

М.А. Гендельманның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 19» халықаралық ғылыми - практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19, посвященной 110-летию М.А. Гендельмана». - 2023.- Т. I, Ч. IV. – С. 28-31.

УДК528.31/.41(574)

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МАЛОЙ ВЫБОРКИ

*Толеубекова Ж.З., к.т.н, ассоциированный профессор
Игильман А.К., магистрант КазАТУ
Нурболат Б., магистрант КазАТУ
Казахский агротехнический исследовательский университет им.
С.Сейфуллина, г. Астана*

В настоящее время идет бурная застройка городов и населенных мест. Об этом может свидетельствовать столица Республики Казахстан Астана. За два десятилетия население города возросло в десятки раз.

В связи с этим необходимо было в короткие сроки построить большое количество жилых домов. И вместо старых типовых 5-9-этажных зданий, город стал застраиваться высотными инженерными зданиями и сооружениями, многие из которых строились по индивидуальным проектам, специально приходилось проводить расчеты на геодезические работы, исходя из заданных параметров.

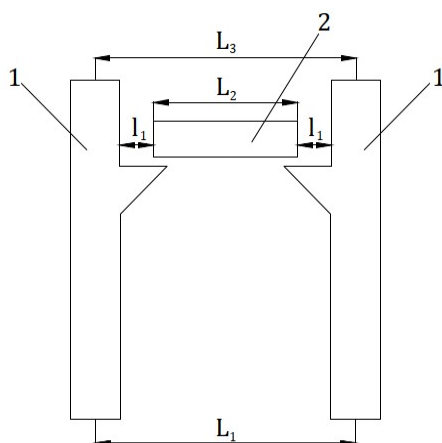
Однако необходимо отметить, что застройка левобережья г. Астаны проводится на слабых грунтах. В связи с этим начиная с 2015 г. При строительстве здания Talan Towers были проведены работы по определению осадок здания (геомониторинг) способом геометрического нивелирования по программе второго класса.

Немаловажную роль в геодезическом обеспечении строительства играют вопросы математической обработки результатов измерений предрасчетов точности и оценки их. Это относится как к теоретическим исследованиям при разработке методов и средств геодезических измерений, так и к оценке результатов измерений.

Приведенные соображения и факты по организации и техническому состоянию геодезических работ в строительстве позволили определить основные задачи научных и производственно-экспериментальных исследований в этой области. К таким задачам относятся:

- создание нормативной базы;
- проведение теоретических и экспериментальных исследований точности геодезических работ при строительстве зданий и сооружений;
- и т.д.

Решением этих задач занимались как математики [1,2], так и геодезисты [3,4, 5,6,8]. Сухов в своей работе [5] пришёл к выводу, что при малом числе измерений наиболее надёжным средним является медиана. Ганьшин В.М. задался целью решить вопрос относительно оценки точности средней квадратической ошибки при малом объёме измерений [6].



1 – колонны , 2 – ригель , L_1 – разбиваемая ось, L_2 – длина ригеля, L_3 – межосевой размер , l_1 – размер зазора

Рис 1.

В монографии Столбова Ю. хорошо описаны и проанализированы вопросы исследования точности возведения конструкции здания и сооружения с учетом нормативных актов, разработанных ведущими НИИ: ДНИИЭП, ЦНИИОМТП и др. При расчете допусков геометрических параметров рассматриваются размерные цепи, /представляющие собой совокупность размеров, образующих замкнутый контур из строительных конструкций и элементов. Так как все размеры и данные водномерной связи, т.е линейной, и представляют собой цепочку взаимосвязанных звеньев. (рис 1.)

Рассчитали погрешность собираемость данного звена ,исходя из данных погрешностей элементов, размеров т.е.

$$M_{стр.} = \sqrt{m_{г}^2 + m_{м}^2 + m_{взг}^2} \quad (1)$$

В подкоренном выражении:

$m_{г}$ -средняя квадратическая погрешность геодезических работ

$m_{м}$ - средняя квадратическая погрешность монтажных работ

$m_{взг}$ - средняя квадратическая погрешность изготовления строительных конструкции и элементов.

Обычно в нормативных документах задается как допуск на площадку опирания ригели на консоль или размер зазора, где

$$M_{\text{стр}} = \frac{\Delta_{\text{стр}}}{3},$$

т.е. строительный допуск равен утроенной средней квадратической ошибке строительства.

Однако в формулу (1) для расчета необходимо добавить погрешность из-за неучтенной разности действительных и расчетных осадков основании под действием нагрузки. Такой расчет необходим потому, что, как говорилось выше, большинство зданий построили по индивидуальному проекту, следовательно, к каждому из них необходим индивидуальный подход при расчете точности на геодезическую работу.

Хоть и были заменены блочные фундаменты на свайные, которые забивались на глубину 10 и более метров, даже они не выдерживали больших нагрузок. Это связано с обводнениями и слабыми грунтами. На это указывают геологические данные озера Талдыколь [7], а также проведенные исследования по геомониторингу нескольких высотных зданий (высотки) на левобережье. Работы проводились кафедрой инженерной геодезии ЕНУ им. Гумилева совместно со специалистами Геотехнического университета. [7]

Таким образом, обращаясь к уравнению (1) можно написать среднюю квадратическую ошибку в следующем виде

$$M_{\text{стр.}} = \sqrt{m_{\Gamma}^2 + m_{\text{И}}^2 + m_{\text{взг.}}^2 + m_{\text{ос.}}^2} \quad (2)$$

где $m_{\text{ос}}$ – средняя квадратическая погрешность разности расчетного и фактического осадков здания или сооружения.

Так по данным, полученным по результатам наблюдений, осадки достигали нескольких миллиметров, а крен высотного здания доходил до нескольких десятков сантиметров, что должно быть учтено при расчетах точности геодезической работы поправками за разность расчетной и фактической величин осадков и кренов.

Для этого проведены исследования по вопросу назначения норм точности на геодезические работы для каждого строящегося здания по индивидуальному проекту.

А это значит, что количество измерений и построений ограничено, а следовательно, их точность будет определяться по классическим методам, которые предназначены для решения задач теории ошибок, когда число измерений и построений неограниченно велико.

В нашем примере для решения задач теории ошибок, а это разыскание неизвестных значений измеренных величин и средних квадратных ошибок их приближенных эмпирических значений, а также оценку точности их надёжности.

Классические методы применимы только к большому числу измерений и построений и для малого числа измерений дадут неточные результаты. Поэтому стоит задача определить вышеперечисленные элементы с более точной величиной при малом числе измерений и построений.

Решением этих задач занимались как математики [1,2], так и геодезисты [3,4, 5,6,8]. Сухов в своей работе пришёл к выводу, что при малом числе измерений наиболее надёжным средним является медиана. Ганьшин В.М. задался целью решить вопрос относительно оценки точности средней квадратической ошибки при малом объёме измерений [6]. Не отвергая интервальный метод оценки точности, они предложили, так называемый, «оптимальный метод», основанный на минимизации доверительного интервала для m , т.е. $(Y_2 - Y_1) = \min$, где Y_2 и Y_1 – верхний и нижний предел доверительного интервала. Составляем таблицы Y_2 и Y_1 для различных p и n , где p – вероятность, n – число измерений.

Как показано выше, при расчёте точности геодезических работ принимается уравнение (2), где известно одно значение, а это заданный нормативным документом Δ_c – строительный допуск, который является предельной средней квадратической погрешностью. Для решения этой задачи обычно принимают три принципа: а) принцип $\max - \min$; б) принцип ничтожного влияния; в) принцип равного влияния – который является наиболее оптимальным с точки зрения теории способа наименьших квадратов. Однако все входящие в формулу составляющие не равны между собой. Они могут быть использованы для предварительного расчета средней квадратической ошибки геодезических измерений и построений.

Для примера возьмём данные по измерениям отклонения колон от проектного положения, полученным на одном из проектов строительства. Эти данные были сгруппированы в группы по 5, 10, 20 измерений. Для всех групп были определены t критерий Стьюдента и для нормального распределения. Вычисленные значения критериев указывают, что t значение для $n > 20$ имеет место нормальное распределение. Для $n < 20$ ошибки отклонений подчинялись закону распределения Стьюдента.

Рассчитаем среднюю квадратическую погрешность работ по формуле (2)

$$M_{\text{стр.}} = \sqrt{m_{\Gamma}^2 + m_{\text{м}}^2 + m_{\text{взг}}^2 + m_{\text{ос}}^2}$$

где $m_{\text{м}} = 7$ мм, $m_{\text{взг}} = 5$ мм, $m_{\text{ос}} = 5$ мм.

Эти значения были получены из исследования, проведенных на строительной площадке, о чем было сказано выше.

$m_{\text{ос}}$ – средняя квадратическая погрешность, как разность расчетного отклонения колонн от фактического взята из [7].

Тогда

$$m_{\Gamma} = \sqrt{M_{\text{стр.}}^2 - m_{\text{м}}^2 - m_{\text{взг}}^2 - m_{\text{ос}}^2}$$

Принимая, что $M_{стр} = \frac{\Delta_{стр}}{3} = \frac{40}{3} \approx 13$ мм из нормативных документов, как допуск на площадку опирания ригеля на консоль колонны, получим

$$m_r = \sqrt{13^2 - 7^2 - 5^2 - 5^2} \approx 9 \text{ мм.}$$

С такой погрешностью необходимо выполнить геодезическую разбивку на высоте 30-35 этажей. Это приближенные расчеты точности геодезических работ. Для более точных расчетов будут проведены детальные исследования параметров $m_{взг}$ и m_m . Это методика расчета выполнена на основе теории малой выборки с применением параметров распределения Стьюдента, которые дают хорошую сходимость с параметром нормального распределения.

Для $n < 20$ такие же исследования проводились для параметров строительных конструкций (колон), то есть определялись отклонения от проектного, также вычислялись t критерий для Стьюдента и для нормального закона распределения, которые показали, что они все получились примерно одинаковыми, что говорит о высокой точности изготовления строительных конструкций на высокотехнологических оборудованиях. Критерий t вычислялся по формуле

$$t = \frac{\bar{x} - a}{M}, \text{ где}$$

\bar{x} - среднее значение отклонений колонн от проектного положения

a - истинное значение этой величины

M - средняя квадратическая погрешность среднего значения

В обработку входили серии измерений из 5, 10 и 20. Вычисленные значения t для $p = 0,90$ и $p = 0,99$ были незначительные расхождения.

Таким же образом можно произвести обработку измерений параметров строительных конструкций и изделий.

Были проведены сравнительные анализы критерия Стьюдента t с другими критериями, такими как F -критерии, χ^2 -критерии и т.п., и они показали преимущества критерия Стьюдента перед остальными при малой выборке [9,10].

Однако было бы желательно, чтобы все составляющие входящие в формулу (2) были равновесными, т.е. повысить точность монтажных работ, точность изготовления строительных конструкций и изделий и учитывать при геодезическом контроле или установке конструкций на верхних ярусах величины смещения (деформации), чтобы исключить аварийные ситуации.

Список литературы

1. Колмогоров А.Н. Определение центра рассеивания и меры точности по ограниченному числу наблюдений [Текст]: АН СССР серии Математики, том 6, Москва, 1942.
2. Романовский В.И. Основные задачи теории ошибок [Текст]: ОГИЗ, Москва 1947.
3. Багратуни Т.В. О применении аппарата теории ошибок к оценке точности разбивочных работ [Текст]: Сборник МИСИ, 1964.
4. Большаков В. Д. и др. Теория математической обработки геодезических измерений [Текст]: Москва, Недра, 1964.
5. Сухов А. Н. Вероятностно-статистические исследования точности инженерно-геодезических измерений [Текст]: Автореферат, Москва, 1971.
6. Ганьшин В.Н. Средняя квадратическая ошибка и оценка её точности [Текст]: «Геодезия и Картография», 1965. - №5.
7. Игильманов А.А и др. Проведение геомониторинга осадок высотных зданий на неравномерных сжатых грунтах [Текст]: Н.Т.К. «Актуальные проблемы геодезии, землеустройства и кадастра». Омск, 2021. -38 – 42 с.
8. Игильманов А.А. и др. Расчёт необходимой точности геодезических работ при сооружениях самотечных водостоков [Текст]: г. Целиноград, ЦНТИ, 1985.
9. Видуев Н.Г, Кондра Г.С. Вероятностно-статистический анализ погрешности измерений [Текст]: Москва, «Недра», 1969.
10. Tolebekova Zh., Igilmanov A. and others, Comparison of Snow Indices in Assessing Snow Cover Depth in Northern Kazakhstan [Text] / Sustainability, 2022.