

**ГЕОДЕЗІЯ**

УДК 528.48

Б.Д.Бачишин, канд.тех.наук, доцент,
Національний університет водного
господарства та природокористування

ОБҐРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ РОБОТИ ЯК ПРУЖНИХ ТІЛ: СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ

Проаналізовано сучасний стан та перспективи використання методів розрахунку точності геодезичних робіт під час будівництва та експлуатації інженерно-будівельних об'єктів на підставі аналізу напружено-деформованого стану конструкцій. Досліджено основні фактори та їх вплив на точність геодезичних робіт за цим методом. Виділено напрями перспективних досліджень, а саме: всебічне врахування навантажень на конструкцію, точне визначення варіацій показників міцності бетону та сталі, а також ефективного застосування Гауссового показника надійності для всіх без винятку споруд.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, напружено-деформований стан, навантаження, Гауссів показник надійності.

Вступ. Визначаючи точність геодезичних робіт під час спорудження та експлуатації будівельних об'єктів, намагаються оперувати оптимальними значеннями похибок, які б забезпечували надійне функціонування об'єкта за мінімальних затрат на геодезичне забезпечення. Природним видається розглядати геодезичні роботи не як відокремлений процес, а як один з важливих факторів спорудження будівельного об'єкта загалом. У такому разі важливо брати до уваги вплив похибок геодезичного забезпечення на зміну зусиль в конструкції та на основі результатів аналізу цих змін визначати точність такого забезпечення.

Аналіз досліджень та публікацій. Напевно, першу спробу нормувати точність геодезичних робіт під час спорудження мосту, спираючись на аналіз змін зусиль, спричинених похибками монтажу мосту, здійснив І.М.Терновських ще в 1966 році [1]. У всіх розрахунках автор задавався 5-відсотковим допуском на зміну зусилля, ніяк не обґрунтовуючи цієї величини. В роботі [2] розглянуто питання нормування точності розмічувальних робіт під час спорудження багатопверхових каркасних будинків з уніфікованих збірних елементів. Допуски визначено з врахуванням показника

відповідальності споруди, який є певним аналогом показника надійності конструкції. Для вантових покриттів Ісаєвим О.П. реалізовано спробу врахувати вплив похибок геодезичних вимірювань на зміну внутрішніх зусиль в елементах будівельних конструкцій [3]. Тривають дослідження для визначення параметрів (точності, кількості марок та віддалі між марками) спостереження за деформаціями фундаментів на підставі аналізу напружено-деформованого стану [4].

Допустимі похибки у технологічних процесах спорудження оболонок, визначені на основі врахування їх впливу на зміну зусиль в тілі конструкції, наведені в роботі [5]. Такі похибки обчислені, зважаючи на імовірнісний показник надійності оболонки за міцністю.

Методику розрахунку допустимих похибок у процесі зведення споруд баштового типу на підставі аналогічного аналізу наведено у статті [6].

Визначення точності геодезичних робіт під час будівництва мостових переходів шляхом моделювання напружено-деформованого стану конструкцій висвітлено в роботах [7; 8]. Допустиму похибку геодезичних вимірів автори [7] пропонують розраховувати, виходячи з 20-відсоткового надлишкового навантаження на арку. Це навантаження обчислене на основі середнього значення із діапазону коефіцієнтів умов роботи, які змінюються в межах 1,1 - 1,4. Для аркових мостових опор автори [8] точність геодезичних робіт призначають через відхилення верхнього торця опори від проектного положення. За таке відхилення беруть найгірший варіант, коли вектор відхилення від проектного нахилу збігається з ексцентриситетом передачі навантаження на опору. Вектор відхилення та ексцентриситет вираховують за значенням сил, які діють на опору, геометричними параметрами опори та характеристиками жорсткості конструкції. Перехід від цього відхилення до похибки геодезичних робіт відбувається через коефіцієнт t , який вибирають із таблиць Стюдента за заданою імовірністю та кількістю вимірювань. У статті [8] використано значення $t=3$, яке відповідає імовірності $P=0,997$.

Постановка завдання. Виконати узагальнене дослідження всіх факторів, які впливають на точність геодезичного забезпечення на основі пропонованого методу.

Основна частина. Коли розрахунок точності геодезичного забезпечення ґрунтується на аналізі напружено-деформованого стану конструкцій, точність геодезичних робіт δ_T у процесі спорудження чи спостереження за деформаціями споруди залежить загалом від таких факторів: Q – результаційного зусилля, що діє на конструкцію, a , h – геометричних розмірів конструкції, R_b , R_S – нормативної призмової міцності бетону й арматури, β – Гауссового показника надійності елементів та середніх квадратичних відхилень цих чинників $m_Q, m_a, m_h, m_{R_b}, m_{R_S}$:

$$\delta_T = f(Q, m_Q, a, m_a, h, m_h, R_b, m_{R_b}, R_S, m_{R_S}, \beta). \quad (1)$$

Для надійного визначення точності геодезичних робіт потрібно напевно знати згадані параметри та їх середні квадратичні відхилення. Якщо таких відомостей немає, можуть бути використані середні значення статистичних даних, наведені в літературі [10; 11]. Але для відповідальних й унікальних споруд слід отримати «свої» характеристики відхилення.

Розрізняють навантаження на конструкцію постійні і тимчасові. Постійні визначаються точно, адже основні з них – це вага конструкцій та функціональних елементів, які споруда мусить витримати (наприклад, вага одягу полотна проїжджої

частини мосту, вага зовнішніх висотних надбудов і балконів, антенної щогли, технологічного устаткування на спорудах баштового типу тощо).

Точно врахувати тимчасові навантаження (навантаження на міст від транспорту та пішоходів, навантаження від опадів (дощу, снігу, ожеледиці) на оболонкові покриття, мости, споруди баштового типу) важче, а деякі з них (вітрові, температурні кліматичні, зумовлені сонячною радіацією внаслідок однобічного нагрівання, а також різницею температури повітря усередині і зовні споруди, вплив попереднього напруження, сейсмічні сили) – вкрай важко.

У розрахунках всіх без винятку навантажень застосовують коефіцієнти надійності за навантаженням γ [9], які є складовою загального показника надійності споруди чи конструкції і які слугують певним аналогом середнього квадратичного відхилення m_Q . Реальні значення навантаження та їх відхилення є, мабуть, найменш прогнозованим фактором (1). Дослідження, спрямовані на всебічне, повне та оптимальне врахування впливу цього фактора на точність геодезичних робіт є вкрай важливим завданням, ефективно розв'язання якого тісно пов'язане з питаннями такого врахування можливих навантажень у розрахунку конструкцій.

Серед геометричних параметрів конструкцій (a , h) виділяють ті, які мають найбільший вплив на точність геодезичного забезпечення, а саме ширину, довжину, висоту конструкції, товщину захисного шару бетону, площу арматури, площу бетону. За допомогою сучасних геодезичних і метрологічних вимірювальних засобів реальні геометричні розміри конструкції можна визначити практично з будь-якою необхідною точністю. Це стосується розмірів конструкції загалом, а також розмірів i , відповідно, площ арматури та бетону. Площу арматури витримують точніше (відносне відхилення становить 2,5% [10] та 2% [13]), ніж товщину захисного шару бетону, коливання якої може сягати 6-8% [10; 13]. Автор [10] рекомендує визначати захисний шар бетону для збірних залізобетонних конструкцій з відносною похибкою 0,5%. У доповіді [11] наведено статистичні дані щодо визначення товщини захисного шару бетону монолітних конструкцій. Зокрема, середнє квадратичне відхилення від проектного значення становить 12,4 мм для стін, 20,9 мм – для колон та 7,9 мм – для нижнього армування плит перекриття.

Геометричні розміри більшості будівельних конструкцій можна визначити точно, їх варіації незначні, а коефіцієнти, які враховують їх вплив у загальній формулі (1) – є малі, тому частка цих параметрів та їх відхилень у загальній похибці δ_r є мізерною.

Реальна призмova міцність бетону й арматури може значно відрізнитися від нормативного значення i , як наслідок, значно впливати на точність геодезичних робіт. За дослідженнями [10] коефіцієнт варіації для збірних конструкцій становить $9 \div 10\%$ для призмovoї міцності бетону та $8 \div 9\%$ для сталі. Інший автор [13] наводить схожі дані $m_{R_b} / R_b = 6 \div 25\%$, $m_{R_s} / R_s = 5 \div 14\%$. У науковій праці [12] наведено такі результати: коефіцієнт варіації міцності для монолітних конструкцій становить 12% для бетону класу B25 та 8% – для бетону класу B60. Щовищий клас бетону, то менше відносне відхилення. Для відповідальних конструкцій слід визначати реальне значення призмovoї міцності бетону. Для цього можуть бути використані руйнівні та неруйнівні методи контролю. Тепер ефективними стають неруйнівні, зокрема – метод пружного відскоку та ультразвуковий.

Варіації міцності бетону є другим фактором за мірою впливу на точність геодезичних робіт, тому об'єктивне їх врахування у формулі (1) потребує нових, ширших досліджень, а для унікальних та неординарних споруд – детальних робіт для визначення реальних точних значень міцності бетону в різних місцях конструкції. Варіації показника міцності сталі є меншими, але їх вплив на загальну похибку виявляється значним в конструкціях, які працюють на згин та розтягнення.

Один із найбільш відповідальних моментів цієї методики нормування точності геодезичних робіт полягає у виборі Гауссового показника надійності елементів β чи його відповідника. Автори [5;6] оперують безпосередньо саме Гауссовим показником для оболонки [5] та споруд баштового типу [6]. На час згаданих досліджень в будівельній теорії та практиці [13] широко рекомендувались значення показника β лише для таких споруд через їх унікальність, адже їх можливе руйнування могло спричинити значні людські та матеріальні втрати. Інші автори [1-4; 7; 8] не використовують Гауссового показника надійності конструкцій. Автори [7; 8] пропонують визначати точність геодезичних робіт, виходячи із 20-відсоткового надлишкового навантаження на арку моста. Це надлишкове навантаження є фактично відхиленням $m_Q = 0,2Q$ у формулі (1) і може слугувати лише одиничним показником надійності за зусиллями, але не відображає загальної надійності конструкції. Останнім часом у світовій будівельній практиці широко використовують Гауссів показник надійності не лише для унікальних споруд, але й для масових традиційних конструкцій [14].

Практично в усіх згаданих роботах розглядаються показники надійності конструкції за міцністю. Потребують нових досліджень методики розрахунку точності геодезичних робіт, які базувалися б на аналізі можливої втрати стійкості споруд, а надалі на сумісному, комплексному застосуванні обох підходів.

Спостерігаючи за деформаціями споруд, автори [4] призначають точність геодезичних робіт, відповідну максимальній похибці визначення згинального моменту для основи фундаменту газокompресорної станції, враховуючи лише статичне навантаження від власної ваги конструкції та обладнання. Максимальна похибка моменту відповідна максимальній похибці геодезичних вимірювань, що певною мірою означатиме «занижену» точність робіт. Застосувати Гауссів показник надійності автори не намагалися.

Важливим моментом методики обґрунтування точності геодезичних робіт на підставі результатів аналізу напружено-деформованого стану будівельної конструкції є те, що формули будівельної механіки, які використовують для розрахунку конструкцій під час проектування і на основі яких отримують формули допустимої похибки геодезичних робіт, є наближеними, спрощеними і містять певну похибку. В різних джерелах трапляється інформація про те, що формули, наведені в ДЕСТах для розрахунку перерізів будівельних конструкцій дають змогу визначати зусилля з похибкою 5%. Проте конкретного посилання на якесь джерело стосовно обґрунтування цієї цифри автором не траплялося. Застосування програмних комплексів із розрахунку будівельних конструкцій дає можливість оцінити точність «наближених» формул розрахунку та їх вдосконалити.

Висновок. Методика обґрунтування точності геодезичного забезпечення, яка базується на врахуванні впливу похибок геодезії на зміну напружено-деформованого стану конструкції є, мабуть, найбільш «природною», адже в ній взято до уваги геодезичну складову у складному комплексі розрахунку, будівництва й експлуатації будівельної

споруди. Потребують подальших досліджень та вдосконалень такі питання, як всебічне врахування навантажень на конструкцію, точне визначення варіацій показників міцності бетону та сталі, а також ефективного застосування Гауссового показника надійності для усіх без винятку споруд. Важливими були б розробки нових методик розрахунку точності геодезичних робіт, які б враховували не лише розрахунок за міцністю, ай імовірну втрату стійкості споруди, а надалі – комплексне застосування обох методів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Терновских И.Н.* Применение формул строительной механики для обоснования точности геодезических работ при сооружении мостов / И.Н. Терновских // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1966. – №5. – С. 23–30.
2. *Столбов Ю.В.* Теоретические основы назначения допусков на геодезические разбивочные и строительно-монтажные работы с учетом ответственности сооружений / Ю.В. Столбов // Геодезическое обеспечение строительства, монтажа и эксплуатации инженерных сооружений. – М., 1991. – С. 38–41.
3. *Исаев А. П.* Связь ошибок геодезических построений с изменением внутренних усилий в элементах строительных конструкций / А. П. Исаев // Инженерная геодезия. – К.: Будівельник, 1989. – Вып.32. – С. 42–45.
4. *Староверов В. С.* К вопросу точности наблюдений деформаций фундаментов газокompрессорных станций с учетом априорного анализа напряженно-деформируемого состояния / В. С. Староверов, Ю. Ф. Гуляев // Инженерная геодезия. – К. – 2002. – Вып.48. – С. 219–226.
5. *Бачишин Б. Д.* Допустимі похибки геодезичного забезпечення спорудження оболонки / Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – К. –2002.– Вып.46. – С. 8–14.
6. *Егоров А. И.* Расчет допустимой технологической погрешности возведения сооружений башенного типа / А. И. Егоров, А. П. Исаев // Инженерная геодезия. – К. – 2002. – Вып.48. – С. 94–99.
7. *Староверов В. С.* Методика визначення точності геодезичних робіт при будівництві мостових переходів шляхом моделювання напружено-деформованого стану конструкцій / В. С. Староверов, О. В. Адаменко // Вісник геодезії та картографії. – К. – 2009.– №5. – С. 7–12.
8. *Чібіряков В. К.* Визначення точності геодезичних робіт при будівництві аркових мостових опор / В. К. Чібіряков, В. С. Староверов, О. В. Адаменко // Інженерна геодезія. – К. – 2010. – Вып.55. – С. 195–203.
9. *Державні будівельні норми України: ДБН–В.1.2-2:2006.* Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Введ. 2006-01-01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 75с.
10. *Судаков В. В.* Контроль качества и надежности железобетонных конструкций / В. В. Судаков. – Л. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
11. *Иванов, С. И.* Отклонение размеров сечений и величины защитного слоя при изготовлении монолитных железобетонных конструкций / С. И. Иванов, Д.В Кузеванов // Материалы XV научно-методической конференции ВИТИ. – Санкт-Петербург. – 2011. – С. 163–167.

12. Кузеванов Д. В. Надежность внецентренно сжатых железобетонных элементов при расчете по прочности нормальных сечений : дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Кузеванов. – М., 2012. – 187 с.

13. Кудзис А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Москлас, 1985. – 156 с.

14. Кузеванов Д. В. Требуемый уровень надежности [Электронный ресурс] / Д.В. Кузеванов. – Сайт лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ. – Режим доступа : <http://niizhb2.ru/article8.html/> – 10.06.2014р. – Загол. з екрана.

REFERENCES

1. Ternovskikh, I.N. (1966). *Primenenije formul stroitelnojmekhaniki dlia osnovanijatochnostigeodezicheskikh rabot prisooruzhenijimostov* [Application of the formulas of structural mechanics to substantiate the accuracy of geodetic works in the construction of bridges]. *Izvestija VUZov. Heodezija i aerofotosjemka – Proceedings of the universities. Surveying and aerial photography*, 5, 23–30 [in Russian].
2. Stolbov, Yu. V. (1991). *Teoreticheskiye osnovy naznachenija dopuskov na geodezicheskije razbivochnyje i stroitelno-montazhnyje raboty s uchjotom otvetstvennosti sooruzhenij* [Theoretical Foundations destination tolerances for geodetic and construction work in the light of building structure liability]. *Geodezicheskoje obespechenije stroitelstva, montazha I ekspluatacziji inzhenernykh sooruzheniy – Geodesic support the construction, installation and operation of engineering structures*, 38–41 [in Russian].
3. Isajev, A. P. (1989). *Svjaz oshybok geodezicheskikh postrojeniy s izmeneniem vnutrennikh usilij v elementakh stroitelnykh konstruksij* [Communication the errors of geodetic constructions with the change of internal forces in elements of constructions]. *Inzhenernaja geodezija – Engineering surveying*, 32, 42–45 [in Russian].
4. Staroverov, V. S. & Huljajev Ju. F. (2002). *K voprosu tochnosti nabljudenij deformatsij fundamentov gazokompressornykh stantsij s uchjotom apriornoho analiza naprjazhenno-deformirujemoho sostojanija* [On the question of the accuracy of observation of deformations of foundations gas-compressor stations, taking into account the a priori analysis of the stress-strain state]. *Inzhenerna geodezija – Engineering surveying*, 48, 219–226 [in Russian].
5. Bachyshyn, B. D. (2002). *Dopustymi pokhybky heodezychnoho zabezpechennja sporudzhenija obolonok* [Permissible errors of geodetic support the building of shells]. *Inzhenerna geodezija – Engineering surveying*, 46, 8–14 [in Ukrainian].
6. Jehorov, A. I. & Isajev, A. P. (2002). *Raschet dopustimoj tehnologicheskoy pogreshnosti vozvedenija sooruzhenij bashennogo tipa* [Calculation of allowable technological error the construction of tower type structures]. *Inzhenerna geodezija – Engineering surveying*, 48, 94–99 [in Russian].
7. Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2009). *Metodyka vyznachennja tochnosti heodezychnyx robit pry budivnytsvi mostovykh perekhodiv shljakhom modeljuvannja napruzhenno-deformovanoho stanu konstruksiy* [Technique of determining the accuracy of geodetic work at the construction of highway stream crossings by modeling the stress-strain state of structures]. *Visnyk heodeziji ta kartografiji – Bulletin of Surveying and Mapping*, 5, 7–12 [in Ukrainian].

8. Chibirjakov, V. K. & Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2010). Vyznachennja tochnosti heodezychnyx robit pry budivnytsvi arcovykh mostovykh opor [Determining the accuracy of geodetic work at the building of arch bridge constructions]. *Inzhenerna geodezija – Engineering surveying*, 55, 195–203 [in Ukrainian].
9. DerzhavnibudivelninormyUkrajiny. Systemazabezpechennjanadiynostitabezpekybudivelnnykhobjektiv. Navantazhennja i vplyvy. Normy proektuvannja [State Construction Standards Ukraine. System of providing reliability and safety of construction projects. Loads and effects. Design standards] (2006). *DBN–V.1.2-2:2006 from 27th January 2006*. Kyiv: MinbudUkraine [in Ukrainian].
10. Sudakov, V. V. (1980). *Kontrol kachestva i nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij [Control of quality and reliability of reinforced concrete structures]*. Leningrad: Strojizdat [in Russian].
11. Ivanov, S. I. & Kuzevanov D. V. (2011). Otklonenije razmerov sechenij i velichiny zashchitnogo sloja pri izgotovleniji monolitnykh zhelezobetonnykh konstruksij [Deviation the sizes cross sections and magnitudes of the protective layer in the manufacture of monolithic reinforced concrete structures]. *Proceedings of the 15th Scientific and Methodological Conference VIII*. – (pp. 163–167). St. Petersburg [in Russian].
12. Kuzevanov, D. V. (2012). Nadezhnost vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri raschete po prochnosti normalnykh sechenij [Reliability eccentrically compressed concrete elements in calculating the strength of normal section]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
13. Kudzis, A. P. (1985). *Otsenka nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij [Assessment of the reliability of reinforced concrete structures]*. Vilnius: Mosklas [in Russian].
14. Kuzevanov, D. V. (2014). Trebujemyj uroven nadezhnosti [The required level of reliability]. – Sajt laboratoriji zhelezobetonnykh konstruksij i kontrolja kachestva NIIZhB [Site of laboratory of concrete structures and quality control NIIZhB]. *niizhb2.ru/article8.html/*– Retrieved from \www/ URL: <http://niizhb2.ru/article8.html/> [in Russian].

Б.Д. Бачишин

**ОБОСНОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ИХ РАБОТЫ
КАК УПРУГИХ ТЕЛ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Проанализировано современное состояние и перспективы использования методов расчета точности геодезических работ при строительстве и эксплуатации инженерно-строительных объектов, основанных на анализе напряженно-деформированного состояния конструкций. Исследованы основные факторы и их влияние на точность геодезических работ на основании данного метода. Выделены направления перспективных исследований, а именно: всесторонний учет нагрузок на конструкцию, точное определение вариаций показателей прочности бетона и стали, а также эффективное применение Гауссова показателя надежности для всех без исключения сооружений.

Ключевые слова: геодезическое обеспечение, напряженно-деформированное состояние, нагрузки, Гауссов показатель надежности.