

УДК 528

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И ОСАДОК ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

DEVELOPMENT OF THE METHODS FOR DIGITAL MODELING OF THE DEFORMATIONS AND SETTLEMENTS OF BUILDINGS AND STRUCTURES FOUNDATIONS BY THE RESULTS OF GEODETIC MEASUREMENTS

Сукманюк Александр Славьянович

Кубанский государственный
технологический университет

Макаренко Наталия Андреевна

Кубанский государственный
технологический университет
maknatali97@mail.ru

Лукьянцев Максим Романович

Кубанский государственный
технологический университет

Карасев Александр Игоревич

Кубанский государственный
технологический университет

Тарасов Дмитрий Владимирович

Кубанский государственный
технологический университет

Халиуллин Тимур Дамирович

Кубанский государственный
технологический университет
pipebird@rambler.ru

Аннотация. В статье представлены основные понятия об осадке зданий, их причины, влияние на них грунтовых вод, методы борьбы с осадкой. Развитие современных программно-технических комплексов и ГИС-технологий позволяет ставить новые вычислительные задачи и эксперименты, связанные с 3D моделированием и пространственным анализом геодезических данных. В настоящее время появилась возможность цифрового моделирования деформационных процессов фундаментов зданий и сооружений и построения непрерывных моделей осадок на основе ЭВМ. В статье анализируются основные параметры вариограммного и ковариационного анализа для интерполяции геодезических данных.

Вариограммный и ковариационный анализ позволяет выявить более полную информацию о техническом состоянии фундаментов и здания в целом, а также определить области неравномерных осадок, построить цифровые модели осадки сооружения, кроме того, используя различные методы интерполяции, смоделировать ошибки модели

Sukmanyuk Alexander Slavyanovich
Kuban State University of Technology

Makarenko Natalia Andreevna
Kuban State University of Technology
maknatali97@mail.ru

Lukyantsev Maxim Romanovich
Kuban State University of Technology

Karasev Aleksandr Igorevich
Kuban State University of Technology

Tarasov Dmitry Vladimirovich
Kuban State University of Technology

Khaliullin Timur Damirovich
Kuban State University of Technology
pipebird@rambler.ru

Annotation. The article presents the basic concepts about the leas of buildings, their causes, impact on ground waters, methods of dealing with the draught The development of modern program-technical complexes and GIS-technologies permits posing new computational problems and experiments on the 3D modeling and the spatial analysis of geodetic data. At present there is an opportunity of digital modeling of the deformation processes in buildings and structures foundations and developing the continuous computer simulations of settlement. The author analyses basic parameters of variogram and covariance parameters for interpolating geodetic data.

Variogram and covariance analysis allows for acquiring complete information on the technical state of the foundation and the building as a whole, detecting relative settlement areas, developing digital models of the structure settlement as well as simulating model errors by different interpolation methods.

Ключевые слова: осадка зданий, цифровая модель осадок, вариограммный анализ, геостатистический метод интерполяции, принцип вариограммы, принцип ковариации.

Keywords: sediment buildings, digital model sediment, variogram analysis, a geostatistical method of interpolation, the principle of the semivariogram, the covariance principle.

Введение

Понятие об осадке и сдвиге здания.

Осадку здания – это смещение здания, происходящее вследствие сжатия грунта в основании (рис. 1). Сжатие грунта, находящегося под зданием, нормальный процесс. Важно, чтобы осадка здания проходила равномерно по всему основанию. [1]

Существует немало причин осадок: слабое основание средней (или боковых) части здания, неправильно выбранная глубина заложения и тип конструкции фундамента, увеличение нагрузки на фундамент за счет надстройки верхних этажей, недостаточная прочность материалов для фундамента или потеря прочности со временем, возведение новых сооружений, вплотную примыкающих к существующему зданию.



Рисунок 1 – Осадка здания

Очень часто осадки и деформации зданий происходят из-за природных явлений, нарушения технологий строительного производства, повышения воздействия температуры и нагрузок, ошибок в проектировании зданий, нарушения правил технической эксплуатации зданий и сооружений. [2, 3]

Примерами природных явлений являются стихийные и аварийные колебания земной поверхности и грунтовых вод, температура наружного воздуха, несоблюдение при эксплуатации зданий и сооружений условий равновесия природных явлений.

Наличие под землей большого количества грунтовых вод – это еще одна причина осадки зданий, из-за них слой земли становится мягче и устойчивее к деформации.

Осадку, возникшая из-за грунтовых вод, может быть устранена с помощью специальных насосов, либо посадкой деревьев, удаляющих лишнюю влагу из земли. Так же, можно изолировать основание от контакта с водой, используя высококачественные гидроизолирующие материалы (жидкое стекло и цемент).

ЖК на улице Петра Метальникова в городе Краснодаре является примером неравномерной осадки здания (рис. 2). Осадка обусловлена неравномерным швом вдоль вертикальной оси здания. [4, 5]

В связи с научно-технической революцией происходит стремительное развитие новейших программно-технических комплексов и ГИС-технологий позволяющих ставить новые вычислительные задачи эксперименты, связанные с 3D моделированием и пространственным анализом геодезических данных. Совсем недавно появилась возможность цифрового моделирования деформационных процессов фундаментов зданий и сооружений и построения непрерывных моделей осадок на основе ЭВМ. Теперь стало возможно создание более точной модели рельефа, выявление характерных его особенностей, устранение осадок и деформаций.



Рисунок 2 – Осадка здания в Краснодаре

Основная часть

В наш век инновационных технологий происходит постоянное развитие методов пространственно-временного анализа и алгоритмы обработки геодезических данных.

На мой взгляд, особого внимания заслуживают методы пространственного анализа, основанные на аппарате математической статистики, позволяющие исследовать явления с учетом территориального характера распределения. Такие методы получили название геостатистические.

Геостатистические методы позволяют изучить распределение случайных величин по территории, найти причины этого распределения. А также предопределить значения этих величин в новых местах. [11]

Необходимость в этих исследованиях обусловлена развитием современных программно-технических комплексов и ГИС-технологий. ГИС технологии представляют собой современные компьютерные технологии для создания карт и исследования земной поверхности. Современные разработки в области моделирования осадки, несомненно, позволяют автоматизировать процессы определения области неравномерных осадок, направления крена (положение, которое отклоняется от вертикальной оси здания) плиты фундамента, построение профилей осадок и др.

Это наводит на мысль, что исследования в данной области производства геодезических работ очень актуальны в наше время.

С помощью трехмерной цифровой модели осадок (ЦМО) и средствами информационного моделирования можно получить всю информацию об изучаемом процессе деформации зданий и сооружений. Для правильного решения задач анализа данных нужно много раз проверять ряд альтернативных гипотез, выполнять обработку данных и оценивать результаты. В процессе решения могут вводиться новые наблюдения. В результате итераций версии ЦМО модифицируются и уточняются [13].

Не так давно с помощью геостатистических методов началось создание схем построения ЦМО для пространственно-временного анализа результатов геодезических наблюдений за деформациями фундаментов зданий. Использование данных методов интерполяции позволяет наглядно представить в графическом растровом и векторном форматах данные, отражающие пространственно-временное состояние фундамента инженерного сооружения. Кроме того, эти методы позволяют автоматизировать и детализировать анализ количественных и качественных характеристик осадок фундаментов инженерных сооружений [12].

Геостатистические методы основаны на определении закономерности изменения разброса значений моделируемого показателя, между точками в пространстве и подчеркивание существующих различий в значениях данных, используя весовые коэффициенты [11].

Чтобы определить степень и характер изменения в пространстве и времени ЦМО стали применять вариограммный анализ. Функции вариограмм и ковариации помогают определить степень статистической корреляции в зависимости от расстояния.

Вариограмма определяется как [13]:

$$y(S_i, S_j) = \frac{1}{2} \text{Var}(Z(S_i)Z(S_j)), [11].$$

где var – разница между значениями осадки в местоположении i и j .

Вариограммный и ковариационный анализ облегчает и увеличивает эффективность процедуры подбора параметров модели, включая моделирование ошибок цифровой модели осадок [13].

Вариограмма и функции ковариации позволяют количественно определить предположение о том, что осадочные марки, которые расположены поблизости, имеют большую связь, чем те, которые расположены дальше. Осадочная марка – это такое устройство в виде шкалы или шарика, которое фиксируется в строительной конструкции, стене, полу, перекрытии и др., предназначенное для наблюдений за высотными деформациями. Функции вариограмм измеряют силу статистической корреляции от расстояния.

В том случае, если различия увеличиваются с расстоянием, вариограмму можно представить как функцию несходства. Пласт-высота, которой вариограмма достигает, когда выравнивается. Он чаще всего состоит из двух частей: 1) неоднородность в происхождении, которую называют остаточной дисперсией (ОД), и 2) частичный пласт (ЧП). Остаточная дисперсия может быть разделена на ошибку измерения и изменение микромасштаба и так как компонент может быть нулевой, остаточная дисперсия может быть включена полностью. Диапазон – расстояние, на котором вариограмма выравнивается. Принцип вариограммы изображен на рисунке 3.

Корреляция-это связь нескольких случайных величин. Ковариация – это вычисленная корреляция. Ковариация может функционировать, когда она уменьшается с расстоянием, так что о ней можно судить как о функции подобия. Ковариация представляет статистическую тенденцию переменных разного типа, изменяющихся в зависимости от взаимосвязей друг с другом. Ковариация может быть как положительной, так и отрицательной. Положительная ковариация возникает, когда обе переменные могут быть больше их среднего значения, а отрицательная ковариация – в случае, когда одна из переменных стремится быть больше своего среднего, а другие – меньше их среднего значения. На рисунке 4 представлен принцип ковариации.



Рисунок 3 – Принцип вариограммы

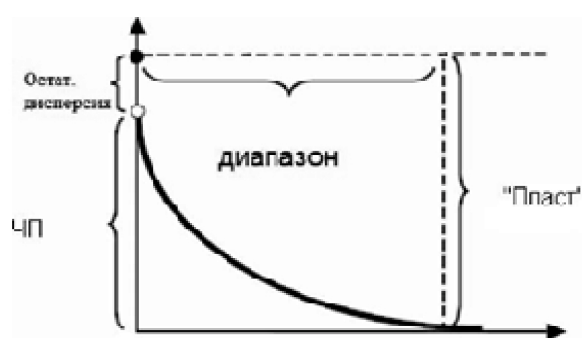


Рисунок 4 – Принцип ковариации

Цифровая модель осадки – это поверхность представления пространственного состояния фундамента сооружения, на основе математических функций (моделей вариограммы), которые наиболее адекватно и в полном объеме отражают плановое и высотное положение всей площади основания, пригодном для универсального пользования [14]. На рисунке 5 приведена цифровая модель интерполяции осадок фундамента, построенная с помощью кригинг метода и экспоненциальной функции вариограммы.

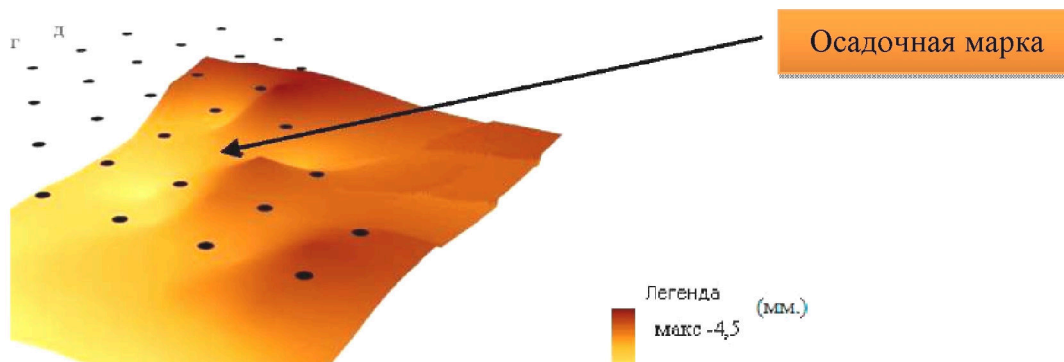


Рисунок 5 – Цифровая модель интерполяции осадок фундаментов инженерного сооружения (экспоненциальная модель)

Если нужно проанализировать точность построенных ЦМО проверку достоверности предлагается производить по схеме: изъять одно или несколько значений осадок марок и затем вычислить связанные с ними значения интерполяционной поверхности, используя данные в оставшихся марках, при учете параметров грунтов. Для всех марок взаимная проверка достоверности проводит сравнение измеренных и вычисленных значений. После завершения взаимной (перекрестной) проверки некоторые данные измерений могут быть признаны непригодными, что потребует нового подбора модели вариограммы. Проверка достоверности использует часть данных для оценки модели вариограммы, применяемой в интерполяции. Затем интерполяция по маркам с известными значениями сравнивается с данными реальных измерений.

Для более полного анализа моделей вариограмм была построена карта ошибок интерполяции, представленная на рисунке 6.

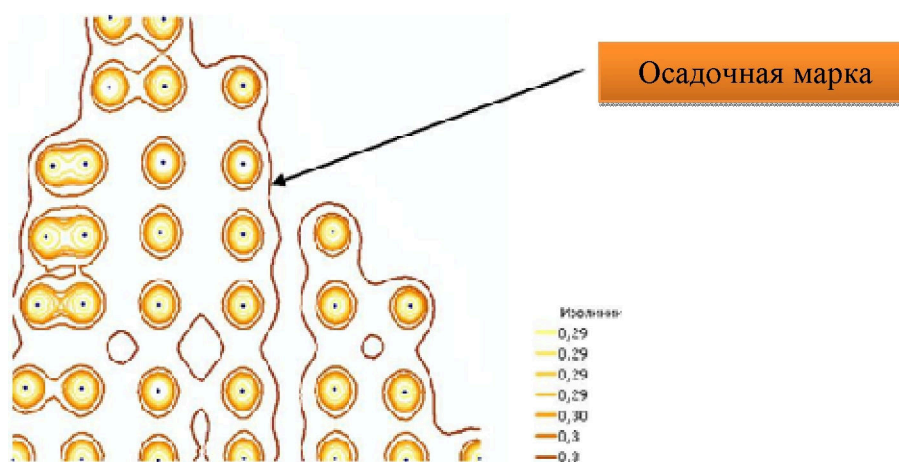


Рисунок 6 – Цифровая модель ошибок интерполяции осадок фундаментов инженерных сооружений (экспоненциальная модель)

Вывод: безусловно, осадка здания является важной проблемой, для решения которой нужны современные методы. Применение геостатистических методов интерполяции помогает точно представить в графическом растровом и векторном форматах данные, которые выражают пространственно-временное состояние фундаментов инженерных сооружений. Также эти методы позволяют выполнить детальный анализ количественных и качественных характеристик осадок фундаментов инженерных сооружений. Итак, возможность сравнить вычисленное значение и уравненное предоставляет полезную информацию о параметрах вариограммы. Преимуществом предложенной методики пространственно-временного анализа деформаций фундаментов является то, что получаемая цифровая модель осадок построена при условии оптимального поля или карты распределения ошибок интерполяции.

Литература:

1. <http://www.geodan.ru/osadka.shtml>
2. Шевченко Г.Г., Желтко Ч.Н., Гура Д.А., Пастухов М.А. Определение смещений осадок сооружений с использованием поискового метода уравнивания // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 7 (17). – С. 37–40.
3. Желтко Ч.Н., Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Кузнецова А.А. Алгоритмоопределения координат при мониторинге сооружений с использованием поискового метода уравнивания // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 3. – С. 60–64.
4. Гура Д.А., Шевченко Г.Г. Современные измерительные технологии на кафедре кадастра и геоинженерии в КубГТУ // Научно-технический журнал по геодезии, картографии и навигации Геопрофи. – 2012. – № 6. – С. 23–24.
5. Ляшенко П.А. Сопротивление и деформации глинистого грунта : монография. – Краснодар : КубГТУ, 2014. –161 с.
6. Абушенко С.С., Шевченко Г.Г., Желтко Ч.Н., Гура Д.А., Ильченко Е.С. Определение неперпендикулярности сооружения безотражательным тахеометром // В сборнике: Науки о Земле на современном этапе VI Международная научно-практическая конференция. – 2012. – С. 98–102.
7. Шевченко Г.Г., Желтко Ч.Н., Гура Д.А., Пастухов М.А. Метод определения смещений и осадок сооружений с учетом особенностей работ на строительной площадке // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 11. – С. 23–24.
8. Хорцев В.Л., Проскура Д.В., Шевченко Г.Г., Гура Д.А. Наблюдения за горизонтальными и вертикальными смещениями сооружений // В сборнике: Науки о Земле на современном этапе. VI Международная научно-практическая конференция. – 2012. – С. 120–123.
9. Кузнецова А.А., Гура Д.А., Шевченко Г.Г. Опыт использования технологий и оборудования Leica Geosystems в учебно-образовательном процессе КубГТУ. Выполнение хозяйственных работ // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 4. – С. 64–66.
10. Хорцев В.Л., Проскура Д.В., Гура Д.А., Шевченко Г.Г. Горизонтальные и вертикальные смещения сооружений и причины их возникновения. // В сборнике: Науки о Земле на современном этапе. – 2012. – С. 116–119.
11. Гитис В.Г. Основы пространственно временного прогнозирования в геоинформатике / В.Г. Гитис, Б.В. Ермаков. – М. : Физматлит, 2004.
12. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. – М. : МГУ, 2008. – 424 с.
13. Басаргин А.А. Геостатистический анализ результатов наблюдения за осадками фундамента инженерного сооружения // ГЕО-Сибирь-2007: сб. материалов науч. конгр. – Т. 1. – Ч. 1. – Новосибирск : СГГА, 2007. – С. 290–292.
14. Басаргин А.А. Анализ геостатистических методов обработки результатов наблюдений за осадками инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2008: сб. материалов науч. конгр. – Т. 1. – Ч. 2. – Новосибирск : СГГА, 2008. – С. 231–235.
15. Бердзенишвили С.Г., Гура Д.А., Желтко Ч.Н., Кравченко Э.В. Картография : Справочное пособие к лабораторным работам и контрольной работе для студентов всех форм обучения направления бакалавриата 120700 – «Землеустройство и кадастры» / ФГБОУ ВПО «КубГТУ». – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014.

References:

1. <http://www.geodan.ru/osadka.shtml>
2. Shevchenko G.G., Zheltko Ch.N., Gura D.A., Pastukhov M.A. Opredelenie smeshcheniy osadok sooruzheniy s ispolzovaniem poiskovogo metoda uravnivaniya // Novyy universitet. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2013. – № 7 (17). – P. 37–40.
3. Zheltko Ch.N., Shevchenko G.G., Gura D.A., Kuznetsova A.A. Algoritm opredeleniya koordinat pri monitoringe sooruzheniy s ispolzovaniem poiskovogo metoda uravnivaniya // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2013. – № 3. – P. 60–64.
4. Gura D.A., Shevchenko G.G. Sovremennye izmeritelnye tekhnologii na kafedre kadastra i geoinzhenerii v KubGTU // Nauchno-tekhnicheskii zhurnal pogeodezii, kartografii i navigatsii Geoprofi. – 2012. – № 6. – P. 23–24.
5. Lyashenko P.A. Soprotivlenie i deformatsii glinistogo grunta : monografiya. – Krasnodar : KubGTU, 2014. –161 p.
6. Abushenko S.S., Shevchenko G.G., Zheltko Ch.N., Gura D.A., Ilchenko E.S. Opredelenie nevertikalnosti sooruzheniya bezotrazhatelnym takheometrom // V sbornike: Nauki o Zemle na sovremennom etape VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. – 2012. – P. 98–102.

7. Shevchenko G.G., Zheltko Ch.N., Gura D.A., Pastukhov M.A. Metod opredeleniya smeshcheniy i osadok sooruzheniy s uchetom osobennostey rabot nastroitelnoy ploshchadke // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo. – 2012. – № 11. – P. 23–24.
8. Khortsev V.L., Proskura D.V., Shevchenko G.G., Gura D.A. Nablyudeniya za gorizontalnymi i vertikalnymi smeshcheniyami sooruzheniy // V sbornike: Nauki o Zemle na sovremennom etape. – 2012. – P. 120–123.
9. Kuznetsova A.A., Gura D.A., Shevchenko G.G. Opyt ispolzovaniya tekhnologiy i oborudovaniya Leica Geosystems v uchebno-obrazovatelnom protsesse KubGTU. Vypolnenie khozdogovornykh rabot // Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin). – 2013. – № 4. – P. 64–66.
10. Khortsev V.L., Proskura D.V., Gura D.A., Shevchenko G.G. Gorizontálne i vertikalnye smeshcheniya sooruzheniy i prichiny ikh vozniknoveniya // V sbornike: Nauki o Zemle na sovremennom etape. – 2012. – P. 116–119.
11. Gitis V.G. Osnovy prostranstvenno vremennogo prognozirovaniya v geoinformatike / V.G. Gitis, B.V. Ermakov. – M. : Fizmatlit, 2004.
12. Lur'ye I.K. Geoinformatsionnoe kartografirovaniye / I.K. Lur'ye. – M. : MGU, 2008. – 424 p.
13. Basargin A.A. Geostatisticheskiy analiz rezul'tatov nablyudeniya za osadkami fundamenta inzhenernogo sooruzheniya // GEO-Sibir'-2007: sb. materialov nauch. kongr. – T. 1. – Ch. 1. – Novosibirsk : SGGA, 2007. – P. 290–292.
14. Basargin A.A. Analiz geostatisticheskikh metodov obrabotki rezul'tatov nablyudeniya za osadkami inzhenernykh sooruzheniy // GEO-Sibir'-2008: sb. materialov nauch. kongr. – T. 1. – Ch. 2. – Novosibirsk : SGGA, 2008. – P. 231–235.
15. Berdzenishvili S.G., Gura D.A., Zheltko Ch.N., Kravchenko E.V. Kartografy : Handbook to laboratory works and examination for students of all forms of education of the direction of a bachelor degree 120700 – «Land management and inventories» / FGBOU VPO «KUBGTU». – Krasnodar : Publishing House – South, 2014.