

A. Samoilenko,
S. Sykal

MAIN PRINCIPLES OF CREATION AND USE OF THE COLLECTION SYSTEM OF COORDINATE OF UKRZALISKI KSKU-20XX

The article describes the conditional coordinate system of JSC «Ukrzaliznytsia» USKU-20XX as the intermediate system between the International Earth Reference Frame ITRF20XX, in which the GNSS receivers work, and the offered KSKU-20XX Coordinate System of JSC 'Ukrzaliznytsia', in which there will be solved the problems, related to location, speed and acceleration of moving objects on the track, and their control in space and time, including provision of their navigation in real time. These systems meet technical and organizational requirements for the work performed on the track and near it at maximum rate, and are also suitable for providing trains' navigation, which in its turn will allow all services, enterprises and units of JSC «Ukrzaliznytsia» to quickly, precisely and unambiguously locate on the map and space not only any objects (switches, catenary masts, platforms, boundaries of land plots, etc.), but also problems occurred with them.

Keywords: Conditional coordinate system, Track coordinate system, Ukrainian Railways, formulas, approximation, calculations, infrastructure.

Надійшла до редакції

20.09.2017

УДК 528.2

А.П. Исаев, канд. техн. наук, доцент

Р.В. Шульц, д-р техн. наук, профессор

Ю.Ф. Гуляев, доцент кафедры инженерной геодезии

В.С. Стрилец, ас. кафедры инженерной геодезии

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСАДКИ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ)

В статье рассмотрен подход к выполнению предварительного расчета точности геодезических измерений осадок статически неопределимых конструкций на примере прямолинейного вертикального стержня. Предложено для выполнения расчетов использовать базовые принципы строительной механики. Расчеты выполнены исходя из принципа напряженно-деформированного состояния конструкций. Представлен анализ механического движения сооружения во время осадки, при этом рассмотрены две модели сооружения – в виде абсолютно твердого тела и деформируемого тела. Показана связь осадки с деформациями элементов конструкций и напряжениями в их сечениях.

© А.П. Исаев, Р.В. Шульц,
Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец, 2017

На примере металлического стержня теоретически смоделирована ситуация осадки и сформулированы необходимые условия измерений. На основании теоретического эксперимента показан принцип расчета точности измерения осадки.

Ключевые слова: осадка, деформация, напряжения, стержень, точность измерений.

Вступление. Любая строительная конструкция должна иметь запас прочности, что обеспечивает надежность ее работы. Неравномерная осадка статически неопределимых конструкций приводит к увеличению напряжений в сечениях элементов конструкций и вызывает деформации, способные повлиять на их жесткость, прочность, выносливость и устойчивость. Это так называемое изменение напряженно-деформированного состояния конструкций [7; 12].

Для геодезических измерений проблема состоит в том, что измерять осадку во времени нужно с такой точностью, с такой частотой и таким комплексом приборов, чтобы контролировать напряжения и деформации в элементах конструкций (ЭК) и не пропустить момент появления критического значения напряжений. При этом организация геодезических измерений должна быть такова, чтобы зафиксировать время начала осадки и время перехода материала ЭК к состоянию предела пропорциональности. Далее, если принято технологическое решение, надо зафиксировать наступление момента предела упругости или же предела прочности. Фиксация данного момента возможна только при комбинированном использовании методов геодезии и методов строительной механики.

Анализ исследований и публикаций. Попытки применения методов строительной механики для решения геодезических задач делались многими учеными начиная с середины XX столетия. Первоначально исследования учёных были направлены на использование аналогий расчетных схем строительных конструкций и геодезических сетей. Исследования в этом направлении позволили разработать оригинальные подходы к уравниванию результатов геодезических измерений, которые базируются на использовании метода сил [13] и метода конечных элементов [9]. В практике инженерной геодезии первые попытки применения методов строительной механики были сделаны при геодезическом обеспечении возведения башенных сооружений. Наиболее полно опыт применения комплексного подхода обобщен в работе [3]. При решении задач геодезического мониторинга первые значимые результаты применения методов строительной механики для расчета точности геодезических работ были достигнуты представителями киевской школы инженерной геодезии под руководством проф. Видуева. Проблеме расчета точности геодезических работ при наблюдении за оседаниями и перемещениями на основе напряженно-деформированного состояния (НДС) посвящены исследования В.С. Староверова, А.Ф. Шестопада, В.К. Чибирякова [16; 17]. Несколько позднее детальные исследования в области применения методов строительной механики при геодезическом обеспечении возведения инженерных сооружений были выполнены Б.Д. Бачишиным [2] – геодезическое обеспечение возведения

пространственных покрытий; А.В. Адаменко [1; 15] – геодезическое обеспечение возведения мостовых сооружений; А.И. Егоровым [8] – геодезическое обеспечение возведения башенных сооружений. Общий подход к таким расчетам приведен в работе [10]. Вопросы применения методов строительной механики при выполнении геодезического мониторинга за уникальными сооружениями рассмотрены в работах В.С. Староверова, В.К. Чибирикава, Ю.Ф. Гуляева, Н.В. Белоуса [4], К.Е. Бурака [6], К.А. Никитенко. Использование принципа напряженно-деформированного состояния оказалось весьма эффективным при решении задачи учета температурных деформаций строительных конструкций при выполнении геодезических работ [11; 14; 18].

Несмотря на значительный объем выполненных исследований, в случае проведения геодезического мониторинга проблема измерения осадки с требуемой точностью, частотой и необходимым комплексом приборов при условии контроля напряжения и деформации в элементах конструкций для фиксации критического значения напряжений остается актуальной.

Постановка задачи. Задача статьи заключается в том, чтобы разработать базовые принципы расчета точности геодезических измерений в соответствии с заявленной концепцией на простом примере однородного вертикального стержня, работающего на растяжение.

Изложение основного материала. Осадка инженерного сооружения может быть вызвана многими факторами, например, состоянием основания и геологией участка строительства, весом сооружения, внешними нагрузками и др., и задача геодезиста состоит в том, чтобы измерить эту осадку, даже не зная, какими причинами она вызвана. Многие определения осадки правильны с точки зрения той дисциплины, которая её изучает. Мы со своей стороны хотим дать своё определение, которое согласуется с нашими исследованиями.

Осадка инженерного сооружения – это вертикальное движение инженерного сооружения в целом или отдельных его частей под действием силы тяжести на изменяемых грунтах относительно некоторого исходного положения.

Речь в данном определении идет о механическом движении сооружения (в первую очередь точек его основания $1, 2, 3, \dots, i, \dots, n$ во время осадки, т.к. другие точки по разным причинам могут двигаться иначе) в некоторой установленной системе отсчета.

Напомним, что механическим движением называют изменение положения тела (или его частей) относительно других тел, а система отсчета – это совокупность системы координат «тела» отсчета, с которым система координат связана, и системы фиксации времени. Движение или осадка измеряется относительно высотной геодезической основы, которая является в данном случае «телом» отсчета.

Линия, вдоль которой движется k -я точка основания, называется траекторией, длина траектории – путем. При этом механическое движение характеризуется такими физическими величинами как перемещение, скорость и ускорение.

Перемещение – это направленный отрезок прямой, соединяющий начальную и конечную точки траектории. Скорость характеризует быстроту

перемещение тела, ускорение – быстроту изменения скорости. Перемещение, скорость и ускорение – векторные величины.

В данной работе мы рассматриваем вертикальную и прямолинейную траекторию движения, с которой совпадает направление вектора перемещения, при этом путь, равный модулю перемещения, являться численным значением осадки.

Движение происходит во времени и в пространстве. В целом движение начинается в момент времени t_0 и заканчивается в момент времени t_n . По времени движение может быть разбито на несколько интервалов. На границе каждого временного интервала измеряются координаты точек основания. За период времени $\Delta t_{i+1}; i = t_{i+1} - t_i$ точки основания переместятся на некоторую величину с некоторой скоростью и сооружение некоторым образом изменит (или не изменит) свое напряженно-деформированное состояние.

Дальнейший подход зависит от того, какая модель сооружения и его конструкций используется при анализе и расчетах.

Проанализируем применение при исследовании осадки двух физических моделей – абсолютно твердого тела (АТТ) и деформируемого тела.

Абсолютно твердое тело – это совокупность взаимосвязанных материальных точек, расстояния между которыми не изменяются при любом движении тела и при любых воздействиях на него [5; 7]. Эта модель предполагает, что тело может иметь поступательное движение в целом, но не может деформироваться.

Итак, к каким последствиям приведет осадка сооружения в виде абсолютно твердого тела?

При равномерной осадке сооружения все точки основания получают одинаковое перемещение за время Δt . Сооружение в целом переместится в установленной системе отсчета, не изменив своего вертикального положения.

При неравномерной осадке основания сооружения точки получают неодинаковые перемещения с разной скоростью. Сооружение в целом переместится в установленной системе отсчета и накренится. Осадку вызовет крен, который измеряется наряду с осадкой.

Если материалы и размеры элементов строительных конструкций не позволяют принять гипотезу о АТТ, то тогда их рассматривают как деформируемые тела.

Деформируемое тело – это система взаимодействующих материальных точек (молекул, атомов), относительная позиция которых может изменяться под действием внешних сил или температуры [5; 14]. Эта модель предполагает изменение формы, внутренней структуры, объема, площади поверхности тела и т.д.

Деформируемое сооружение – это сооружение со сформировавшимся НДС на момент времени t .

При равномерной осадке, как и в первом случае, сооружение в целом переместится, не изменив своего вертикального положения и не получив деформаций. При неравномерной осадке сооружение получит не только крен, но и деформации элементов конструкций, и, таким образом, изменение НДС.

Связь осадки с деформациями элементов конструкции рассмотрим на примере деформируемого стержня, в котором происходят деформации растяжения.

Описание конструкции. Пусть имеется вертикальный металлический стержень длиной l и площадью поперечного сечения s , защемленный с обоих концов, причем нижний конец стержня защемлен в земле (рис.1). Такой стержень является статически неопределимым.

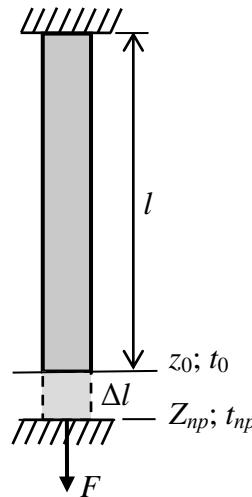


Рис. 1. Продольно деформированный стержень

Пока нагрузки нет, т.е. когда стержень находится в естественном первоначальном состоянии, он имеет длину l . При этом положение нижнего конца стержня измерено и обозначено координатой z_0 на момент времени t_0 . Если произойдет вертикальное оседание земной поверхности, то это будет равнозначно тому, что к стержню приложили продольную растягивающую силу F . Нижний конец стержня переместится, и стержень деформируется на величину Δl (рис. 1).

Если считать стержень однородным, с одинаковыми во всех точках внутренними силами упругости (равнозначными напряжениями), то

$$\Delta l = \frac{Fl}{Es} \text{ или } \Delta l = \frac{\sigma l}{E}, \tag{1}$$

где σ – напряжение, E – модуль упругости.

Обозначив относительное удлинение $\Delta l/l$ через L , представим зависимость (1) в виде

$$L = \frac{\sigma}{E}. \tag{2}$$

Зависимость (2) является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел. Графическое изображение этой зависимости называется диаграммой растяжения. Типичный пример диаграммы растяжения для металлов показан на рис. 2 [5; 7].

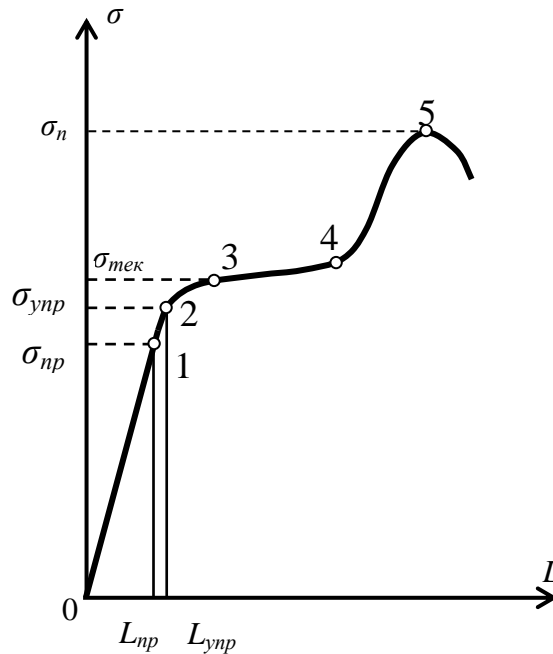


Рис. 2. Диаграмма растяжения металлического стержня

Известно поведение такого стержня под действием возрастающей нагрузки. Начало координат (точка 0) – это то крайнее первоначальное состояние стержня ($z_0, t_0, L_0 = 0, \sigma_0 = 0$), после которого стержень начинает деформироваться от возникшей нагрузки. Начальная деформация является упругой, при этом соблюдается закон Гука, то есть напряжение пропорционально относительному удлинению. Деформация растяжения носит линейный характер до тех пор, пока напряжение не достигнет значения $\sigma_{пр}$ (точка 1 на графике соответствует пределу пропорциональности), а нижний конец стержня не достигнет отметки $z_{пр}$. Далее на сравнительно небольшом отрезке (отрезок 1-2 на диаграмме) деформация носит упругий, но уже нелинейный характер. Предельное значение напряжения на этом отрезке $\sigma_{упр}$ называется пределом упругости. Остаточная деформация при этом еще не возникает, но если нагрузка продолжит возрастать, то с этого момента (точка 2) деформация станет необратимой. Затем начнется текучесть материала (участок 3-4). После прохождения предела текучести (точка 4, соответствующая напряжению $\sigma_{тек}$) материал еще сопротивляется деформации, но когда достигнет предела прочности (σ_n) – разрушится.

Проведем теоретический эксперимент. Смоделируем ситуацию для однородного металлического стержня постоянного сечения и сформулируем необходимые условия измерений.

1. Защемленный стержень представляет собой конструкцию, описанную выше.

2. Нагрузка на стержень возникает в неизвестный для наблюдателя момент времени и с неизвестной по величине продольной растягивающей силой. Поэтому параметры осадки стержня являются неизвестными заранее величинами. При этом других нагрузок, кроме продольной осевой силы, нет.

3. Организация геодезических измерений перемещения конца стержня, закрепленного в земной поверхности, должна позволять зафиксировать момент начала осадки. Если геодезическими методами это сделать не удаётся, значит, нужно другими дополнительными методами и средствами установить начало деформации.

При дальнейших измерениях осадки, когда она непрерывно нарастает, нужно четко зафиксировать наступление первого предела напряженно-деформированного состояния – предела пропорциональности, если поставлено требование, что стержень не должен выйти за пределы упругих деформаций.

4. Частота измерений определяется скоростью развития деформаций и её производной.

5. Предельная погрешность измерения перемещения конца стержня должна быть такой, чтобы результаты измерения показали нам, что достигнуто значение области предела линейных упругих деформаций и при этом значения напряжений в сечениях стержня с вероятностью P не превысили предела упругости.

Предположим, что измерения за осадкой стержня организованы так, что зафиксирован момент начала осадки и, соответственно, начала деформации стержня, т.е. по результатам измерений имеем координату z_0 на момент времени t_0 . Продолжая измерения, зафиксируем значение z_i . По результатам измеренных перемещений вычислим деформации, а по деформациям – напряжения, по которым будем судить о состоянии конструкции.

Для рассматриваемой конструкции деформации определяются как разность перемещений

$$\Delta l = z_i - z_0. \quad (3)$$

Если перемещения измеряют с одинаковой средней квадратической погрешностью m_z , то из формулы (3) найдем:

$$m_z = \frac{m_{\Delta l}}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

На графике видно, что приращению длины соответствует приращение напряжения, поэтому по аналогии с формулой (2) можно утверждать, что бесконечно малому изменению значения длины стержня соответствует бесконечно малое изменение значения напряжения:

$$\frac{dl}{l} = \frac{d\sigma}{E}. \quad (5)$$

Отсюда следует первый очевидный для всех вывод, что погрешность измерения обратно пропорциональна модулю упругости: чем больше E , то есть чем тверже материал, тем точнее надо делать измерения.

Перейдем к средним квадратическим погрешностям:

$$m_{\Delta l} = \frac{l}{E} m_{\sigma}. \quad (6)$$

Подставив это выражение в формулу (4), получим:

$$m_z = \frac{l}{\sqrt{2}E} m_{\sigma}. \quad (7)$$

Пусть измерения показывают, что достигнута область предела линейных упругих деформаций – область напряжений, соответствующая точке 1 на графике. Ограничим эту область напряжений верхним пределом $\sigma_{упр}$, т.е. установим интервал напряжений, ширина которого $\delta\sigma = \sigma_{упр} - \sigma_{нр}$ (от точки 1 до точки 2 на диаграмме).

Возьмем длину этого интервала и представим ее как предельное случайное отклонение напряжений, подчиняющееся закону нормального распределения. При вероятности $P = 0,9973$ будем иметь: $\delta\sigma = 3m_\sigma$. С учетом этого формула (7) примет вид:

$$m_z = \frac{l}{3\sqrt{2}E} \delta\sigma. \quad (7)$$

С указанной точностью необходимо выполнять геодезические измерения, чтобы надежно зафиксировать момент изменения физического состояния стержня.

Выводы. Очевидно, что точность измерения осадки статически неопределимых конструкций определяется зависимостью напряжений от деформаций (свойств материала конструкции и его поведения под нагрузкой). Под действием нарастающей нагрузки материал конструкции претерпевает несколько этапов состояний. На первом этапе упругих деформаций материал сопротивляется нагрузке и может вернуться в исходное состояние после её прекращения. За пределами упругих деформаций произойдут необратимые изменения в структуре элементов конструкции. Поэтому геодезические измерения должны быть проведены таким образом, чтобы по результатам измерений можно было отслеживать необходимые моменты НД состояния элементов конструкций, в том числе момент перехода от упругого состояния к состоянию текучести. При этом точность измерений должна позволять видеть, что состояние конструкции подходит, а затем и вошло в область предела упругих деформаций, но не перешло её. Рассмотренный подход назначения точности геодезических измерений может быть с успехом обобщен для случая составных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адаменко* О.В. Методи розрахунку точності геодезичних робіт при зведенні мостів шляхом моделювання напружено-деформованого стану [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.В. Адаменко. – К., 2012. – 18 с.
2. *Бачишин* Б.Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення спорудження будівельних оболонки [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.24.01 / Б.Д. Бачишин. - К., 1999. - 204 с.
3. *Бикташев* М.Д. Башенные сооружения. Инженерный анализ осадки, крена и общей устойчивости положения: учеб. пособие/М.Д. Бикташев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006 – 376 с.
4. *Білоус* М.В. Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ М.В. Білоус. – К., 2011. – 16 с.

5. *Будівельна механіка та металеві конструкції: підручник* / В.А. Баженов, О.Ф. Дашенко, Л.В. Коломієць, М.Г. Сур'янінов, О.В. Ухов. – Одеса: «СтандартЪ», 2010. – 587 с.
6. *Бурак К.О.* Сучасні проблеми геодезичного контролю експлуатаційної надійності на АЕС та методи їх розв'язання: автореферат дис. ... д-р техн. наук: 05.24.01/ К.О. Бурак. – Львів, 2008. – 41 с.
7. *Бурчаков Ю.И.* Строительная механика: учеб. пособие / Ю.И.Бурчаков, В.Е. Гнедин, В.М. Денисов. – М.: Высшая шк., 1983. – 255 с.
8. *Єгоров О.І.* Обґрунтування точності геодезичних робіт при будівництві і експлуатації споруд баштового типу на основі напружено-деформованого стану: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.І. Єгоров. – К., 2011. – 17 с.
9. *Карпинский Ю.А.* Вариационный принцип построения конечных элементов сетей трилатерации / Ю.А. Карпинский // Инженерная геодезия. – 1992. – Вып. 35. – С. 17-23.
10. *Лукьянов В.Ф.* Расчеты точности инженерно-геодезических работ / В.Ф. Лукьянов. – М.: Недра, 1981. – 285 с.
11. *Стрілець В.С.* Дослідження впливу температурних деформацій захисних споруд на результати геодезичного моніторингу / В.С. Стрілець// Інженерна геодезія. – 2016. - №63. – С. 82 – 91.
12. *Строительная механика стержневых систем и оболочек: учеб. пособие* / Ю.И. Бутенко, А.П. Воинов, С.Н. Кан и др.; под. ред. Ю.И. Бутенко. – К.: Высшая школа, 1980. – 488 с.
13. *Товстолес Н.И.* Методы строительной механики в применении к решению задач геодезии и маркшейдерии [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. Наук / Н.И. Товстолес. – К., 1953. – 21 с.
14. *Чибіряков В. К.* Аналіз сучасного стану проблеми врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій під час виконання геодезичних вимірювань / В.К. Чибіряков, Р.В. Шульц, О.П. Ісаєв, В.С. Стрілець // Інженерна геодезія. – 2013. – Вип. 59. – С. 23 – 31.
15. *Чибіряков В.К.* Визначення точності геодезичних робіт при будівництві та експлуатації опор мостових переходів / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, О.В. Адаменко// Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. 54. – С. 238-247.
16. *Чибіряков В.К.* Геодезичний моніторинг напружено – деформованого стану магістральних газопроводів з огляду на опір навколишнього ґрунту / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип. 61. – С. 48-57.
17. *Чибіряков В.К.* Загальний підхід до моделювання точності геодезичних робіт при проведенні моніторингу лінійних споруд / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О.Нікітенко// Інженерна геодезія. – 2011. – Вип. 57. – С. 56-67.
18. *Чибіряков В.К.* Практична реалізація математичної моделі врахування впливу температурних деформацій конструкцій при зведенні інженерних споруд / В.К. Чибіряков, Р.В. Шульц, О.П. Ісаєв, О.В. Адаменко, В.С. Стрілець // Наукові праці ДНТУ. – Вип. 1 (18). – С. 22-32.

REFERENCES

1. Adamenko O.V.(2012) Metody rozrakhunku tochnosti heodezychnykh robot pry zvedenni mostiv shliakhom modeliuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu [Methods of calculating the accuracy of geodetic work during the construction of bridges by modeling stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Bachyshyn B.D. (1999) Obgruntuvannia tochnosti heodezychnoho zabezpechennia sporudzhennia budivelnykh obolonok [Justification of the accuracy of geodetic support for the construction of outer shell]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Byktashev M.D. (2006) Bashennye sooruzheniya. Ynzhenernyi analiz osadky, krena y obshchei ustoichyvosty polozheniya [Tower buildings. Engineering analysis displacement, tilt and overall stability of the position]. Moscow: Publishing firm of construction universities [in Russian].
4. Bilous M.V. (2011) Rozroblennia metodyky sposterezhen za peremishchenniamy tuneliv metropolitenu na stadii budivnytstva [Develop methods of observation the movements of the subway tunnel during the construction phase]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Bazhenov V. .A., Dashchenko O.F., Kolomiets L.V., Surianinov M.H., Ukhov O.V. (2010) Budivelna mekhanika ta metalevi konstruktsii [Construction mechanics and metal structures]. Odessa: Standart [in Ukrainian].
6. Burak K.O. (2008) Suchasni problemy heodezychnoho kontroliu ekspluatatsiinoi nadiinosti na AES ta metody yikh rozviazannia [Modern problems of geodetic control of operational reliability at NPPs and methods of their solution]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Lviv [in Ukrainian].
7. Burchakov Yu.Y. (1983) Stroytelnaia mekhanyka [Building mechanics]. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].
8. Yehorov O.I. (2011) Obgruntuvannia tochnosti heodezychnykh robot pry budivnytstvi i ekspluatatsii sporud bashtovoho typu na osnovi napruzhenno-deformovanoho stanu. [Justification of the geodetic accuracy in the construction and operation of tower type structures on the basis of the stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
9. Karpynskiy Yu.A. (1992) Varyatsyonnyi pryntsyp postroeniya konechnykh elementov setei trylateratsyy. [Variational principle of constructing finite elements of trilateration networks]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 35, 17-23 [in Russian].
10. Lukianov V.F. (1981). Raschety tochnosty ynzhenerno-heodezycheskykh rabot [Calculations of geodetic accuracy]. Moscow: Nedra [in Russian].
11. Strilets V.S. (2016). Doslidzhennia vplyvu temperaturnykh deformatsii zakhysnykh sporud na rezultaty heodezychnoho monitorynhu [Influence of temperature deformations of defensive structures on the results of geodetic monitoring]. – *Engineering geodesy*, 63, 82-91 [in Ukrainian].
12. Butenko Yu.Y., Voynov A.P., Kan S.N. et al (1980). Stroytelnaia mekhanyka sterzhnevnykh system y obolochek [Construction mechanics of rod systems and shells]. Kyiv: Vysshaia shkola [in Russian].

13. Tovstoles N.Y. (1953). *Metody stroytelnoi mekhanyky v pryomenenyy k resheniyu zadach heodezyu y marksheideryu* [Methods of construction mechanics in application to the solution problems of geodesy and mine surveying] *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Russian].

14. Chybiriakov V.K., Shults R. V., Isaiev O. P., Strilets V. S. (2013) *Analiz suchasnoho stanu problemy vrakhuvannia vplyvu temperaturnykh deformatsii budivelnnykh konstruksii pid chas vykonannia heodezychnykh vymiriuvan* [Analysis of the current state of problems account for the influence of temperature deformation of building constructions during geodetic measurements]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 59, 23-31 [in Ukrainian].

15. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Adamenko O.V. (2008). *Vyznachennia tochnosti heodezychnykh robit pry budivnytstvi ta ekspluatatsii opor mostovykh perekhodiv* [Determination of precision geodetic work in construction and operation of bridge abutment]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 54, 238-247 [in Ukrainian].

16. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Nikitenko K.O. (2014). *Heodezychnyi monitorynh napruzhenno – deformovanoho stanu mahstralnykh hazoprovodiv z ohliadu na opir navkolyshnoho gruntu* [Geodetic monitoring of the stress-strain state of the main gas pipelines considering the resistance of the surrounding soil]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 48-57 [in Ukrainian].

17. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Nikitenko K.O. (2011) *Zahalnyi pidkhid do modeliuvannia tochnosti heodezychnykh robit pry provedenni monitorynhu liniinykh sporud* [General approach to modeling the accuracy of geodetic work during the monitoring of linear structures]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 57, 56-67 [in Ukrainian].

18. Chybiriakov V.K., Shults R. V., Isaiev O. P., Adamenko O.V., Strilets V. S. (2013). *Praktychna realizatsiia matematychnoi modeli vrakhuvannia vplyvu temperaturnykh deformatsii konstruksii pry zvedenni inzhenernykh sporud* [Practical implementation of the mathematical model for taking into account the influence of temperature deformations during the erection of engineering structures]. *Naukovi pratsi DonNTU – Scientific works of DonNTU*, 1(18), 22-32.

**О.П. Ісаєв,
Р.В. Шульц,
Ю.Ф. Гуляєв,
В.С. Стрілець**

ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ОСІДАННЯ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ ПРЯМОЛІНІЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ)

У статті розглянуто підхід до виконання попереднього розрахунку точності геодезичних вимірювань осідань статично невизначених конструкцій на прикладі прямолінійного вертикального стержня. Запропоновано для виконання розрахунків використовувати базові принципи будівельної механіки. Розрахунки виконао відповідно до принципу напружено-деформованого стану конструкцій. Представлено аналіз механічного руху споруди під час осідання, при цьому

розглянуто дві моделі споруди - у вигляді абсолютно твердого тіла і тіла, що деформується. Показано зв'язок осідання з деформаціями елементів конструкції і напруженнями в їх перетинах. На прикладі металевого стержня теоретично змодельовано ситуацію осідання і сформульовано необхідні умови вимірювань. На підставі теоретичного експерименту показано принцип розрахунку точності вимірювання осідання.

Ключові слова: осідання, деформація, напруження, стержень, точність вимірювання.

**O. Isaiev,
R. Shults,
Yu. Huliaiev,
V. Strilets**

**PRINCIPLES OF MEASUREMENT OF THE SEDIMENTATION
OF STATICALLY UNCERTAINTY CONSTRUCTIONS
(ON THE EXAMPLE OF THE RECTANGULAR VERTICAL ROD)**

In the article, the approach of preliminary calculation of the geodetic accuracy measurements of displacements of statically indeterminate structures using the example of a rectilinear vertical rod was considered. The basic principles of structural mechanics to perform calculations was proposed. Calculations based on the principle of stress-strain state of structures are made. An analysis of the mechanical movement of the structure during the displacement is presented, while two models of the structure are considered - in the form of an absolutely rigid body and a deformable body. The relationship between displacement and deformations of structural elements and stresses in their sections is shown. On the example of a metal rod, theoretically modeled the situation of displacement and formulated the necessary measurement conditions. Based on the theoretical experiment, the principle of accuracy calculation of displacement measurement is shown.

Key words: displacement, deformation, stress, rod, measurement accuracy.

Надійшла до редакції

01.10.2017