

На правах рукописи

Т Р Е Т Я К  
Корнылий Романович

УДК 528.33

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ  
ПЛАНОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.

Об. 24. 01 - Геодезия

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Львов 1992.



00819739 (.)

Работа выполнена в отрасли  
Львовского политехнического инсти:

Научный руководитель

доктор технических наук,  
профессор А. Л. Островский

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,  
профессор З. П. Тамутис,

кандидат технических наук,  
доцент Л. С. Хижак

Ведущая организация:

УкрГИИГИС

Защита состоится "11" "декабря" 1992 года в 14 часов на заседании специализированного совета Д.068.36.02 по специальности 05.24.01 - геодезия при Львовском политехническом институте по адресу: 290646, г. Львов - 13, ул. Мира, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке института ( ул. Профессорская, 1).

Автореферат разослан "10" "ноября" 1992 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
к. т. н., доцент



Н. И. Кравцов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Радикальные экономические перемены и наступающие рыночные отношения убедительно требуют переориентации работы геодезической службы Украины. Несомненно, в условиях рынка эффективность производства будет определяться его конкурентноспособностью. Создание высококачественной геодезической продукции, характеризующейся значительной наукоемкостью, возможно только при широком внедрении современных приборов и прогрессивных методов топо-геодезического производства. Немаловажное место при этом будет принадлежать методам оптимального проектирования геодезических сетей, которые позволят значительно экономить трудовые и материальные ресурсы, рационально использовать имеющуюся информацию. Решение проблемы оптимизации геодезических сетей шло по двум направлениям: это разработка методов и установление критериев оптимизации. В настоящее время значительную актуальность приобретает разработка эффективных методов оптимального проектирования измерений в высокоточных инженерно-геодезических сетях. Для построения таких сетей используются современные прецизионные приборы, а достижение требуемых точностных характеристик возможно только при производстве дополнительных измерений в схемах максимальной информативности. В последнее десятилетие интенсивные работы в области геодинамики, поставили перед геодезистами новые задачи по созданию специальных геодезических сетей, предназначенных для исследования и фиксирования коротких и длиннопериодических деформаций и напряжений земной коры с целью предсказания сейсмической активности. Такие построения должны максимально использовать точностную информацию и обладать возможностью её перераспределения в пределах сети в зависимости от протекания геодезических процессов. Вопросы оптимального проектирования схем измерений в таких сетях и изыскание эффективных критериев оптимизации с учетом условий проектной среды и экономических предпосылок остаются в настоящее время открытыми. Поэтому актуальность таких исследований стоит на одном уровне с исследованиями, направленными на повышение точности измерений за счет усовершенствования приборов и уменьшения влияний различных источников погрешностей.

Цель работы - разработка и исследование алгоритмов и критериев экономико-точностной оптимизации схем измерений в плановых инженерно-геодезических и специальных сетях.



Задачи исследований:

- классификация и исследование существующих, а также разработка новых упрощенных и эвристических алгоритмов оптимального проектирования схем измерений в плановых геодезических сетях;
- анализ преимуществ и недостатков, определение наиболее выгодных условий эффективного применения модельных схем измерений, построенных исследованными алгоритмами;
- разработка на основании теории информации обобщенного критерия оптимизации геодезических сетей, способного отфильтровывать, преобразовывать к единой и эквивалентной метрике, интегрировать и оценивать исключительно полезную информацию различной физической природы;
- исследование состоятельности и эффективности разработанного обобщенного критерия по сравнению с другими известными;
- разработка механизма определения по заданным параметрам проектной среды наиболее выгодной точности и методов измерений в плановых геодезических сетях;
- разработка алгоритма оптимизации высот наружных знаков геодезической сети;
- разработка методики экономико - точностной оптимизации схем измерений в инженерно-геодезических сетях с использованием цифровой модели местности;
- разработка методики оптимизации специальных плановых геодезических сетей на геодинамических полигонах.

Методика исследований. В качестве метода исследования использован современный аппарат теории вероятностей, математической статистики и вычислительной математики.

Эксперименты выполнены на ЭВМ ЕС - 1045 и персональном компьютере XT "Mazovia CM 1914".

Научная новизна. Выполнена разработка новых алгоритмов оптимального проектирования схем измерений в плановых геодезических сетях, а также определены наиболее выгодные условия их применения.

На основании теории информации разработан новый обобщенный критерий оптимизации геодезических сетей, способный отфильтровывать и оценивать полезную информацию различной физической природы.

Разработана комплексная методика экономико - точностной оптимизации измерений в инженерно-геодезических и специальных сетях геодинами-

ческих полигонов. Реализация методики предполагает, при необходимости, совместную оптимизацию точности и схем измерений, высот наружных знаков, геометрии сети.

Практическая ценность. Результаты исследований и разработок алгоритмов и критериев экономико - точностной оптимизации схем измерений в геодезических сетях доведены до практического применения и могут быть использованы при проектировании инженерно-геодезических сетей, создаваемых для строительства различных народно - хозяйственных комплексов и специальных геодезических построений на геодинамических полигонах.

Реализация работы. Результаты исследований, изложенные в диссертации, внедрены в производство при проектировании специальных пространственных сетей на Карпатском геодинамическом полигоне и техногенном полигоне Теребля - Рикской ГЭС.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на научно-техническом семинаре при Республиканском Доме экономической и научно-технической пропаганды УССР (г. Киев 1983г.), на научно-технической конференции Белорусского технологического института (г. Минск, 1986 г.), на научных конференциях Львовского политехнического института (г. Львов 1983-1990), симпозиуме КАИП по изучению современных движений земной коры (Дагомыс 1988 г.), международном симпозиуме "Геодезия - сейсмология: деформации и прогноз" (Ереван 1989 г.).

Публикации. Основные положения диссертации изложены в 13 опубликованных работах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Общий объем диссертации составляет 145 страниц текста, 19 страниц приложений, 15 таблиц и 30 рисунков. Список литературы включает 83 наименований, из которых 27 на иностранных языках.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении сформулированы основные положения теории оптимизации, изложена классификация задач оптимального проектирования геодезических

сетей, пути их решения и критерии оптимизации, а также обоснована актуальность исследований по дальнейшему совершенствованию и разработке новых методов и критериев оптимизации инженерно-геодезических и специальных плановых сетей. В заключительной части Введения сформулированы задачи исследований, изложена их цель и сущность.

Первая глава диссертации посвящена алгоритмам оптимального проектирования схем измерений в плановых геодезических сетях или решению задач третьего уровня согласно классификации разработанной немецким геодезистом Э. Графарендом.

В 1.1 изложена постановка решаемых задач. Существует два вида задач оптимального проектирования схем измерений в геодезических сетях:

1. Необходимо найти схему сети с фиксированным положением пунктов и заданными средними квадратическими погрешностями измерений, которая при минимальной стоимости измерений удовлетворяет заданным условиям точности

$$f^T K f \leq a, \quad (1)$$

где:  $f$  - весовые функции оцениваемых параметров;  $K$  - ковариационная матрица измерений;  $a$  - заданные точностные параметры.

2. При заданной стоимости измерений необходимо найти такую схему измерений сети при которой точность определения некоторого элемента сети,  $m_i = f_i^T K f_i = \min$ . Кроме этого, может быть поставлено добавочное ограничение (1). Второй вид задач в практике встречается крайне редко, зачастую, в видоизмененных формах. Несмотря на различие условий, оба вида задач имеют общие пути решения. Для решения этих задач использовались алгоритмы методов динамического, бивалентного или булевого программирования. Однако, по своей сути эти алгоритмы похожи и основаны на последовательном отборе измерений, разработанном в алгоритме Ю. М. Неймана, который в настоящее время является основополагающим. Его принцип заключается в формировании схемы необходимых измерений и последовательном добавлении измерений, обладающих максимальной информативностью

$$\frac{F(K_i) - F(K_{i+1})}{C_i} = \max, \quad (2)$$

где  $F(K_i), F(K_{i+1})$  - некоторая функция критерия оптимизации ковариационной матрицы

ционной матрицы до и после включения очередного измерения,  $C_i$  - стоимость измерения. Процесс отбора измерений продолжается до тех пор пока не будут удовлетворяться условия (1).

В 1.2 предложена следующая классификация алгоритмов оптимизации схем измерений.



Рис 1. Классификация алгоритмов оптимального проектирования схем измерений

Стратегия прямого алгоритма применена в алгоритме Ю. М. Неймана. Вычислительные процедуры обратных алгоритмов состоят в последовательном исключении измерений минимальной информативности из совокупности всех возможных измерений, при удовлетворении системы неравенств (1).

В 1.3. на примерах оптимизации сетей триангуляции и трилатерации изложена суть точных алгоритмов. Эффективное применение при реализации точных алгоритмов находит критериальная матрица, которая, по сути, является теоретически оптимальной ковариационной матрицей, удовлетворяющей требованиям (1) и

$$F(K_{т.о.}) = \max, \quad (3)$$

$$\lambda(K_{т.о.}) > 0, \quad (4)$$

$F$  - функция критерия оптимизации;  $\lambda(K_{т.о.})$  - собственные значения кри-

териальной матрицы  $K_{т.о.}$ . Найденная матрица  $K_{т.о.}$ , позволяет в точных алгоритмах заменить выполнение условия (1) условием

$$\lambda(K_{т.о.} - K_i) > 0, \quad (5)$$

где  $K_i$  - ковариационная матрица, соответствующая оптимальной схеме измерений. Такая замена особенно эффективна при большом количестве разнообразных весовых функций. Здесь же изложен алгоритм нахождения  $K_{т.о.}$  и приведены результаты оптимизации линейно-угловой сети с помощью критериальной матрицы.

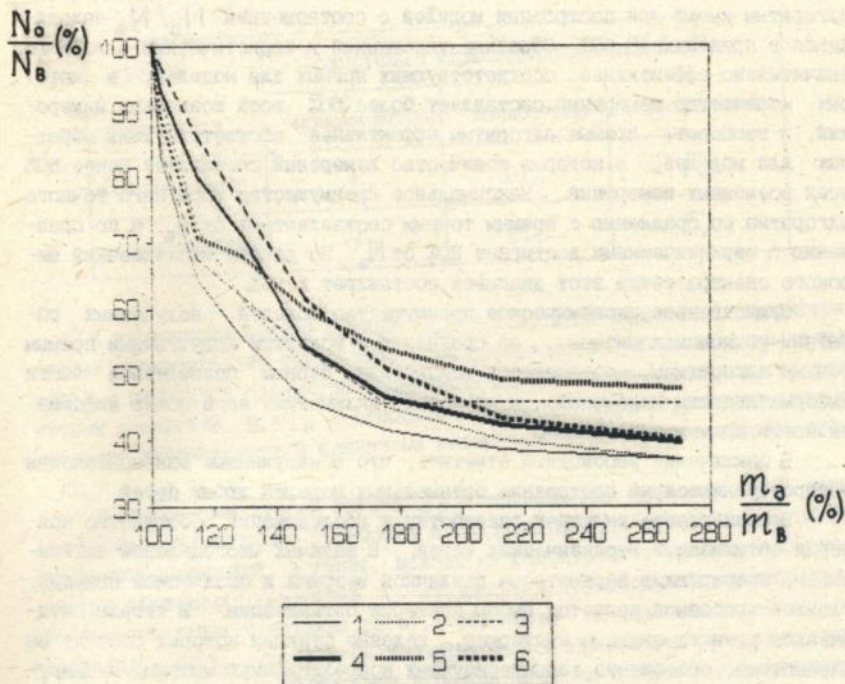
В 1.4 разработан упрощенный алгоритм оптимизации схем измерений со значительно упрощенной вычислительной процедурой определения информативности измерений, замененной определением частных производных целевой функции. В упрощенных алгоритмах вычисления информативности конкурирующих измерений выполняется только на первом шаге. Затем образуется вектор измерений по принципу уменьшения или возрастания величины информативности. Ввод измерений в схему необходимых измерений или их исключение из совокупности всех возможных измерений выполняется в порядке очередности измерений в этом векторе.

В 1.5 разработаны два эвристических алгоритма, в которых последовательный отбор измерений выполняется исключительно по точностным параметрам сети. Каждое конкретное измерение определяется по параметрам эллипсов погрешностей или по погрешностям взаимного положения пунктов. Преимущество эвристических алгоритмов заключается в простоте их реализации, которая возможна на ЗЕМ любого уровня.

В 1.6 исследована эффективность оптимальных моделей схем измерений, построенных различными алгоритмами.

Сравнение моделей схем измерений при условной оптимизации в различных сетях и анализ информативности измерений при безусловной оптимизации позволяет констатировать, что закономерности зависимости оптимального количества измерений от точностных параметров и, наоборот, точностных параметров от количества измерений, имеют общий характер. Однако, эти тенденции наблюдаются при условии, что количественные и точностные параметры выражены в процентном соотношении соответственно к количеству измерений и точности схемы всех возможных измерений.

Анализ эффективности алгоритмов выполнен на примере сети трилатерации. Допустимым точностным параметром для сети являлись большие полуоси эллипсов погрешностей и погрешности взаимного положения пунктов. Оптимизации точным и упрощенным алгоритмами выполнялась по  $\lambda$  - критерию оптимизации.



1. - оптимизация обратным точным алгоритмом,
2. - оптимизация прямым точным алгоритмом,
3. - оптимизация обратным упрощенным алгоритмом,
4. - оптимизация прямым упрощенным алгоритмом,
5. - оптимизация обратным эвристическим алгоритмом,
6. - оптимизация прямым эвристическим алгоритмом.

Рис 2. Кривые эффективности моделей сети трилатерации, полученных различными алгоритмами.

На (рис 2) изображены кривые зависимости соотношения  $N_o/N_b$  и  $m_a/m_b$ , выраженных в процентах, где:  $N_o$ ,  $N_b$  - оптимальное количество и количество всех возможных измеряемых линий;  $m_a$ ,  $m_b$  - соответствующие допустимые погрешности и погрешности, полученные из схемы

всех возможных измерений. Максимальное преимущество обратные точные алгоритмы имеют при построении моделей с соотношением  $N_0/N_B$  находящемся в пределах 40-60%. Обратные упрощенный и эвристический алгоритмы значительно эффективнее соответствующих прямых для моделей, в которых количество измерений составляет более 50% всех возможных измерений, и наоборот, прямые алгоритмы эффективнее соответствующих обратных для моделей, в которых количество измерений составляет менее 50% всех возможных измерений. Максимальное преимущество обратного точного алгоритма по сравнению с прямым точным составляет 8% от  $N_B$ , а по сравнению с эвристическими достигает 20% от  $N_B$ . По данным исследований широкого спектра сетей этот диапазон составляет 5-25%.

Существенное экономическое преимущество моделей, полученных обратным точным алгоритмом, по сравнению с моделями полученными прямым точным алгоритмом, объясняется исключением первым бесполезной части информативности измерений, и наоборот, включением её в общую информативность прямым алгоритмом.

В заключение необходимо отметить, что обнаруженные закономерности распространяются на построение оптимальных моделей любых сетей.

Вторая глава включает разработку и исследование обобщенного критерия оптимизации геодезических сетей. В задачах многоцелевой оптимизации, оперирующих параметрами различной метрики и физической природы, главной проблемой является выбор критерия оптимизации. В теории оптимизации принята система критериев, целевые функции которых состоят из параметров, обобщенно характеризующих корреляционную матрицу планируемого эксперимента. Им условно присвоены следующие названия  $A, D, E, T, M$  - критерии, целевые функции которых соответственно состоят из  $\text{Sp}(K)$  - следа,  $\det(K)$  - детерминанта,  $\lambda(K)$  - максимального собственного числа,  $M$  - числа Тодда корреляционной матрицы. Исследования этих критериев не позволили составить надежный рецепт по их эффективному применению к конкретным задачам. Разработанные применительно к геодезическим сетям  $G$  - критерии оптимизации, целевые функции которых определяются некоторыми экстремальными точностными параметрами (точность самого слабого пункта, направления или стороны), эффективны только при решении задач оптимизации с целевыми функциями одной переменной.

К выводу обобщенного критерия мы шли таким путём. В начале в 2.1 разработана следующая классификация оптимизационных параметров (см. таблицу).

## Классификация оптимизационных параметров

группы параметров	подгруппы (характеристики параметров)		
	экономические	точностные	геометрические
измерительные	$\mathcal{E}_u$	$M_u$	$\Gamma_u$
результатирующие	$\mathcal{E}_p$	$M_p$	$\Gamma_p$

К параметрам первой группы  $\mathcal{E}_u$  - относятся параметры характеризующие стоимость или трудоаатраты на производство единичных измерений, к  $M_u$  - относятся параметры характеризующие точность производства единичных измерений, а к  $\Gamma_u$  - относятся параметры характеризующие геометрические характеристики единичных элементов (углы засечек, длины линий и др.)

К параметрам второй группы  $\mathcal{E}_p$  - принадлежат экономические параметры характеризующие стоимость и трудоаатраты на производство целого комплекса измерений, а также, исходя из совокупности работ, себестоимость единичных измерений ( стоимость и трудоаатраты на проведение подготовительных и полевых работ, обработку измерений, транспортные расходы), к  $M_p$  - относятся характеристики отражающие ожидаемую точность геодезических построений в целом, а также точность характеристик неподдающихся непосредственным измерениям (скорость смещений пунктов, деформационные параметры сетей) к  $\Gamma_p$  - относятся параметры характеризующие геометрические характеристики сетей и информативность отдельных измерений получаемые в результате обработки сети (плотность и равномерность расположения пунктов, информативность измеряемых линий, направлений). Подробно обобщенную функцию потерь для любой задачи проектирования сети можно записать в следующей форме

$$R(\varepsilon) = \mathcal{E}_u'' + \mathcal{E}_p'' + M_u'' + M_p'' + \Gamma_u'' + \Gamma_p'' \quad (7)$$

где:  $\mathcal{E}_u''$ ,  $\mathcal{E}_p''$ ,  $M_u''$ ,  $M_p''$ ,  $\Gamma_u''$ ,  $\Gamma_p''$  - штрафные функции затрат на реализацию проекта и потерь ожидаемых точностных параметров, параметров измерений и геометрических характеристик сети.

Для того, чтобы прийти к единой и эквивалентной метрике запишем

(7) с помощью нормированных частных производных оптимизационных параметров в виде

$$R(\epsilon) = \int \partial \mathcal{E}_u'' / \mathcal{E}_u'' d\epsilon + \int \partial \mathcal{E}_p'' / \mathcal{E}_p'' d\epsilon + \int \partial M_u'' / M_u'' d\epsilon + \\ + \int \partial M_p'' / M_p'' d\epsilon + \int \partial \Gamma_u'' / \Gamma_u'' d\epsilon + \int \partial \Gamma_p'' / \Gamma_p'' d\epsilon, \quad (8)$$

или

$$R(\epsilon) = \ln \mathcal{E}_u'' + \ln \mathcal{E}_p'' + \ln M_u'' + \ln M_p'' + \ln \Gamma_u'' + \ln \Gamma_p'', \quad (9)$$

Доказательства состоятельности и эффективности предложенного критерия оценки измерительной информации получены с помощью вычислительных экспериментов оптимизации геометрии сети, распределения весов измерений и проектирования избыточных измерений. Результаты экспериментов показывают, что значения оптимизационных параметров, полученных по предложенному критерию, являются наиболее близкими к экстремальным и в совокупности лучшими из параметров, полученных по любому другому известному критерию.

В третьей главе выполнено решение экономических и прикладных проблем внедрения методов оптимального проектирования схем измерений в инженерно-геодезических и специальных сетях геодинамических полигонов.

На основании исследования моделей экономико-точностной оптимизации схем измерений в высокоточных инженерно-триангуляционных сетях, разработаны рекомендации по выбору числа повторных приемов для измерений направлений в зависимости от жесткости сетей  $\mathcal{M}$  (число Тогда ковариационной матрицы всех возможных измерений). Для выбора оптимального числа круговых приемов необходимо руководствоваться следующими соотношениями

$\mathcal{M}$	Оптимальное количество круговых приемов	
$\mathcal{M} \geq 150$	$3 < n < 9$	
$150 > \mathcal{M} \geq 80$	$6 < n \leq 9$	
$80 > \mathcal{M} \geq 30$	$n < 6$	(11)
$\mathcal{M} = 30$	$n = 3$	

На основании сравнительного анализа моделей экономико-точностной

оптимизации в триангуляционных и трилатерационных инженерно-геодезических сетях определены условия выбора метода построения сети (триангуляция или трилатерация). Выбор метода производится на основании выражения

$$\frac{m_{Scp}}{S_{Cp}} 10^5 \left( \frac{20,5}{\mu} + 0,08 \right) + 0,90 = \frac{m_{Ak}}{m_{Ab}} \quad (12)$$

где:  $m_{Scp}/S_{Cp}$  - относительная погрешность измерения средней длины линии в сети предполагаемым для использования дальномером,  $\mu$  - жесткость сети (число Тодда ковариационной матрицы соответствующей программе всех возможных угловых измерений),  $m_{Ak}$  - допустимая большая полуось эллипса погрешностей, при которой, модели построенные методами триангуляции и трилатерации экономически равноценны,  $m_{Ab}$  - максимальная полуось эллипсов погрешностей полученная по программе всех возможных угловых измерений. Следовательно, зная параметры сети, точностные характеристики, предполагаемого для использования дальномера и величину  $m_{Ab}$ , можно из (12) определить значение  $m_{Ak}$ . Если  $m_{Ab} > m_{Ak}$ , где  $m_{Ab}$  - допустимая большая полуось эллипса погрешностей, следует применять метод трилатерации, в противном случае целесообразнее использовать метод триангуляции. Полученные результаты правомочны при производстве измерений теодолитом ОТ-02. В случае использования другого теодолита необходимо правую часть выражения (12) умножить на коэффициент, равный соотношению точности теодолита ОТ-02 и предполагаемого для использования теодолита.

Необходимо отметить, что зависимость (12) позволяет выявить экономически целесообразный метод создания сети. Однако, её использование эффективно только в схемах измерений, соответствующих  $\mathcal{A}$  - критерию оптимизации и при ограничениях на точность положения пунктов.

В 3.2 разработан алгоритм оптимизации высот наружных знаков пунктов геодезической сети. Целевая функция задачи оптимизации имеет следующий вид

$$\sum_{i=1}^n C_i(h) + \sum_{i,j}^L \beta_{ij} r \min[V(H_i + h_i, H_j + h_j)_k - P(H_i, H_j)_k - a - v] = \min. \quad (13)$$

где  $C_i(h)$  - функция стоимости  $i$ -го знака от его высоты  $h$ ;  $K=(1,2,\dots, S_i/\Delta S)$ ,  $V(H_i+h_i, H_j+h_j)$  и  $P(H_i, H_j)$  - соответствующие текущие высоты визирного луча и профиля на расстоянии  $K \cdot \Delta S$  от  $i$ -го пункта;  $\Delta S$  - шаг интерполяции;  $A$  - минимальная допустимая высота визирного луча над земной поверхностью;  $V$  - поправка за рефракцию и кривизну Земли;  $L$  - количество направлений;  $b = 0$  или  $1$  соответственно в случае удовлетворения или нарушения условий видимости;  $\gamma$  - коэффициент мощности штрафной функции.

Оптимизация выполняется градиентным методом переменной метрики Дэвидона - Флетчера - Пауэлла на цифровой модели местности. Реализация алгоритма выполнена на примере сети из четырех пунктов.

В 3.3 разработана общая методика оптимального проектирования инженерно-геодезических сетей, включающая совместную оптимизацию методов, схем и точности измерений.

Методика предполагает пошаговую реализацию. Первый шаг заключается в определении метода измерений. Наиболее эффективно использование сочетания линейных и угловых измерений. В некоторых случаях возможно их дополнение азимутальными или створными измерениями. Если необходим выбор одного из методов наблюдений триангуляции или трилатерации, то используется зависимость (12).

Второй шаг заключается в определении точности измерений. Для выбора точности угловых измерений используется зависимость (11).

Следующий шаг состоит в определении (если такое предусмотрено проектом) оптимальных высот наружных знаков сети с учетом схемы всех возможных измерений.

Далее выполняется оптимизация схемы измерений, используя обратный точный или упрощенный алгоритм. Стоимость конкретного измерения будет определяться стоимостью затрат  $C_n$  на производство этого измерения, и разностью стоимости  $C_p = C_i - C_{i-1}$  оптимального проекта высот знаков до и после исключения этого измерения из схемы измерений. Следовательно, информативность измерения с учетом обобщенного критерия оптимизации

$$\Delta F = \frac{\sum \ln m_i}{C_n + C_p} \quad (14)$$

где  $m_i$  - результирующие точностные параметры сети.

В 3.4 изложена оптимизация плановых геодезических сетей на геодезических полигонах. При их проектировании необходимо учитывать следу-

ющие факторы:

- 1) влияние поверхностных процессов на устойчивость пунктов в планируемых местах закладки;
- 2) долговременность сохранности пунктов;
- 3) влияние физических условий местности на реализацию геодезических построений;
- 4) зависимость геодезических построений от целевого назначения полигона и типа решаемых задач.

Критерием построения геодезических сетей на геополигонах являются их точностные характеристики, от которых зависит точность определения компонент деформаций земной поверхности. Поскольку априорное прогнозирование развития изучаемых процессов, как правило, ненадежно, то требования к точности определения различных компонент деформаций должны быть равноценными и, по возможности, максимально жесткими. Учет экономических факторов построения рассматриваемых сетей, в частности, оптимизация программ наблюдений, не всегда уместны из-за сложности изучения таких процессов. Однако, они могут возникнуть после детального анализа информативности измерений в сети. Исследования сетей различной жесткости позволили выявить, что в них 10% измерений обладают несущественной точностной информативностью. Эти измерения можно считать практически бесполезными, и на стадии проектирования их исключение позволяет достичь значительной экономии трудозатрат при несущественных потерях точностной информации.

Исходя из изложенного, оптимальное проектирование плановых геодезических сетей на геополигонах рекомендуется выполнять в два этапа:

- оптимизация геометрии сети со схемой сети, соответствующей программе всех возможных измерений;
- анализ и исключение из программы всех возможных измерений малоинформативных измерений.

Оптимизация геометрии сети выполняется градиентными методом решения задач нелинейного программирования. Целевая функция включает штрафную функцию, определяющую зоны ограничивающие местоположение пунктов.

Исключение малоинформативных измерений из совокупности всех возможных измерений выполняется на основании анализа информативности измерений с учетом целевого назначения геополигона, критериев надежности сети и квалификации наблюдателей.

В диссертационной работе выполнены теоретические и экспериментальные исследования по оптимальному проектированию схем измерений в плановых геодезических сетях. Обобщая результаты этих исследований, можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Разработанная классификация предложенных алгоритмов оптимального проектирования схем измерений и выполненные исследования их преимуществ и недостатков позволяют сделать выбор наиболее эффективного алгоритма для решения конкретной задачи в зависимости от условий проектной среды и имеющейся в распоряжении вычислительной техники.

2. На основании математического моделирования различных геодезических сетей выявлено, что максимальное экономическое преимущество (5-25%) по сравнению с другими моделями имеют схемы измерений, составленные по обратному точному алгоритму. Такое преимущество достигается за счет способности этого алгоритма оценивать исключительно полезную информативность конкретных измерений. Однако, точные алгоритмы в вычислительном смысле являются наиболее трудоемкими и для больших сетей требуют значительных затрат машинного времени.

3. Прямые упрощенные и эвристические алгоритмы наиболее эффективны для составления моделей, в которых количество измерений не превышает 50% всех возможных измерений, в противном случае следует применять обратные алгоритмы.

4. Анализ исследований известных критериев оптимизации показал, что нет возможности сделать однозначные рекомендации по их эффективному выбору при решении конкретных задач оптимального проектирования геодезических сетей.

5. Разработан на информационном подходе обобщенный критерий оптимизации, который позволяет выполнять фильтрацию и дифференцирование измерительной информации на составляющие, улучшающие конкретные параметры, заданные системой ограничений, с преобразованием их к единой и эквивалентной метричности, с последующей интеграцией в обобщенный критерий.

6. Экспериментальные исследования обобщенного критерия на примерах решения задач оптимизации геометрии сетей, распределения весов измерений и проектирования схем измерений доказывают его состоятельность и эффективность по сравнению с другими известными критериями. Из этого следует, что применение обобщенного критерия при решении задач проектирования геодезических сетей любого уровня, позволяет получать ре-

результаты наиболее близкие к оптимальным.

7. На основании результатов выполненного экономико-точностного моделирования и анализа схем измерений в плановых инженерно-геодезических сетях составлены рекомендации по выбору оптимального метода и точности измерений в зависимости от жесткости сети, допустимых точностных параметров, экономических предпосылок и технических возможностей.

8. На базе градиентных методов решения задач нелинейного программирования с использованием штрафных функций разработан алгоритм оптимального проектирования высот наружных знаков в плановых геодезических сетях. Предлагаемый алгоритм лишен недостатков и вычислительных трудностей известного алгоритма основанного на методах линейного программирования.

9. Предложена методика оптимального проектирования инженерно-геодезических сетей, которая позволяет минимизировать общую целевую функцию затрат и ресурсов на реализацию проекта. Предложенная методика позволяет автоматически реализовывать совместную оптимизацию проектов схем измерений и высот наружных знаков при наличии цифровой модели местности.

10. На основании анализа информативности измерений в сетях различной жесткости, исследования особенностей и изучения допустимых точностных параметров (компонент деформаций) геодезических сетей на геодинамических полигонах разработана методика оптимизации таких сетей. Методикой предполагается использование градиентных методов нелинейного программирования для оптимизации геометрии сети и проектирование оптимальной схемы измерений посредством анализа и исключения малоинформативных измерений. При необходимости, возможно её совмещение с оптимизацией высот наружных знаков. Предложенная методика реализована при проектировании специальных пространственных геодезических сетей Карпатского геодинамического полигона и техногенного геодинамического полигона Тербля-Рикской ГЭС (Украинские Карпаты).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Третьяк К. Р. Один из методов проектирования сетей трилатерации с помощью ЭВМ. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 36. 1982. с 99-103.
2. Третьяк К. Р. Оптимизация проектирования схем измерений в инженерно-геодезических сетях. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 40. 1984. с 102-110.

3. Кузнецова В. Г., Мельничук М. И., Скуин Б. Л., Третьак К. Р. Изучение современных движений земной коры в зоне Закарпатского глубинного разлома. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 41. 1985. С. 46-50.
4. Третьак К. Р. Оптимальное проектирование схем измерений в сетях трилатерации. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып. 42. 1985. с 79-85.
5. Третьак К. Р. Оптимальное проектирование измерений в линейно-угловых сетях инженерного назначения. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 43. 1986. с. 99-103.
6. Третьак К. Р. Оптимальное проектирование высот наружных знаков в геодезических сетях. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 47. 1988. с. 66-72.
7. Третьак К. Р. О проектировании оптимальных программ наблюдений в плановых геодезических сетях. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 48. 1988. с 90-98.
8. Ходоров С. Н., Третьак К. Р. Оптимальное проектирование схем измерений при геодезическом обеспечении землеустроительных мероприятий. // Сб. научн. труд. Львовского сельскохозяйственного ин-та. "Совершенствование организации территории и использование земель в западных районах УССР". Львов 1988 г.
9. Третьак К. Р., Ходоров С. Н. О проектировании оптимальных плановых геодезических сетей на геодинамических полигонах. // Сб. Симпозиума КАПГ по изучению современных движений земной коры. Дагомыс, 1988г. тезисы докладов. Воронеж 1988г. С. 240-241.
10. Третьак К. Р., Ходоров С. Н. Критерии оптимизации информативности геодезических измерений на геодинамических полигонах. // Сб. международного симпозиума "Геодезия - Сейсмология: деформации и прогноз." Ереван 1989. Тезисы докладов. М., 1989. С. 179-181.
11. Архангельский А. В., Лозинский В. В., Третьак К. Р. Экономические аспекты оптимизации программ наблюдений в высокоточных триангуляционных сетях инженерного назначения. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 50. 1989. с. 3-9.
12. Лозинский В. В. Третьак К. Р. Экономико-точностной анализ эффективности оптимальных программ наблюдений в триангуляционных и трилатерационных сетях инженерного назначения. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 52. 1990. с. 30-38.
13. Третьак К. Р. Проектирование, оптимизация и уравнивание специальных пространственных геодезических сетей для исследования деформаций напорных трубопроводов деривационных гидроэлектростанций. // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. Вып 53. 1992. с. 67-80.

АНБ им. В. Стефанюка  
АН УРСР

468245

АВ 26.142

Подп. к печати 4.11.92 Формат 60x84<sup>1</sup>/16  
Бумага типограф. № 2. Офс. печ. Усл.печ. л/.  
Усл. крас.-отт. 1 Учетно-изд. л 0 0 3  
Тираж 100 экз. Зак. 131 Бесплатно

---

ЛПИ 290646 Львов-13, Бандеры, 12

Участок оперативной печати опытного завода ЛПИ  
Львов, ул. Городецкая, 286