



## ПОНЯТИЕ ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ В ГЕОДЕЗИИ

**Джаватов Сервер**

кафедра «Геодезия и картография»

Самаркандский архитектурно-строительный университет

им. Мирзо Улугбека

**Саманкулов Шухрат**

кафедра «Геодезия и картография»

Самаркандский архитектурно-строительный университет

им. Мирзо Улугбека

**Тошпулатов Хушнуд**

кафедра «Геодезия и картография»

Самаркандский архитектурно-строительный университет

им. Мирзо Улугбека

**Аннотация:** в статье рассматривается понятие об оптимальном эксперименте, а также методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений, позволяющие при минимальных затратах времени и средств планировать эксперимент таким образом, чтобы в результате его получить максимум требуемой информации о процессе деформации сооружений.

**Ключевые слова:** деформация, оптимизация, задач идентификации, задач экстраполяции, цикл, критерия.

**Abstract:** The article deals with the concept of the optimal experiment, as well as methods for geodetic deformation structures that allow for minimal time and resources to plan the experiment so that the experiment to get the most desired information about the process of deformation structures.

**Key words:** deformation, optimization, correction problems, extrapolation problems, cycle, criteria.

При разработке методики геодезических наблюдений за деформациями сооружений возникает ряд специальных вопросов, из которых к важнейшим относится вопрос о точности и периодичности (частоте) наблюдений. Можно сказать, что на данном этапе возникает задача планирования людских ресурсов, инструментального парка и денежных средств, выделяемых на этот вид работ. При этом естественным желаемым вариантом является получение достоверных результатов в процессе наблюдений при минимальных затратах денежных средств, людских ресурсов и максимальном использовании инструментального парка.

Поставленная задача является типичной из класса задач, решаемых широко развиваемой в последнее время теорией планирования эксперимента.



Математический аппарат теории планирования эксперимента дает в руки исследователя строгие методы, позволяющие при минимальных затратах времени и средств планировать эксперимент таким образом, чтобы в результате его получать максимум требуемой информации об объекте (под объектом исследований здесь понимается процесс деформации сооружений).

Цель исследования при планировании эксперимента называется целевой функцией (параметром оптимизации).

Основополагающим в теории оптимального эксперимента является определение плана.

Непрерывным планом  $\varepsilon$  называется совокупность величин

$$\varepsilon = \left\{ \begin{array}{c} x_1, x_2, \dots, x_n \\ p_1, p_2, \dots, p_n \end{array} \right\} \quad (1)$$

где  $x_i \in X$  – точки спектра плана (т. е. точки, в которых производят наблюдение);  $p_i$  – веса результатов наблюдений в соответствующих точках спектра;  $X$  – пространство планирования. [1]

Результаты наблюдений, выполняемых в точках  $x_i$  плана, служат для решения двух основных задач: 1) определения факторов, влияющих на исследуемый процесс, и отбора значимых из них; 2) определение вида математической модели процесса (задача идентификации) и прогноза ее значений (задача экстраполяции).

Для проведения экстраполяции целевой функции параметр оптимизации необходимо связать с факторами – способами воздействий на объект – некоторой функциональной зависимостью, называемой поверхностью отклика (моделью объекта исследования) обычно в теории планирования модель отыскивается в виде полинома

$$S(x) = \sum_{i=0}^k a_i f_i(x), \quad (2)$$

где  $a_i$  – коэффициенты уравнений регрессии ( $0 \leq i \leq k$ );  $f_i(x)$  – функции входных переменных (влияющие факторы).

В этом случае возможны три уровня, характеризующие априори степень информативности наблюдателя в виду функции (2):

1. Вид функции (2) известен и задача поиска модели сводится к определению неизвестных параметров

$$a^T = (a_1, a_2, \dots, a_k).$$

2. Наблюдателю известно, что функция (2) совпадает с одной из функций

$$S(x, \bar{a}) = \begin{cases} S_1(x, \bar{a}_1) \\ S_2(x, \bar{a}_2) \\ \dots\dots\dots \\ S_m(x, \bar{a}_m) \end{cases}$$



В этом случае задача сводится к определению, какая из функций является истинной, и нахождению неизвестных параметров.

### 3. Вид функции (2) неизвестен.

Наиболее благоприятен наблюдателю случай, когда имеется априорная информация об объекте, соответствующая первому уровню, но, к сожалению, этот случай маловероятен.

Второй уровень информативности соответствует тому этапу исследований, когда выполнено несколько циклов наблюдений, по результатам которых удовлетворительно подобрана модель процесса.

Третий уровень информативности наблюдателя часто встречается на практике. Методика решения задачи в этом случае – последовательное планирование по схеме: гипотеза – измерение – построение модели – уточнение гипотезы – измерение. На практике такая постановка наблюдений предопределяют вопрос, что лучше – полный факторный эксперимент (т. е. проведение наблюдений с максимально возможной точностью и как можно чаще) или же меньшее число опытов, в свою очередь, с известной компенсацией – ограничениями, принимаемыми априори? В качестве важнейшего ограничения принимается существование единственного оптимума и представление функции отклика в виде одного из полиномов  $S(x, a) = \sum_i (x, \bar{a}_i)$ , параметры которого оцениваются по данным геодезических наблюдений.

Разрабатываемый план наблюдений должен быть оптимальным в смысле заданного критерия.

Критерии оптимальности планов связаны с видом матрицы  $M$  называемой информационной матрицей Фишера: [2]

$$M = F^T F, (3)$$

где

$$F = \begin{pmatrix} f_1^T \\ f_2^T \\ \vdots \\ f_n^T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{10} & f_{11} & \dots & f_{1K} \\ f_{20} & f_{21} & \dots & f_{2K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{n0} & f_{n1} & \dots & f_{nK} \end{pmatrix}$$

- прямоугольная матрица размером  $n \times (k+1)$ , задающая значение функции  $f_i(x)$  в формуле (2) при проведении  $n$  наблюдений.

$A$  – оптимальность. План называется  $A$ -оптимальным, если он минимизирует след ковариационной матрицы

$$C = M^{-1} = (F^T F)^{-1}. (4)$$

Отметим, что минимизация следа ковариационной матрицы (4) означает минимизацию средней дисперсии оценок коэффициентов.

$$\bar{a}^T = (a_1, a_2, \dots, a_K)$$



Е- оптимальность. План называется Е-оптимальным, если он минимизирует максимальное собственное число соответствующему ковариационной матрицы оценок коэффициентов  $\bar{a}$ .

D-оптимальность. План называется D-оптимальным, если он минимизирует определитель ковариационной матрицы С или, соответственно, максимизирует определитель информационной матрицы М.

G-оптимальность. План называется С-оптимальным, если он минимизирует по всем возможным альтернативным планам величину максимальной дисперсии прогнозируемых значений:

$$\sigma^2_{S(x)} = \sigma^2 f^T(x) C f(x).$$

Геометрически А-оптимальный план минимизирует сумму квадратов главных полуосей эллипсоида рассеяния оценок коэффициентов  $\bar{a}$ ; Е-оптимальный план минимизирует величину главной оси эллипсоида рассеяния оценок коэффициентов  $\bar{a}$ ; D-оптимальный план минимизирует объем эллипсоида рассеяния оценок а.

Можно показать, что для непрерывных планов справедлива теорема эквивалентности, согласно которой непрерывный D-оптимальный план  $\epsilon^*_D$  оказывается одновременно и G-оптимальным ( $\epsilon^*_G$ ), т. е. минимизирующим максимальную дисперсию предсказания регрессивной функции. Теорема имеет важное значение при построении D-оптимальных планов (или G-оптимальных), так как позволяет одновременно пользоваться свойствами тех и других, откуда можно сделать вывод о предпочтительности критерия D-оптимальности  $\bar{a}$  планов, так как он, минимизируя обобщенную дисперсию оценок коэффициентов  $\bar{a}$ , одновременно максимизирует точность предсказания значения функции отклика S(x).

D-оптимальное планирование методом «крутого восхождения» Г. Бокса и К. Уилсона использовано при разработке обобщенного алгоритма обоснования точности и периодичности наблюдений за деформациями сооружений. [3]

## REFERENCES:

1. Бандурка В.И., Лошкарёв Н.А. Об оптимальной частоте геодезических, наблюдений осадок инженерных сооружений. Изв. ВУЗов Геодезия и аэрофотосъемка, вып.4, 1992, с 33-35.
2. Гридчин А.Н. Исследование осадок инженерных сооружений методом случайных функций. – ВТр. ЦНИИГАИК, 1967, т.20, с 45-57.
3. Брайт П.И., Меднецкий Е.Н. Измерения осадок и деформаций и сооружений. М.Недра 1985г.
4. Гельфандбейн А.М., Геллис Л.А. Неравномерные вертикальные и горизонтальные деформации просадочных грунтов. Киев, Будивельник, 1987г.
5. Егоров К.Е. К вопросу о допускаемых осадках фундаментов сооружений – сборник трудов НИИ оснований, вып.18, 1992г. с.18-26.
6. СНиП 2-15-74 Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования. М.Стройиздат, 1975г.



7. Askarovich, K. Z., Mardonovich, P. I., Samankulov, S. R., & Ogli, B. A. Z. (2021). THEME: DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY CREATION OF DIGITAL TOPOGRAPHIC PLANS OF TERRAIN INCLINATION. *ResearchJet Journal of Analysis and Inventions*, 2(05), 202-207.
8. Usmanovich, S. T., Rashitovich, S. S., & Adkhamovich, B. U. (2022). It is Currently Modern in the Field of Geodesy Application of Levels. *EUROPEAN JOURNAL OF INNOVATION IN NONFORMAL EDUCATION*, 2(4), 193-197.
9. Usmanovich, S. T., Rashitovich, S. S., & Adkhamovich, B. U. (2022). SURFACE CONTROL OF HELIOSTATS. *Gospodarka i Innowacje.*, 22, 355-357.
10. Suyunov, A., Suyunov, S., & Urokov, O. (2021). Application of GIS on Research of Horizontal Refraction in Polygonometry on Network. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04003). EDP Sciences.
11. Суюнов, А. С., & Хушмуродов, Ф. М. (2022). ҚАШҚАДАРЁ ВИЛОЯТИНИНГ ЛАЛМИКОР ЕРЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ. *Conferencea*, 35-39.
12. SAFAROV, T., UROKOV, O., & SAMANKULOV, S. R. (2020). Studies Of Axes Of Hyeliostat Rotary Turning Devices. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 7(05), 144-145.
13. Samankulov, S. R., & Nomozov, A. (2019). The role of modern laser scanners in the geodetic detectionand planning of underground utilities. In *Bridge to science: research works* (pp. 201-205).
14. Suyunov, A. S., Urakov, O. A., Mirzaev, A. A., & Mullodjanova, G. M. (2023, January). The results of the analysis of the accuracy of the permanent satellite state geodetic network in the Republic of Uzbekistan. *2nd International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022)* (Vol. 12564, pp. 202-207). SPIE.
15. Suyunov, A. S., Mirzaev, A. A., Urakov, O. A., & Suyunov, S. A. (2023, January). Field studies of electronic total stations in a special reference satellite geodetic basis. *2nd International Conference on Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry (CMSD-II-2022)* (Vol. 12564, pp. 208-213). SPIE.
16. Суюнов, А. С., & Хушмуродов, Ф. М. (2022). ҚАШҚАДАРЁ ВИЛОЯТИНИНГ ЛАЛМИКОР ЕРЛАРИДАН ФОЙДАЛАНИШ ИМКОНИАТЛАРИ. *Conferencea*, 35-39.
17. Suyunov, A. S., & Karjavov, Z. K. (2022). The Main Ways to Ensure the Sustainability of the Financial Position of Contracting Construction Organizations in Uzbekistan. *European Journal of Life Safety and Stability* (2660-9630), 97-102.
18. Суюнов, А. С., Тухтамишев, Ш. Ш., & Муллоджанова, Г. М. (2022). ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ ШУМОВОЙ КАРТЫ ГОРОДА. *Печатается в авторской редакции*, 66.
19. Суюнов, А. С., & Каржавов, З. К. (2021). СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. *ME' MORCHILIK va QURILISH MUAMMOLARI*, 107.
20. Суюнов, А. С., Тухтамишев, Ш. Ш., & Ўроқов, О. А. (2021). ШОВҚИН МАНБАЛАРИ, УНИНГ ТАРҚАЛИШИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ ВА УНИ ТАСВИРЛАШ. *Инновацион технологиялар*, (Спецвыпуск 1), 53-57.



- 
21. Суюнов, А. С., Усманова, Р., & Хушмуродов, Ф. М. (2021). ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ АГРОЛАНДСКИХ ВАЛОВ КАШКАДАРЬЙСКОГО ОАЗИСА (НА ПРИМЕРЕ КАШКАДАРЬЙНСКОГО ОАЗИСА). *Экономика и социум*, (5-2), 358-365.
  22. Suyunov, A., Suyunov, S., Aminjanova, M., & Rakhmatullaeva, K. (2021). Improvement of the method for comparing subsidence of structures using the Fischer's F-test and the Foster-Stuart test. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04005). EDP Sciences.
  23. Suyunov, A., Suyunov, S., & Urokov, O. (2021). Application of GIS on Research of Horizontal Refraction in Polygonometry on Network. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 227, p. 04003). EDP Sciences.