

УДК 699.88

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОБЪЕКТОВ В ЗОНЕ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Булдаков А.В., студент ГМсз-191, VI курс

Научный руководитель: Т.Б. Рогова, д.т.н., профессор

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Геотехнический мониторинг – комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в том числе грунтового массива, окружающего сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки [1].

Целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов нового строительства или реконструкции, включая здания и сооружения окружающей застройки, за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние [1].

Геотехнический мониторинг автором публикации выполнялся при ведении строительных работ на заводе производства минеральных кислот Балаковского филиала АО Апатит». Строительный участок прилегает к существующей железобетонной эстакаде кислотопровода, длина которой – 36,8 м, высота железобетонных колонн – 4,5 м, высота железобетонной балки – 0,9 м, высота траверсы – 0,32 м, высота металлической рамки 1,2 м (рис. 1).

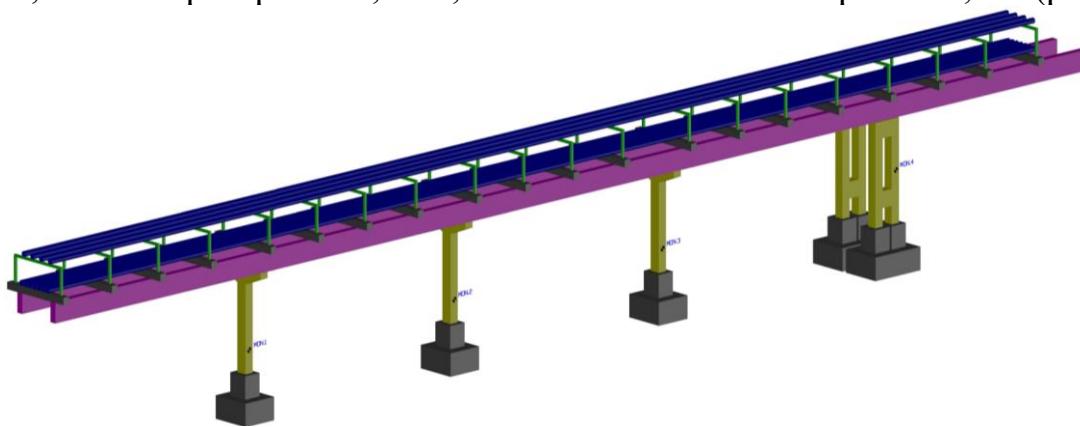


Рис. 1. 3D модель существующей железобетонной эстакады

Согласно пунктам 4.15 и 4.16 СП 22.13330.2016 [1] для предотвращения недопустимых деформаций оснований и фундаментов вновь возводимых или реконструируемых сооружений при наличии окружающей застройки в зоне их влияния, необходимо предусматривать проведение геотехнического мониторинга.

Глубина разработанного котлована для возведения фундаментной плиты возле существующей железобетонной эстакады, согласно проектной документации, составляет 3 м, а это ниже основания фундамента эстакады на 0,5–1,0 м (рис. 2). Существующие опоры не подрабатываются.



Рис. 2. Подработка части фундамента существующей железобетонной эстакады

В приложении «К» СП 22.13330.2016 [6] приведены предельные дополнительные деформации основания сооружений окружающей застройки, расположенных в зоне влияния нового строительства.

Железобетонная эстакада согласно табл. К.1 [1] относится к сооружениям пункта 1 – каркасное промышленное сооружение.

Согласно приложению «Д», сооружениям пункта 1 соответствует категория технического состояния объекта – III (ограниченно-работоспособное состояние). Для эстакады, как объекта III категории, предельные дополнительные деформации основания будут равны:

- максимальные осадки  $s_{ad.u}^{\max} = 2,0 \text{ см}$ ;
- относительная разность осадков  $(\Delta s/L)_u = 0,0007$ .

Планово-высотное съемочное обоснование (в виде геодезических пунктов EF.1, EF.2, EF.3, EF.10 (рис. 3, б). было развито на участке от пунктов геодезической разбивочной сети РП11, РП14 (рис. 3, а).

В последующем на участке работ непосредственно для ведения мониторинговых наблюдений было произведено сгущение съемочного обоснования методом обратной засечки [2] от пунктов EF.1.1, EF.1.2, EF.1.3, EF.1.4. Для наблюдений за состоянием опор эстакады таким пунктом является пункт ST.400 (рис. 4).

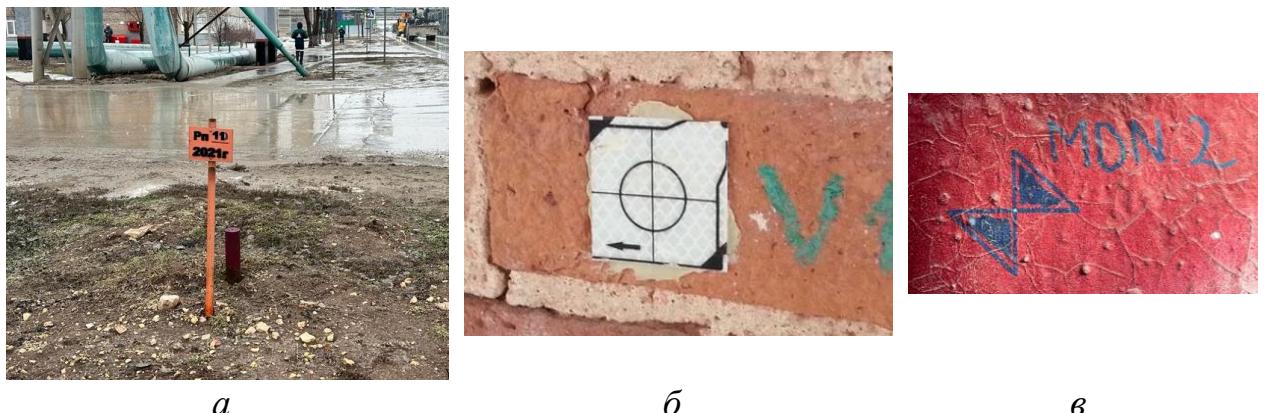


Рис. 3. Пункты: *а* – геодезической разбивочной сети; *б* – планово-высотного съемочного обоснования; *в* – рабочего репера

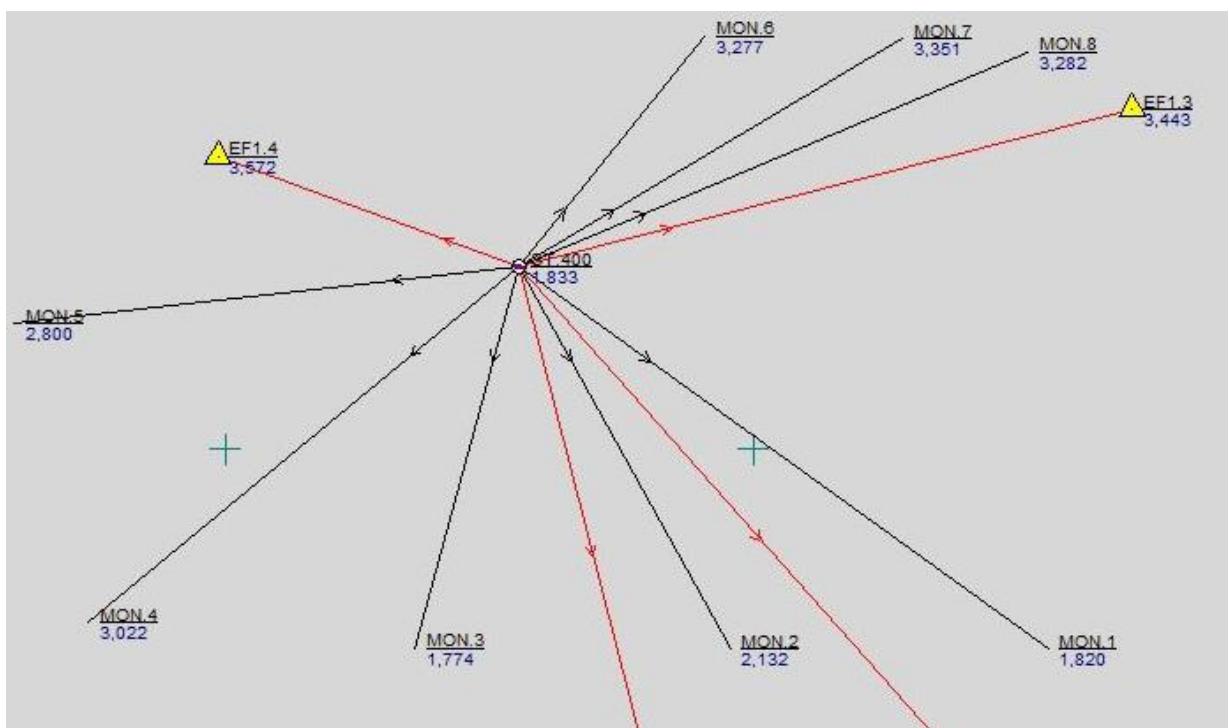


Рис. 4. Схема наблюдательной станции ST.400 и рабочих реперов

Обработка и уравнивания планово-высотного обоснования производилось в программе CREDO\_DAT 3.0.

Рабочий репер представляет собой два треугольника, нанесенные на каждую опору эстакады, рядом подписан его порядковый номер (рис. 3, *в*).

Для выбора прибора для определения высотных отметок и последующего определения по ним осадок, выполнен расчет средней квадратической погрешности положения рабочих марок по высоте.

Высотные отметки рабочих реперов принято определять методом тригонометрического нивелирования с использованием электронного тахеометра.

Погрешность превышения, полученного тригонометрическим нивелированием, вычисляют по формуле

$$m_h^2 = m_l^2 + \sin^2 \delta \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_f^2 \frac{d^4}{4R^2}, \quad (1)$$

где  $m_l$  – погрешность измерения длины линии, м;  $m_\delta$  – погрешность измерения вертикального угла, секунды;  $\delta$  – вертикальный угол, град;  $m_i$ ,  $m_v$ ,  $m_f$  – погрешности измерения соответственно высоты инструмента, визирования, определения кривизны Земли и рефракции, м;  $l$  – наклонная длина, м;  $\rho$  – переводной коэффициент ( $206265''$ );  $d$  – горизонтальное проложение, м;  $R$  – радиус Земли (6370 км).

Погрешность измерения длины линии, измеряемой электронным тахеометром, определяется по формуле

$$m_l = a + \vartheta l, \text{ мм,} \quad (2)$$

где  $l$  – наклонная длина, км,  $a$  и  $\vartheta$  – характеристики, устанавливаемые по паспорту прибора.

Значение средней квадратической погрешности коэффициента рефракции при измерении углов наклона определяется по формуле

$$m_f = 0,03 \frac{d^2}{R}, \quad (3)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение, м;  $R$  – радиус Земли (6370 км).

Погрешность измерения длины линии и превышения устанавливают по формулам соответственно

$$m_{\bar{l}} = \frac{m_l}{\sqrt{2}}, \quad m_{\bar{h}} = \frac{m_h}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

Погрешность измерения горизонтального и вертикального перемещения определяют по формулам соответственно

$$m_{\Delta l} = t m_{\bar{l}} \sqrt{2}, \quad m_{\Delta h} = t m_{\bar{h}} \sqrt{2}, \quad (5)$$

где  $t$  – коэффициент, принимаемый для заданной вероятности (при выполнении измерений на земной поверхности при вероятности  $P = 0,95$ ,  $t = 2$ ).

Для наблюдений выбран электронный тахеометр Sokkia iM-105L, погрешность угловых измерений которого равна  $5''$ , погрешность измерения расстояний –  $\pm (2 + 2 \cdot 10^{-6} l)$ .

Максимальная погрешность измерения длины, рассчитанная по формуле (2) при  $l = 0,025$  км, составила  $m_l = 2,05$  мм, где – максимальная длина от ST.400 до рабочего репера MON.

При  $d = 24,742$ , м и  $R = 6370$  км погрешность рефракции по формуле (3) равна  $m_f = 2,9 \cdot 10^{-6}$  м.

Средняя квадратическая погрешность положения рабочих марок по высоте, рассчитанная по формуле (1), при  $m_l = 2,05$  мм;  $m_\delta = 5''$ ;  $\delta = 0^\circ 1' 42''$ ;  $m_i = 0$ ;  $m_v = 0$ ;  $m_f = 2,9 \cdot 10^{-6}$  м;  $l = 24,742$ , м;  $\rho = 206265''$ ;  $d = 24,742$ , м;  $R = 6370$ , км –  $m_h = 0,60$  мм.

Погрешность измерения длины линии и превышения при двух измерениях по формулам (4):  $m_l^- = 1,45$  мм,  $m_h^- = 0,42$  мм.

Погрешность измерения горизонтального и вертикального перемещения  $m_{\Delta l} = 4,1$  мм,  $m_{\Delta h} = 1,2$  мм.

Методы измерений вертикальных и горизонтальных перемещений следует устанавливать в зависимости от требуемой точности измерения, конструктивных особенностей фундамента, инженерно-геологической и гидрогеологической характеристики грунтов основания, возможности применения и экономической целесообразности метода в данных условиях [3, п. 4.2].

Согласно табл. 1 [3] для эстакады измерения должны соответствовать II классу точности, т.е. не должны превышать допустимые погрешности измерения перемещений вертикальных – 2 мм, горизонтальных – 5 мм.  $m_{\Delta h} = 1,2$  мм < 2 мм;  $m_{\Delta l} = 4,1$  мм < 5 мм. Следовательно, для измерений вертикальных и горизонтальных измерений правомерно использовать электронный тахеометр SOKKIA iM-105L.

Программа наблюдений включала измерение угловых и линейных параметров с последующим вычислением X, Y, H в нулевом и последующих пяти циклах, проводимых 19, 21 декабря, 22, 26, 31 января и 06 февраля.

Обработка результатов измерений проводилась в программе CREDO\_DAT 3.0, в результате были получены прямоугольные координаты рабочих реперов (табл. 1).

Таблица 1  
Условные координаты рабочих реперов, м

19.12.2023	X	Y	H	21.12.2023	X	Y	H	22.01.2024	X	Y	H
	MON.1	532,43	1011,2	1,82	MON.1	532,43	1011,2	1,82	532,43	1011,2	1,82
MON.2	532,41	999,12	2,132	MON.2	532,41	999,12	2,132	MON.2	532,41	999,12	2,135
MON.3	532,45	987,17	1,774	MON.3	532,45	987,17	1,774	MON.3	532,44	987,16	1,776
MON.4	533,43	974,8	3,022	MON.4	533,43	974,8	3,022	MON.4	533,43	974,8	3,026
MON.5	544,75	971,99	2,8	MON.5	544,75	971,99	2,8	MON.5	544,75	971,99	2,8
MON.6	555,63	998,13	3,277	MON.6	555,63	998,13	3,277	MON.6	555,63	998,13	3,278
MON.7	555,54	1005,6	3,351	MON.7	555,54	1005,6	3,351	MON.7	555,53	1005,6	3,353
MON.8	555,03	1010,4	3,282	MON.8	555,03	1010,4	3,282	MON.8	555,03	1010,4	3,285
26.01.2024	X	Y	H	31.01.2024	X	Y	H	06.02.2024	X	Y	H
	MON.1	532,43	1011,2	1,818	MON.1	532,43	1011,2	1,82	532,43	1011,2	1,82
	MON.2	532,41	999,12	2,13	MON.2	532,4	999,12	2,134	532,41	999,12	2,133
	MON.3	532,45	987,17	1,772	MON.3	532,44	987,16	1,776	532,45	987,17	1,775
	MON.4	533,43	974,79	3,021	MON.4	533,42	974,8	3,021	533,43	974,8	3,024
	MON.5	544,75	971,99	2,8	MON.5	544,75	971,99	2,802	544,75	971,99	2,801
	MON.6	555,63	998,13	3,274	MON.6	555,63	998,13	3,277	555,63	998,13	3,277
	MON.7	555,53	1005,6	3,348	MON.7	555,53	1005,6	3,351	555,54	1005,6	3,351
	MON.8	555,03	1010,4	3,279	MON.8	555,04	1010,4	3,283	555,03	1010,4	3,283

По результатам обработки измерений были построены графики осадок (рис. 6) и относительной разности осадок (рис. 7).



Рис. 6. График осадок

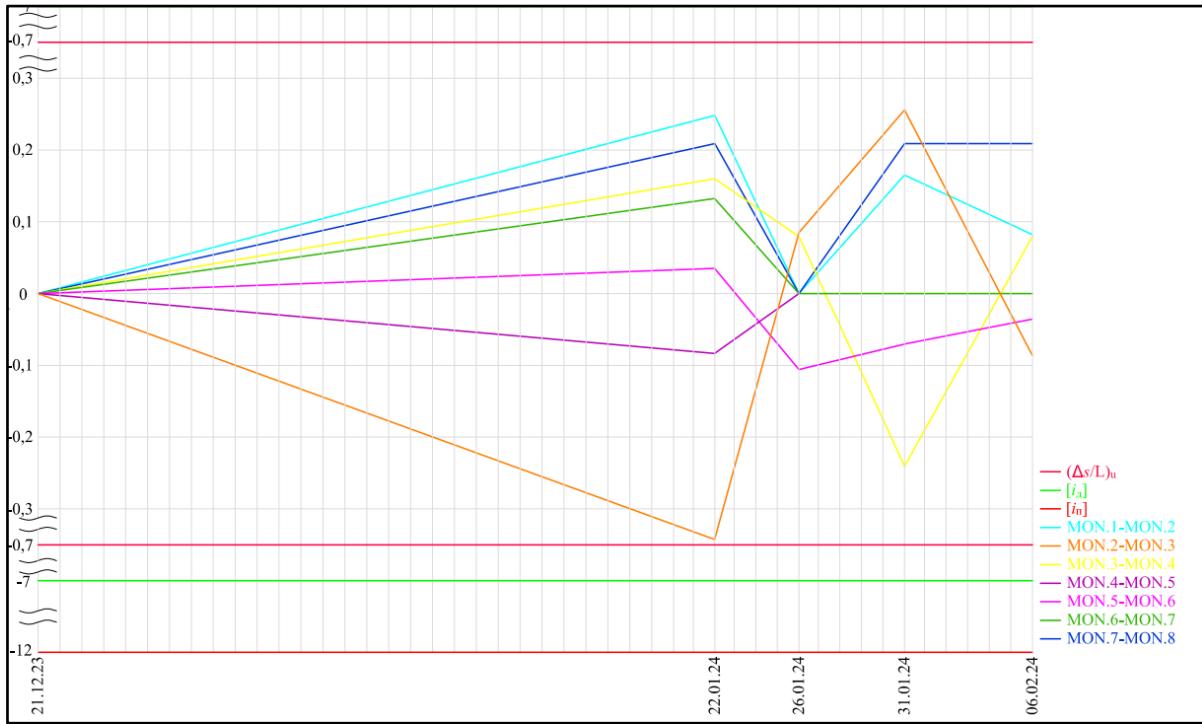


Рис. 7. График относительной разности осадок

Осадка и относительная разность осадков не превышает допустимых соответственно  $s_{ad,u}^{\max} = 20$  мм и  $(\Delta s/L)_u = 0,0007$  (рис. 6, 7).

На графике осадок с 22.01 зафиксировано резкое увеличение осадок по всем маркам по сравнению с нулевым циклом. В соответствие с этим были приняты меры по противодействию разуплотнения грунта основания фундаментов эстакады кислотопровода, а именно крепление откоса с помощью деревянной опалубки, которая крепилась с помощью металлических свай (рис. 8).



Рис. 8. Забутовка откоса

Возле каждой опоры эстакады была установлена забутовка, которая существенно уменьшила деформации опор железобетонной эстакады. Принятое по результатам геотехнического мониторинга своевременное решение по укреплению опор позволило безаварийно завершить строительные работы на участке.

#### **Список литературы**

1. СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений».
2. СП 126.13330.2012 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве».
3. ГОСТ 24846-2019 «Грунты, методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений».