на Всесоюзных научно-технических конференциях "Современные проблемы развития наземной базы гражданской авиации" (Киев, 1988), "Методы потенциала и конечных элементов в автоматизированных исследованиях инженерных конструкций" (Киев, 1991), на IX-XII научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Киевского института инженеров гражданской авиации (Киев, 1988-1991) и на семинарах Научно-исследовательского института механики быстропротекающих процессов (Киев, 1993).

Публикации по работе. По материалам диссертации опубликовано три научные статьи.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы (45 наименований) и приложения, изложена на 176 страницах машинописного текста, содержит 14 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, приведена общая характеристика работы, ее новизна, практическая значимость для народного хозяйства, а также изложены сведения об апробации, публикации результатов выполненных исследований и структуре диссертации.

В первой главе рассматриваются используемые на практике способы изображения и проектирования рельефа, его математическое моделирование, методы оптимизации поверхности летных полос аэродромов и автомобильных дорог, дается определение имитационного моделирования и оцениваются возможности его использования при разработке проектов аэродромов.

Для изображения рельефа и вертикальной планировки аэродромов применяют способы числовых отметок, горизонталей и вертикальных профилей. С точки зрения требований к вертикальной планировке различают участки местности, требующие исправления, с недопустимыми уклонами и участки с недопустимой кривизной. Такие участки называют дефектными, а процесс их исправления - дефектовкой. На практике дефектовка, как правило, выполняется вручную с применением таких простейших графических приспособлений, как круглые шаблоны и палетки заложений.

Проектирование рельефа сводится к решению двух основных задач. Первая задача состоит в определении очертания проектной поверхности, удовлетворяющей нормативным требованиям. При этом стремятся к тому, чтобы она по возможности повторяла очертание естественной поверхности. Вторая задача заключается в определении высотного положения проектной поверхности. От выбора высотного положения проектной поверхности в значительной степени зависит объем земляных работ.

Для получения поверхности, удовлетворяющей эксплуатационным и экономическим требованиям, проектирование осуществляется в несколько этапов. Это позволяет проводить в процессе проектирования корректировку решения при переходе от этапа к этапу. В целях получения лучшего решения не исключается повторение некоторых этапов проектирования.

В современных аэропортах взлет и посадка самолетов, их техническое обслуживание проводят только на участках с

искусственным покрытием. Учитывая роль, которую играют искусственные покрытия в наземном обеспечении авиации, их долговечность и сравнительно высокую стоимость, к очертанию их поверхности предъявляют более жесткие требования, чем к грунтовым поверхностям.

Для проектирования на ЭВМ необходимо проектную и исследовательскую информацию о характеристиках участка строительства и планировочных решениях служебно-технической территории и летных полос аэродрома представить в аналитическом виде. Таким образом, при проектировании аэродромов и аэропортов на уровне системы автоматизированного проектирования необходимо создавать математические модели местности.

Под математической моделью местности понимают аналитическое изображение топографии, геологии и гидрогеологии местности и других природных характеристик. Такая модель обычно бывает представлена совокупностью точек земной поверхности, ее объектов и элементов, связанных между собой определенными (математическими) закономерностями. Математическая модель может быть выражена в виде аналитической модели местности или в виде цифровой модели местности.

Под цифровой моделью местности понимают некоторое множество, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней. Она представляет совокупность точек местности с известными пространственными координатами (в абсолютной или условной системе координат) и условными цифровыми обозначениями, аппроксимирующими фактическую поверхность земельного участка с его объектами и природными условиями.

Цифровая модель местности, используемая в инженерной практике, обычно разделяется на модели рельефа и модели влияния ситуации, геологии и гидрогеологии местности на технико-экономические показатели проекта сооружения. По характеру расположения точек, отражающих рельеф, цифровые модели местности подразделяются на регулярные, нерегулярные (в том числе структурные) и статистические.

На основе цифровых моделей рельефа местности могут быть составлены комбинированные аналитические модели рельефа местности, которые представляются сочетанием цифровой модели

в виде совокупности координат точек отдельных участков земной поверхности и аналитическим выражением формы поверхности этих участков.

Аналитические методы проектирования рельефа разрабатывались еще в 50-60-х годах (Г.П.Матусик, Е.Ф.Страментов, Н.Г.Видуев, А.И.Болотин). К.К.Скидаденко предложил использовать линейное программирование для проектирования рельефа летного поля, затем этот метод был усовершенствован М.И.Коробочкиным.

Широкое применение для оптимизации рельефа нашел метод динамического программирования. На нем базируются методы и программы проектирования летных полей аэропортов, разработанные Ю.А.Дранишниковым. В полуавтоматическом способе А.П.Чишина проектирования рельефа грунтовых взлетно-посадочных полос аэродромов реализовано сочетание методов динамического программирования и наискорейшего спуска. Для проектирования железных дорог применяется одна из модификаций динамического программирования - метод последовательного анализа, разработанный В.С.Михалевичем. На этой же основе в Киевском автомобильно-дорожном институте разработаны программы проектирования оптимального продольного профиля автомобильных дорог.

Проектирование продольного профиля поверхности, заданной в виде кусочно-линейной функции, в самой общей постановке формализовали В.Е.Тригони и Ю.В.Рейфшнейдер. Для продольного профиля искусственной взлетно-посадочной полосы, представленного чередующимися прямыми вставками и участками вертикальных кривых, В.Н.Сластенов разработал принципиальный алгоритм предварительного выбора его конфигурации.

Для автоматизированного определения положения проектной линии продольного профиля также используются метод опорных точек К.А.Хавкина, метод граничных итераций Е.Д.Фильштейна и приложения метода проекции градиента, выполненные В.И.Струченковым, которые нашли применение глазным образом в практике проектирования автомобильных дорог.

Указанные выше численные методы, основанные на линейном и динамическом программировании, градиентных методах и методе граничных итераций, их модификациях и комбинациях, накла-

дывают на используемые модели вертикальной планировки дополнительные ограничения, которые приводят к существенному упрощению модели и снижению степени ее адекватности исследуемому объекту. Так для применения линейного программирования должны быть линейными не только неравенства, входящие в систему ограничений, но и целевая функция. Система ограничений динамической модели должна обеспечивать отсутствие последствий, а целевая функция должна быть аддитивной. Поскольку в общем случае применение градиентных методов позволяет найти точку локального экстремума, то более целесообразно их использование для решения задач выпуклого программирования, в которых всякий локальный экстремум является одновременно и глобальным. При этом целевая функция должна быть один раз дифференцируемой на всей области ее определения.

Целесообразность применения имитационного моделирования должна рассматриваться при наличии любого из следующих условий:

- не существует законченной математической постановки данной задачи, либо не разработаны аналитические методы решения сформулированной математической модели;
- аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;
- кроме оценки определенных параметров, желательно осуществить на имитационной модели наблюдение за ходом процесса в течение определенного периода;
- имитационное моделирование может оказаться единственной возможностью вследствие трудной постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях;
- для долговременного действия систем или процессов может понадобиться сжатие временной шкалы.

Исходя из того, что имитация должна применяться для исследования реальных систем, выделяются следующие этапы этого процесса: определение системы, формулирование модели, подготовка данных, трансляция модели, оценка адекватности, стратегическое планирование, тактическое планирование, экспериментирование, интерпретация, реализация, документиро-

вание.

Широко применяются различные методы имитационного моделирования на ЭВМ при решении задач, связанных с комплексной оценкой вариантов проектных решений. Так для исследования транспортных потоков при автоматизированном проектировании автомобильных дорог используются методы имитационного моделирования, получившие фундаментальное развитие в работах Д. Дрю и В. В. Сильянова.

Вторая глава посвящена построению имитационной модели поверхности летных полос аэродромов.

Для однозначного описания рельефа участка местности, разбитого локальной нивелировочной прямоугольной сетью, необходимо и достаточно знание либо значений отметок в узлах сети, либо значений уклонов на ее ребрах в продольном и поперечном направлениях и отметки в одном из узлов.

Согласно "СНиП 2.05.06-85. Аэродромы", требования к вертикальной планировке определяют допустимый диапазон значений уклонов, соотношения между значениями уклонов на участках продольного и поперечного профилей, и соотношения значений отметок точек продольного профиля, а соотношение значений отметок можно выразить через соотношение значений уклонов, то использован второй вид представления рельефа.

На основе анализа ограничения, описывающего видимость антенны курсового радиомаяка с опорной точки радиомаячной системы аэродрома, показано, что оно может быть вынесено из системы ограничений, описывающих форму проектной поверхности, и использовано для определения положения самого курсового радиомаяка после определения высотного положения летной полосы. В результате принятых допущений остальные требования СНиП записываются в виде системы линейных алгебраических неравенств относительно значений уклонов участков продольного и поперечного профилей.

Так как уклоны летной полосы в продольном и поперечном направлениях определяют форму проектной поверхности, то моделирование разбивается на две задачи: получение допускаемой формы и определение высотного положения проектной поверхности. Высотное положение для нового строительства может определяться: балансом выемки и насыпи в границах летной по-

лосы, минимальными значениями отметок по гидрогеологическим условиям площадки под строительство, максимальными значениями отметок с учетом несущей способности и деформативности грунтового основания и другими условиями. При реконструкции высотное положение проектной поверхности определяется значением отметки любой из фиксированных точек.

Из-за сложной взаимосвязи значений уклонов различных участков, сразу получить нетривиальное решение, удовлетворяющее всем требованиям, трудно осуществимо. Особенно, если рассматриваются предельные значения входящих в него неизвестных. В такой ситуации можно либо перебирать возможные значения уклонов в надежде получить их сочетание, дающее допустимое решение, либо скорректировать элементы решения, не удовлетворяющие ограничениям. Второй путь более перспективный, так как целенаправленно изменяется вектор значений неизвестных.

При последовательной проверке соблюдения ограничений и соответствующей корректировке значений уклонов, решение переходит с гиперплоскости, описываемой одним ограничением, на другую. При этом происходит приближение к границе области определения решения. Поскольку значения продольных уклонов тесно взаимосвязаны, процесс корректировки, как правило, повторяется итерационно до полного удовлетворения всей системе ограничений.

Структура алгоритма такова, что из одного исходного состояния можно получить одно корректное решение. Поэтому, для выработки различных вариантов поверхности летной полосы последовательность проверок соблюдения ограничений и корректировок значений переменных инициируется исходными решениями, построенными с помощью псевдослучайных чисел.

Для оценки последствия каждого проектного решения и рекомендации вариантов, которые представляются более удачными, используются математические средства исследования операций. Под операцией понимают любое мероприятие (или систему действий), объединенное единым замыслом и направленное к достижению определенной цели. Операция всегда является управляемым мероприятием, то есть тем или иным способом можно выбрать какие-то параметры, характеризующие способ ее орга-

низации. Всякий определенный выбор зависимых параметров называют решением. Оптимальными называют решения, которые, по тем или иным соображениям, предпочтительнее других. Основная задача исследования операций - предварительное количественное обоснование оптимальных решений. Эффективность операции характеризуется некоторым численным критерием или показателем, который требуется обратить в максимум или минимум.

Для модели вертикальной планировки аэродрома в качестве критерия используются эксплуатационные, строительные и технико-экономические показатели. К числу эксплуатационных показателей относят величину и протяженность частных уклонов поверхности летной полосы, величину и число изломов поверхности, средний уклон летной полосы, расстояние видимости. С точки зрения удовлетворения строительным требованиям, проектные решения могут сравниваться по условиям водоотвода, степени обеспечения водно-теплого режима оснований искусственных покрытий и тому подобное. К числу технико-экономических показателей относят: общий объем земляных работ, суммарную работу по перемещению грунта, среднюю дальность перемещения грунта в целом для участка, площадь глубинных земляных работ, стоимость земляных работ.

Задача может ограничиваться выбором решения, чтобы максимизировать (или минимизировать) один-единственный показатель эффективности. В ряде случаев эффективность операции оценивается сразу по нескольким показателям для чего их искусственно объединяют в один обобщенный показатель (или критерий).

Для оптимизации рельефа использован модифицированный метод пси-преобразования, который оптимизирует целевую функцию произвольного вида, заданную на выпуклой области решения. Это позволяет проводить глобальную оптимизацию проектного решения как по любому из выше перечисленных показателей, так и по комплексным критериям, полученным на их основе. Предлагаемая в работе модель вертикальной планировки описывается системой линейных ограничений. Поскольку такая система всегда образует выпуклую область определения решения, то требование к использованию пси-метода удовлетворяется. Для достаточной степени приближения решения к опти-

мальному должны обеспечиваться необходимые качественные характеристики аппроксимирующей функции пси-метода. Исследование показало, что рассматриваемая функция монотонно неубывающая и невыпуклая вверх, и для безусловного сохранения этих свойств аппроксимация должна выполняться изогеометрическими сплайнами.

В третьей главе описывается состав входных и выходных данных имитационной модели вертикальной планировки и структура программного комплекса, реализующего данную модель. Приведено решение тестовых задач и объектов реального проектирования.

Переменные модели системы делятся на экзогенные и эндогенные. К экзогенным переменным рассматриваемой модели относятся параметры летной полосы аэродрома и местности, на которой он размещается. Эндогенные переменные включают параметры проектной поверхности и земляных работ, необходимых для ее получения.

Для инженерной характеристики участка для строительства необходимы данные о его местоположении, данные топографо-геодезической съемки, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий. Данные топографо-геодезической съемки, инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий являются элементами цифровой модели местности. В качестве исходной может быть как регулярная, так и статистическая модель. Регулярной моделью, как правило, располагают при реконструкции, когда используются материалы изысканий и проектирования существующих участков аэродрома. Размещение же точек съемки для нового строительства описывается статистической цифровой моделью местности.

Поскольку для работы имитационной модели используется регулярная цифровая модель местности с сеткой квадратов, то при несовпадении сетки исходной регулярной модели с требуемой, или при статистической модели, на их основе составляется комбинированная аналитическая модель, которая позволяет получить необходимые параметры для требуемой цифровой модели местности. Различаются параметры аэродрома, определяемые его классом, параметры, не зависящие от класса аэродрома, а также определяемые расчетами.

В интерактивном режиме ввод и вывод указанных переменных модели выполняется в следующей последовательности:

- на основе перечня объектов проектирования, по которым исходные данные ранее вводились, выбирается требуемый;
- если по данному объекту исходные данные корректировать не нужно, то переходят непосредственно к проектированию. В противном случае вводятся значения параметров местности и летной полосы;
- с помощью варьируемых параметров задается форма продольного профиля взлетно-посадочной полосы с искусственным покрытием и выполняется процедура оптимального проектирования;
- в завершающем разделе осуществляется просмотр графических материалов, отражающих результаты проектирования, и их фрагментов. Выполняется процедура подготовки файлов для работы в AutoCADe.

Исходные модули программного комплекса разработаны на языке программирования С в системе программирования QuickC версии 2.51 с применением ее библиотеки графических функций. Динамическое выделение оперативной памяти ЭЕМ под массивы данных дает ее экономичное использование и не накладывает внутреннего ограничения на размеры решаемых задач. Минимальное техническое обеспечение - IBM PC AT совместимая ЭЕМ в составе основного процессора Intel 80286 и математического сопроцессора Intel 80287; EPSON совместимый принтер; графопостроитель. Минимальное системное обеспечение - операционная система MS DOS версии 3.3 или DR DOS версии 6.0; система проектирования AutoCAD версии 10.

Программный комплекс состоит из управляющей, диалоговой и проектирующей подсистем, имеющих модульную структуру. Управляющая подсистема на основе директив, полученных от диалоговой подсистемы, обеспечивает необходимые последовательность и режимы работы подсистем. Диалоговая подсистема организует интерактивное взаимодействие пользователя с проектирующей подсистемой, подготовку и редактирование исходных данных, просмотр результатов работы проектирующей подсистемы. При этом используются средства интерактивной машинной графики для наглядного представления исходной и выходной ин-

формации. Головной модуль проектирующей подсистемы планирует процесс обработки параметров объекта моделирования, контролирует его прохождение и выполняет вызов подпрограмм в намеченной последовательности.

Программный комплекс имеет две модификации в зависимости от наличия фиксированных точек - для нового строительства и реконструкции. Поскольку определение высотного положения проектной поверхности и подсчет объема земляных работ реализованы самостоятельными модулями, то выбор других критериев для оценки эффективности решения влечет замену только указанных модулей.

Из анализа используемого оптимизационного алгоритма следует, что результат его работы определяется тем, насколько полно генерируемые варианты охватывают область определения решения и, особенно, ее граничные участки. Диапазон изменения поперечных уклонов формируется только входными переменными и в процессе моделирования не изменяется. В отличие от них, значения продольных уклонов с момента их инициализации и до получения допустимого решения могут неоднократно изменяться. Соответственно, изменяется и их диапазон. Поскольку на диапазон величин элементов допустимого решений можно влиять только на этапе инициализации, необходимо исследовать зависимость параметров их распределения от множителя начальных значений продольных уклонов K .

Для этого рассматриваются два основных качественно различных предельных случая:

- продольный профиль - наклонная прямая со значением уклона равным максимально допускаемому;
- продольный профиль - дуга вертикальной кривой с максимально допускаемыми уклонами на концах.

Из полученных результатов вытекает, что при увеличении коэффициента K от 1 до 5 в обоих случаях растет диапазон значений продольных уклонов допустимого решения. После этого параметры распределения либо изменяются незначительно, либо остаются постоянными. Следовательно, максимальный или близкий к нему диапазон значений достигается при множителе K равном 5.

Для проверки работы численно о алгоритма и достовер-

ности получаемых с его помощью результатов решены тестовые примеры. В качестве тестов выбраны задачи с естественной поверхностью, параметры которой удовлетворяют системе ограничений. Решением таких задач является исходная естественная поверхность. С целью проверки работы алгоритма рассматриваются краевые задачи, решение которых лежит на границе области его определения.

Пример 1. Естественная поверхность - часть наклонной плоскости с нулевым поперечным уклоном и постоянным по длине продольным уклоном равным максимально допусжаемому на конечных участках.

Пример 2. Естественная поверхность - участок горизонтальной плоскости.

Пример 3. Естественная поверхность - поверхность с нулевым поперечным уклоном и симметричным продольным профилем, образованным сопряжением двух поверхностей вертикальной кривой с величиной излома равной максимально допусжаемой, с предельным выполнением условия взаимной видимости двух точек, симметрично расположенных относительно середины искусственной взлетнопосадочной полосы, и нисходящими от середины продольными уклонами.

В результате расчетов для примеров 1 и 2 получены проектные поверхности, совпадающие с исходными естественными. Для примера 3 получена проектная поверхность, совпадающая с исходной естественной по отметкам в пределах точности их вычисления. Полученными суммарными объемами насыпи и выемки 333 м³ на площади 76800 м² можно пренебречь.

Для дальнейшего исследования алгоритма, реализующего имитационную модель, рассмотрены объекты, ранее запроектированные отраслевым проектным институтом Укрэропроект. Указанные реальные объекты различаются как по виду строительства, так и по сложности проектного решения.

Объект 1. Аэродром Кировоград. Удлинение взлетно-посадочной полосы (корректировка).

Длина участка - 634 м, ширина искусственной взлетно-посадочной полосы и боковой полосы безопасности соответственно - 42,2 и 50 м.

В соответствии с современными потребностями отрасли, в

ближайшее время будет преобладать реконструкция аэродромов, в том числе удлинение летных полос. Поэтому в качестве одной из задач выбран данный объект.

Как для объекта реконструкции, для удлиняемой части были заданы фиксированные точки, расположенные в узлах разбивочной сетки продольного профиля торца существующей взлетно-посадочной полосы и определяющие высотное положение проектной поверхности, и значения уклонов на участках поперечника. Наличие трех фиксированных точек позволило обеспечить плавность сопряжения с соблюдением минимального радиуса вертикальной кривой в продольном направлении.

Естественный рельеф площадки под строительство характеризуется режимом понижением поверхности в направлении от торца существующей взлетно-посадочной полосы с продольными уклонами превышающими максимально допускаемые для поверхности полосы. Поэтому данная задача относится к краевой и позволяет проверить работу алгоритма в области максимально допускаемых значений уклонов.

По результатам анализа формы естественного рельефа для расчета принято:

- направление продольных уклонов на левом концевом участке - положительное;
- в продольный профиль вписана одна выпуклая вниз вертикальная кривая переменной кривизны.

Полученное решение характеризуется следующими объемами земляных работ: насыпь - 135593 м³, выемка - 9818 м³.

По материалам Укразропроекта эти же параметры имеют следующие значения: объем насыпи - 134135 м³, объем выемки - 5906 м³.

Сравнение результатов показывает как практически полное совпадение значений продольного уклона, так и различие суммарных объемов земляных работ (145411 и 139941) не превышающее 4%. Указанное различие в объемах связано с принятыми в модели постоянными по длине искусственной взлетно-посадочной полосы поперечными уклонами и их варьированием в реальном проекте.

Объект 2. Аэродром сельхозавиации. Колхоз им. Кирова Белореченского района, Краснодарского края.

Длина искусственной взлетно-посадочной полосы - 440 м, ее ширина - 20 м, ширина грунтовой взлетно-посадочной полосы и боковой полосы безопасности - 40 и 20 м соответственно.

В данной задаче рассматривается объект нового строительства, высотное положение которого определяется исходя из обеспечения баланса насыпи и выемки в пределах летной полосы.

Площадка под строительство характеризуется слабо выраженным рельефом, имеющим нисходящие продольные уклоны от середины взлетно-посадочной полосы и выпуклую вверх кривизну. Поэтому данная задача также относится к краевой в области минимальных значений уклонов.

По результатам анализа формы естественного рельефа для расчета принято:

- направление продольных уклонов на левом ксцевом участке - положительное, на правом - отрицательное;

- в продольный профиль вписана одна выпуклая вверх вертикальная кривая переменной кривизны.

Полученное решение характеризуется следующими объемами земляных работ: насыпь - 4720 м³, выемка - 4720 м³.

По материалам Укразропроекта эти же параметры имеют следующие значения: объем насыпи - 5340 м³, объем выемки - 341 м³.

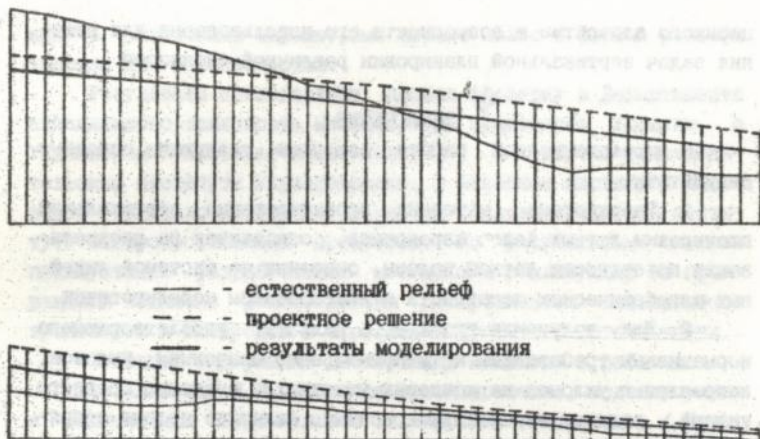
Сравнение показывает близкий (4720 и 5340), но меньший объем насыпи по результатам работы алгоритма, и меньший объем выемки по материалам Укразропроекта.

Объект 3. Аэропорт Кишинев. Взлетно-посадочная полоса - 2.

Длина искусственной взлетно-посадочной полосы - 3590 м, ее ширина - 45 м, ширина боковой полосы безопасности - 57.5 м.

Данный объект также относится к новому строительству.

Площадка под строительство характеризуется сложным рельефом с резким понижением поверхности в направлении от начала к концу взлетно-посадочной полосы и продольными уклонами превышающими максимально допускаемые для поверхности полосы. Поэтому данная задача, как и первая, относится к краевой и позволяет проверить работу алгоритма в области



Продольный профиль ВПИ-2 аэропорта Кишинев

максимально допускаемых значений уклонов в условиях большого числа неизвестных (количество участков в продольном направлении равно 91).

По результатам анализа формы естественного рельефа для расчета принято:

- направление продольных уклонов на левом и правом концевых участках отрицательное;
- в продольный профиль вписана две вертикальные кривые переменной кривизны, первая из которых выпуклая вверх.

Полученное решение характеризуется следующими объемами земляных работ: насыпь - 1285656 м³, выемка - 1285656 м³.

По материалам Укрэропроект эти же параметры имеют следующие значения: объем насыпи - 2318800 м³, объем выемки - 848750 м³.

Сравнение показывает лучшие значения суммарного объема насыпи и выемки при работе алгоритма (2571312 против 3167550) при значительном дебалансе земляных работ в сторону насыпи по материалам Укрэропроект.

Результаты решения тестовых задач и объектов реального проектирования свидетельствуют о правильности работы имита-

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ционного алгоритма и возможности его использования для решения задач вертикальной планировки различной сложности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Разработана методика проектирования вертикальной планировки летных полос аэродромов, основанная на дискретизации поверхности летной полосы, описании ее системой линейных алгебраических неравенств и имитационном моделировании.

2. Для получения проектного рельефа, удовлетворяющего нормативным требованиям к максимальным значениям уклонов, направлению уклонов на концевых участках, значению среднего уклона, радиусу вертикальных кривых, величине излома сопрягаемых поверхностей, расстоянию между смежными переломами и взаимной видимости, построен итерационный процесс. В результате корректировок значений частных уклонов находится решение, удовлетворяющее всей системе ограничений. Разработан имитационный алгоритм формирования множества допустимых вариантов проектной поверхности.

3. Разработана методика оценки вариантов вертикальной планировки по минимуму земляных работ и другим эксплуатационным, строительным, технико-экономическим показателям, и получения на основе их анализа оптимального решения. Исследованы функциональные параметры, определяющие оптимальность решения, в результате чего применены изогеометрические сплайны.

4. Разработанные алгоритмы имитационного моделирования и глобальной оптимизации реализованы в программном комплексе автоматизированного проектирования вертикальной планировки летных полос аэродромов, ориентированном на персональные ЭВМ.

5. Достоверность разработанной методики проектирования вертикальной планировки летных полос аэродромов подтверждена решением тестовых задач и анализом их результатов, а также сопоставлением решений для реальных объектов с проектной документацией.

6. Получены решения для объектов реального проектирова-

ния с различными параметрами летных полос и формой рельефа участка для строительства.

Результаты исследования прошли проверку в Департаменте авиационного транспорта Министерства транспорта Украины, в Украинском проектно-исследовательском и научно-исследовательском институте Укрэропроект, в Киевском институте инженеров гражданской авиации и Научно-исследовательском институте быстротекающих процессов. По результатам опытной эксплуатации разработанная методика и реализующий ее программный комплекс рекомендованы Департаментом авиационного транспорта к внедрению в отраслевых проектных организациях.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

1. Аляксин И.В. Практика проектирования, моделирования и оптимизации вертикальной планировки аэродромов / Киев. ин-т инж. гражд. авиации. - Киев, 1993. - 48 с. - Деп. в ГНТБ Украины 04.10.93, № 1920-Ук93.

2. Аляксин И.В. Имитационное моделирование вертикальной планировки аэродромов / Киев. ин-т инж. гражд. авиации. - Киев, 1993. - 44 с. - Деп. в ГНТБ Украины 04.10.93, № 1919-Ук93.

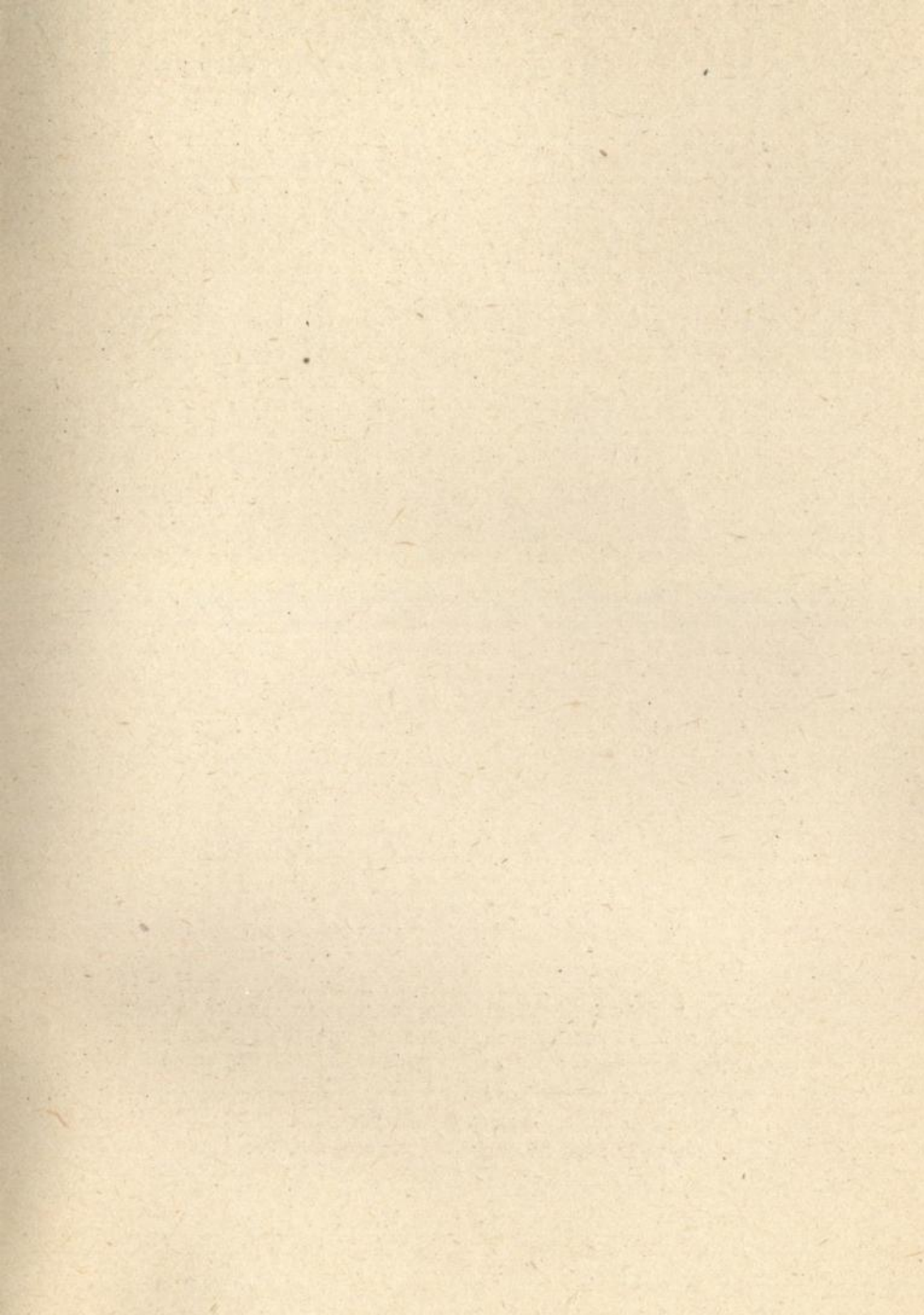
3. Аляксин И.В. Решение задач вертикальной планировки аэродромов на основе имитационного алгоритма / Киев. ин-т инж. гражд. авиации. - Киев, 1993. - 29 с. - Деп. в ГНТБ Украины 04.10.93, № 1918-Ук93.



Подписано в печать 12.05.94. Формат 60x84/16. Бумага типограф.
Офсетная печать. Усл.кр.-отт.5. Усл.печ.л.1,16. Уч.-изд.л.1,25.
Тираж 100 экз. Заказ № 91-1. Цена . Изд. № 215/111.

Издательство КМУТА,

252058, Киев-58, проспект Космонавта Комарова, 1.



AB 30.477