

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра «Кадастр недвижимости, землеустройства и геодезии»

**Геодинамический мониторинг объектов  
инфраструктуры**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

для практических работ и курсового проектирования для магистров очного и заочного отделений, обучающихся по направлению 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» профиль «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» всех форм обучения

Воронеж 2025

УДК 528  
ББК 26.1

*Составители: Ю.С. Нетребина,*

**Геодинамический мониторинг объектов инфраструктуры:**

метод. указания для практических работ и курсового проектирования магистров направления 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование профиль «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» всех форм обучения / сост: Ю.С. Нетребина, Воронеж, 2022. – 22 с.

Приводится состав практических работ по дисциплине «Геодинамический мониторинг объектов инфраструктуры».

Предназначены для магистров, обучающихся по 21.04.03 Геодезия и дистанционное зондирование профиль «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий» всех форм обучения. Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ ПР и КП ГМОИ.pdf.

Ил. 9. Табл. 12. Прил.5.

**УДК 528**  
**ББК 26.1**

**Рецензент – Н. И. Самбулов, доцент кафедры кадастра недвижимости, землеустройства и геодезии ВГТУ**

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

## Практическая работа №1

### Обработка нивелирования II класса опорной сети

Нивелирование реперов промплощадок котельных выполнялось в соответствии с инструктивными материалами .

Необходимо произвести обработку результатов нивелирования высотной опорной сети по двум направлениям:

- 1 – оценка качества нивелирования и уравнивание превышений;
- 2 – вычисление отметок реперов и оценка их устойчивости.

Оценка качества нивелирования высотной опорной сети выполняется по полученным невязкам в полигонах ( $f_h$ ) и средним квадратическим погрешностям измерения превышений между реперами ( $m_h$ ).

Предельно допустимая невязка определяется по формуле:

$$f_{\text{дон.}}^h = \pm 0,3 \text{ мм} \sqrt{N} \quad (1)$$

где  $N$  – число штативов в полигоне, шт.

Средняя квадратическая погрешность измерения превышения между реперами вычисляется по формуле:

$$m_h = m_{h_{1\text{км}}} \sqrt{\left[ \frac{L_h}{L_{1\text{км}}} \right]} = m_{h_{1\text{км}}} \sqrt{L_h} \quad (2)$$

где  $L_h$  – длина хода между реперами, км.

Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода ( $m_{h_{1\text{км}}}$ ) вычисляется по формуле:

$$m_{h_{1\text{км}}} = \sqrt{\left[ \frac{f_h^2}{L} \right]} \quad (3)$$

где  $f_h$  - невязка в полигоне;  $L$  – периметр полигона, км.

#### Нивелирование высотной опорной сети

На рисунке 1 представлена схема нивелирования опорной высотной сети промплощадки котельной.

Результаты нивелирования опорной высотной сети приведены в таблице 6.

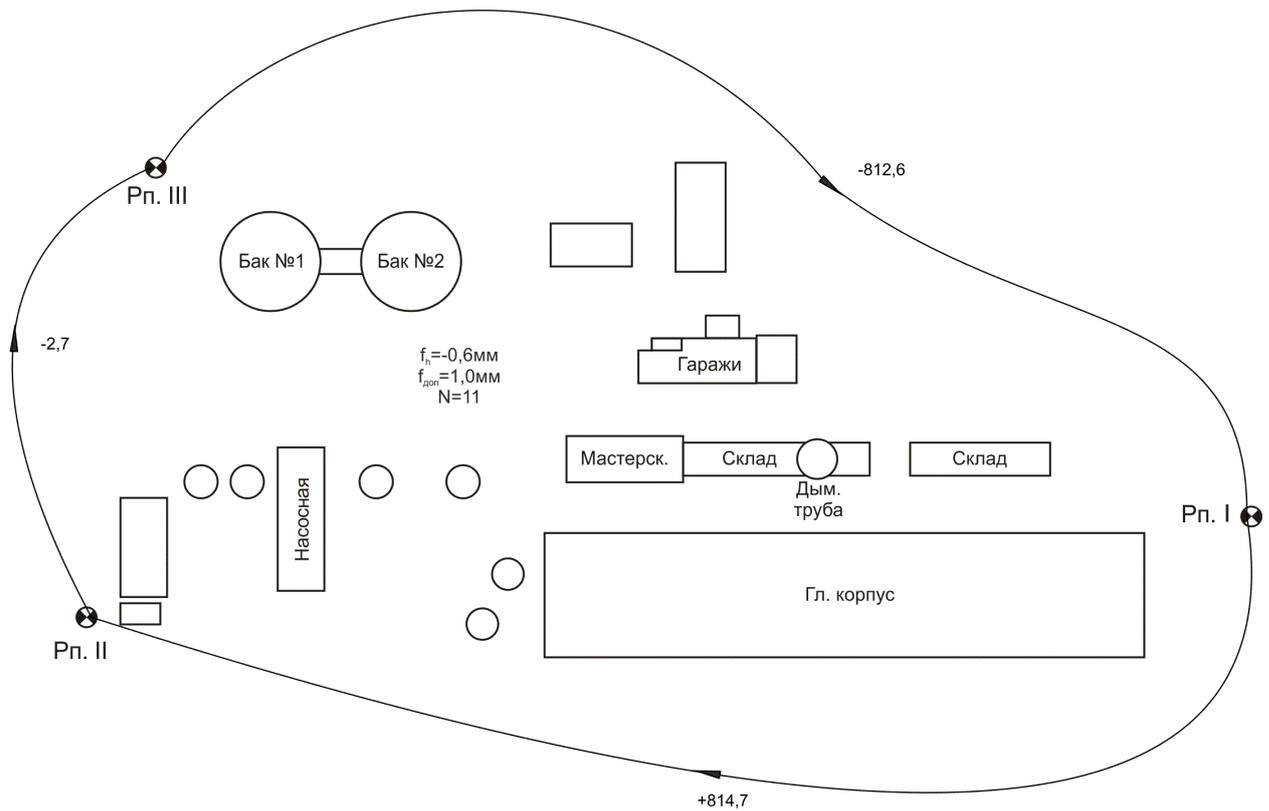


Рисунок 1- Схема нивелирования опорной высотной сети

Таблица 1. Предварительные результаты и оценка точности нивелирования опорной высотной сети Привокзальной котельной

Номер репера	<i>n</i> , шт	<i>L</i> , м	<i>h<sub>нр</sub></i> , мм	<i>H<sub>обр</sub></i> , мм	<i>h<sub>ср</sub></i> , мм	$\delta_h$ , мм	<i>h<sub>испр</sub></i> , мм	<i>H</i> , мм
Рп I	5	85	814,65	-814,72				100000,0
Рп II	2	42	-2,66	2,74				
Рп III	4	67	-812,64	812,58				
Рп I			-					
$\Sigma$								
Оценка точности и качества нивелирования			$f_h = \text{_____}; f_{доп} = \text{_____}; m_{h\ 1км} = \text{_____}; m_{удал} = \text{_____}$					

Оценку качества нивелирования высотной опорной сети (таблица 6) выполнить по разностям превышений в прямом и обратном ходе. Вычисления производить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \mu_{h\ 1км} &= \sqrt{\frac{d_i^2}{L_i(\text{км})}} / r; \\ \mu_{h\ 1см} &= \sqrt{\frac{d_i^2}{n_i(\text{шт})}} / r; \\ m_{h\ удал} &= \frac{\mu_{h\ 1км}}{\sqrt{2/[L(\text{км})]}}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где *d* – разность превышений; *r* – число разностей; *L* – длина хода; *n* – число штативов.

Сделать вывод о точности и пригодности результатов нивелирования опорной высотной сети для анализа вертикальных деформаций инженерных сооружений промплощадки котельной.

Таблица исходных данных

Вариант (последняя цифра зачетной книжки)	Число штативов, шт	Длина хода, м	Прямое превышение, мм	Обратное превышение, мм
1	3, 6, 7	Рассчитывается с учетом 50 м на 1 штатив		
2	9, 4, 8			
3	2, 6, 4			
4	5, 3, 6			
5	4, 6, 9			
6	4, 3, 7			
7	8, 6, 5			
8	9, 3, 7			
9	6, 5, 4			
0	3, 5, 7			

### 1.1.1 Нивелирование высотной опорной сети

#### Вариант 1

На рисунке 3 представлена схема нивелирования опорной высотной сети промплощадки котельной в очередном цикле измерений. Средние превышения и количество штативов указаны на схеме.

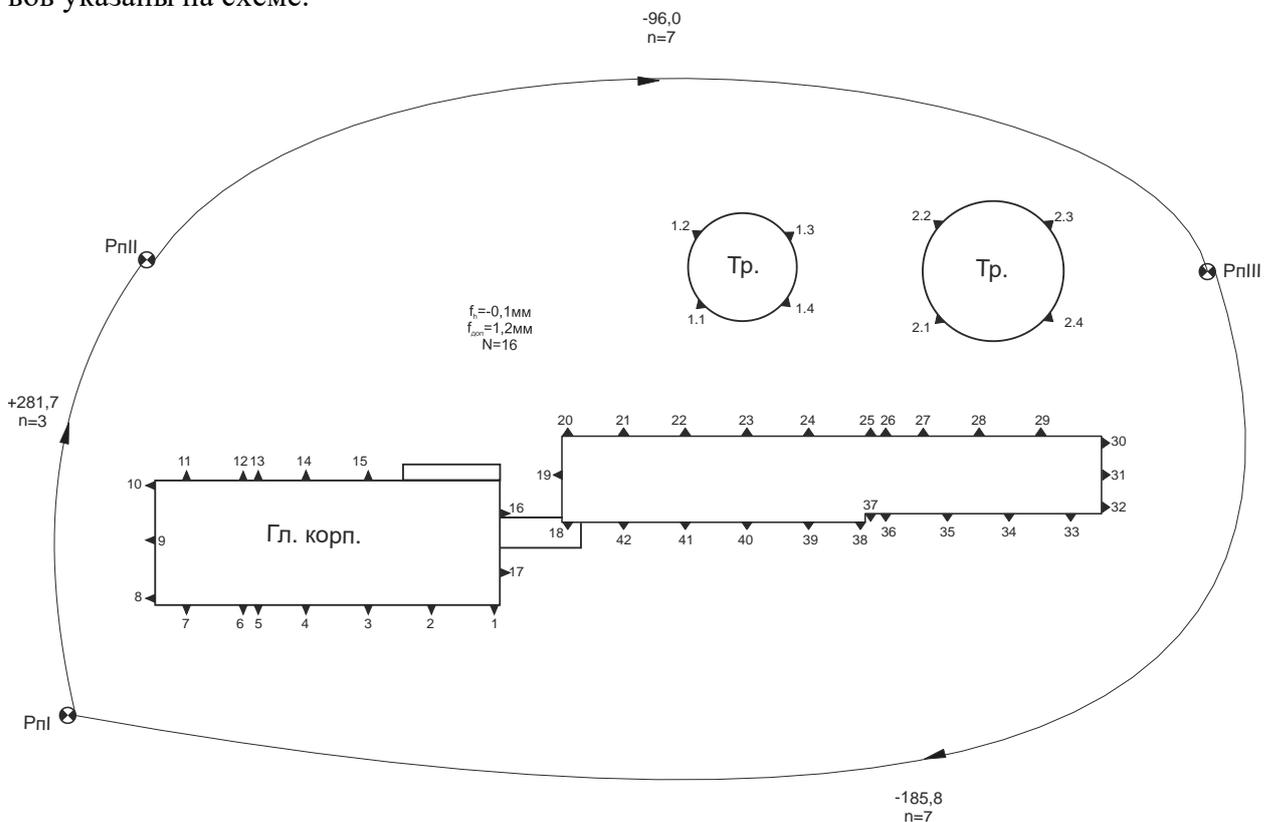


Рисунок 2 - Схема нивелирования опорной высотной сети

Результаты уравнивания и оценку точности нивелирования опорной высотной сети привести в таблице 2.

Таблица 2. Предварительные результаты и оценка точности нивелирования опорной высотной сети

Номер репера	$n$ , шт	$L$ , м	$h_{ср}$ , мм	$\delta h$ , мм	$h_{испр}$ , мм	$H$ , мм
Рп I	3	139,2	281,71			100000,00
Рп II	7	309,2	-95,97			
Рп III	6	294,1	-185,85			
Рп I						100000,00
$\Sigma$	16	<b>742,5</b>	<b>-0,12</b>			
Оценка точности и качества нивелирования		$f_h = \text{_____}; f_{h_{доп}} = \text{_____}; m_{h_{1км}} = \text{_____}; m_{удал} = \text{_____}$				

### Вариант 2

На рисунке 5 представлена схема нивелирования опорной высотной сети промплощадки котельной в очередном цикле измерений. Превышения и количество штативов берутся со схемы.

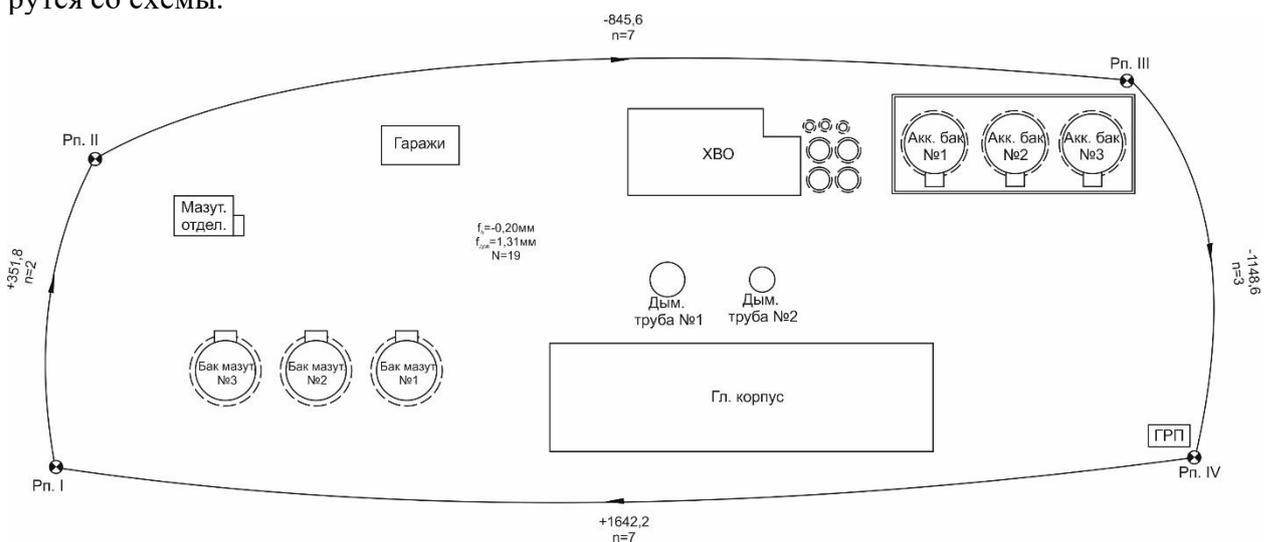


Рисунок 3 - Схема нивелирования опорной высотной сети

Выполнить уравнивание и оценку точности по примеру 1.

### 1.1.2 Наблюдательная сеть осадочных марок

Нивелирование объектов промплощадок выполнялось с привязкой к реперам высотной опорной сети. Сеть нивелирных ходов представлена системой замкнутых полигонов. На схемах нивелирования показаны величины полученных невязок ( $f_h$ ) в полигонах и их предельно допустимые значения ( $f_{доп}^h$ ).

Обработка результатов проводилась в два этапа: на первом – уравнивание измеренных превышений сети и оценка качества нивелирования; на втором – вычисления отметок осадочных марок, вертикальных смещений и кренов, характеризующих изменение геометрических параметров конструкций инженерных сооружений котельных.

Уравнивание наблюдательной высотной сети произвести коррелятным способом, рекомендованным проф. В.В. Поповым. Допустимая невязка в нивелирных ходах ( $f_h$ ) вычислялась по формуле:

$$f_{\text{доп.}}^h = \pm 0,5 \text{ мм} \sqrt{n} \quad (5)$$

где  $n$  – число штативов в полигоне.

### 1.1.3 Оценка качества высотного нивелирования

Оценка точности результатов полевых измерений выполнялась по полученным невязкам в замкнутых полигонах.

Для оценки качества результатов нивелирования находилась средняя квадратическая погрешность измерения превышения на станции по формуле:

$$m_{cm} = \sqrt{\frac{f^2/n}{N}} \quad (6)$$

где  $f^2$  – невязка в полигоне,  $n$  – число станций в полигоне;  $N$  – число полигонов.

## Практическая работа №2

### Анализ устойчивости опорной сети

Оценка устойчивости реперов опорной высотной сети производилась на основе анализа изменений средних значений превышений между реперами, полученных при последовательном выборе в качестве исходного каждого из исследуемых на устойчивость нивелирных знаков.

На основе результатов нивелирования высотной опорной сети промплощадки котельной, составляются кососимметрические матрицы превышений

$$A_i = \begin{pmatrix} 0 & h_{21} & \dots & h_{nk} \\ h_{12} & 0 & \dots & h_{nk} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ h_{kn} & h_{kn} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (30)$$

где  $n$  – число реперов, ( $k = 1, 2, \dots, n$ ),  $i$  – номер цикла измерений.

Таблица 3. Кососимметрическая матрица превышений по ( $A_0$ ) результатам начального цикла наблюдений (июль 2006 г.) реперов котельной, мм

Номер репера	I	II	III
I	0,00	-818,42	-819,43
II	+818,42	0,00	-1,01
III	+819,43	+1,01	0,00

Таблица 4. Кососимметрическая матрица превышений по ( $A_i$ ) результатам очередного цикла наблюдений реперов Привокзальной котельной, мм (Пример)

Номер репера	I	II	III
I	0,00	-814,95	-812,39
II	814,95	0,00	2,56
III	812,39	-2,56	0,00

Вертикальные смещения ( $\Delta_{kn}$ ) реперов относительно исходного цикла вычислялись как разность матриц превышений текущего цикла ( $A_i$ ) и исходного ( $A_0$ ). По итогам вычислений была получена кососимметрическая матрица ( $B$ ) вертикальных смещений реперов в каждом цикле по отношению к исходному по формуле:

$$B = A_i - A_0. \quad (31)$$

Решая уравнение, получим матрицу вертикальных смещений каждого репера по отношению ко всем исследуемым на устойчивость реперам в виде (таблица 43)

$$B_i = \begin{vmatrix} 0 & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{nk} \\ \Delta_{12} & 0 & \dots & \Delta_{nk} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ \Delta_{kn} & \Delta_{kn} & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (32)$$

Таблица 5. Кососимметрическая матрица вертикальных смещений реперов и средних квадратических ошибок их определения (пример)

Номер репера	Вертикальные смещения ( $\Delta_{kn}$ ), мм		
	Ошибки определения ( $m_{\Delta}$ ), мм		
	I	II	III
I	0,00	+3,47	+7,04
	0,00	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$
II	-3,47	0,00	+3,57
	$\pm 0,20$	0,00	$\pm 0,07$
III	-7,04	-3,57	0,00
	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$	0,00

Для выбора устойчивых реперов полученные абсолютные величины смещений  $|\Delta_{kn}|$  были сравнены с соответствующими значениями средних квадратических ошибок определения вертикальных смещений ( $m_{\Delta}$ ) или ( $2m_{\Delta}$ ), причем  $m_{\Delta}$  определялось из выражения

$$m_{\Delta_{kn}} = \sqrt{(m_{h_{kn}^i})^2 + (m_{h_{kn}^0})^2} \quad (33)$$

Критерием к выбору устойчивых реперов являлись следующее условия:

1.  $|\Delta_{kn}| \leq m_{\Delta_{kn}}$  – репер сохранил свое положение по высоте;
2.  $m_{\Delta_{kn}} < |\Delta_{kn}| \leq 2m_{\Delta_{kn}}$  – возможно имеет место изменение высоты репера;
3.  $2m_{\Delta_{kn}} < |\Delta_{kn}|$  – репер потерял стабильность.

Для обеспечения надежности решения величины смещения каждого репера, определенные по отношению к другим реперам, сравнивались с критерием  $m_{\Delta_{kn}}$ . Если в большинстве случаев  $|\Delta_{kn}| > m_{\Delta_{kn}}$ , то считаем, что репер потерял устойчивость.

В настоящее время все реперы опорной сети промплощадки неустойчивы. Расчет вероятнейших отметок проводился от средней плоскости (таблица 37).

Таблица 6. Вычисление вертикальных смещений и вероятнейших отметок реперов

Номер репера	Отметки 1 цикл Н, мм	Смещения реперов, мм		Вероятные отметки Н, мм
		абсолютные	вероятные	
I	100000,00	7,04	3,50	100003,50
II	100818,42	3,57	0,03	100818,45
III	100819,43	0,00	-3,53	100815,90
сум. уст.		10,60		
сред. уст.		3,53		

Вертикальные смещения реперов по циклам измерений сведены в таблицу 38 и показаны на рисунке 10. Отметки предыдущих циклов берутся из ведомости ниже.

Таблица 7. Ведомость изменений отметок и вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса Привокзальной котельной реперов опорной высотной сети Привокзальной котельной, мм

Номер репера	Отметка Н, мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорость, $v$ мм/год
	начальный цикл	7 цикл	8 цикл (пример)	суммарные	текущие	
	июль 06	июль 2012	сентябрь 2013	на 7 цикл	7ц – 6ц	
I	100000,0	100002,1	100002,1			
II	100818,4	100817,8	100817,8			
III	100819,4	100818,0	100818,0			
Среднее значение						
Максимальное значение						
Минимальное значение						

Выполнить анализ устойчивости опорных сетей.

№ реперов	<b>28.07.06</b> 0 цикл
Рп.1	100000,0
Рп.2	100818,4
Рп.3	100819,4

№ реперов	10.07.2006г. 0 цикл
1	100000,00
2	100280,10
3	100183,06
4	100334,10

№ реперов	10.07.2006г. 0 цикл
1	100000,00
2	100347,38
3	99506,52
4	98358,08

### 1.1.1 Анализ устойчивости опорной сети

Оценка устойчивости реперов опорной высотной сети производится на основе анализа изменений средних значений превышений между реперами, полученных при последовательном выборе в качестве исходного каждого из исследуемых на устойчивость нивелирных знаков.

На основе результатов нивелирования высотной опорной сети промплощадки составлены кососимметрические матрицы превышений (таблицы 34-37)

$$A_i = \begin{vmatrix} 0 & h_{21} & \dots & h_{nk} \\ h_{12} & 0 & \dots & h_{nk} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ h_{kn} & h_{kn} & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (30)$$

где  $n$  – число реперов, ( $k = 1, 2, \dots n$ ),  $i$  – номер цикла измерений.

Таблица 8. Кососимметрическая матрица превышений по ( $A_0$ ) результатам начального цикла наблюдений (июль 2006 г.) реперов, мм

Номер репера	I	II	III
I	0,00	-818,42	-819,43
II	+818,42	0,00	-1,01
III	+819,43	+1,01	0,00

Таблица 9. Кососимметрическая матрица превышений по ( $A_i$ ) результатам очередного цикла наблюдений реперов, мм

Номер репера	I	II	III
I	0,00	-814,95	-812,39
II	814,95	0,00	2,56
III	812,39	-2,56	0,00

Вертикальные смещения ( $\Delta_{kn}$ ) реперов относительно исходного цикла вычисляются как разность матриц превышений текущего цикла ( $A_i$ ) и исходного ( $A_0$ ). По итогам вычислений была получена кососимметрическая матрица ( $B$ ) вертикальных смещений реперов в каждом цикле по отношению к исходному по формуле:

$$B = A_i - A_0. \quad (31)$$

Решая уравнение, получим матрицу вертикальных смещений каждого репера по отношению ко всем исследуемым на устойчивость реперам в виде (таблица 43)

$$B_i = \begin{vmatrix} 0 & \Delta_{21} & \dots & \Delta_{nk} \\ \Delta_{12} & 0 & \dots & \Delta_{nk} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ \Delta_{kn} & \Delta_{kn} & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (32)$$

Таблица 10. Кососимметрическая матрица вертикальных смещений реперов и средних квадратических ошибок их определения Привокзальной котельной

Номер репера	Вертикальные смещения ( $\Delta_{kn}$ ), мм		
	Ошибки определения ( $m_{\Delta}$ ), мм		
	I	II	III
I	0,00	<u>+3,47</u>	<u>+7,04</u>
	0,00	$\pm 0,20$	$\pm 0,15$
II	<u>-3,47</u>	0,00	<u>+3,57</u>
	$\pm 0,20$	0,00	$\pm 0,07$
III	<u>-7,04</u>	<u>-3,57</u>	0,00
	$\pm 0,15$	$\pm 0,07$	0,00

Для выбора устойчивых реперов полученные абсолютные величины смещений  $|\Delta_{kn}|$  были сравнены с соответствующими значениями средних квадратических ошибок определения вертикальных смещений ( $m_{\Delta}$ ) или ( $2m_{\Delta}$ ), причем  $m_{\Delta}$  определялось из выражения

$$m_{\Delta_{kn}} = \sqrt{(m_{h_{kn}^i})^2 + (m_{h_{kn}^0})^2} \quad (33)$$

Критерием к выбору устойчивых реперов являлись следующее условия:

1.  $|\Delta_{kn}| \leq m_{\Delta_{kn}}$  – репер сохранил свое положение по высоте;
2.  $m_{\Delta_{kn}} < |\Delta_{kn}| \leq 2m_{\Delta_{kn}}$  – возможно имеет место изменение высоты репера;
3.  $2m_{\Delta_{kn}} < |\Delta_{kn}|$  – репер потерял стабильность.

Для обеспечения надежности решения величины смещения каждого репера, определенные по отношению к другим реперам, сравнивались с критерием  $m_{\Delta_{kn}}$ . Если в большинстве случаев  $|\Delta_{kn}| > m_{\Delta_{kn}}$ , то считаем, что репер потерял устойчивость.

В настоящее время все реперы опорной сети промплощадки котельной неустойчивы. Расчет вероятнейших отметок проводится от средней плоскости (таблица 37).

Таблица 11. Вычисление вертикальных смещений и вероятнейших отметок реперов котельной

Номер репера	Отметки 1 цикл Н, мм	Смещения реперов, мм		Вероятные отметки Н, мм
		абсолютные	вероятные	
I	100000,00	7,04	3,50	100003,50
II	100818,42	3,57	0,03	100818,45
III	100819,43	0,00	-3,53	100815,90
сум. уст.		10,60		
сред. уст.		3,53		

Вертикальные смещения реперов по циклам измерений сведены в таблицу 38 и показаны на рисунке 10.

Таблица 12. Ведомость изменений отметок и вертикальных смещений реперов опорной высотной сети Привокзальной котельной, мм

Номер репера	Отметка Н, мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорость, $v$ мм/год
	начальный цикл	7 цикл	8 цикл	суммарные	текущие	
	июль 06	июль 2012	сентябрь 2013	на 7 цикл	7ц – 6ц	
I	100000,0	100002,1	100002,1	3,5	1,5	0,46
II	100818,4	100817,8	100817,8	-0,4	-1,4	-0,03
III	100819,4	100818,0	100818,0	-3,8	-2,8	-0,43
Среднее значение				-0,2	-0,9	0,00
Максимальное значение				3,5	1,5	0,46
Минимальное значение				-3,8	-2,8	-0,43

### 1.1.2 Уравнивание наблюдательной сети осадочных марок

Требуется уравнивать несвободную нивелирную сеть II класса, схем которых приведены на рис. 115.

Методика уравнивания несвободной сети сводится к уравниванию свободной сети путем введения фиктивных звеньев, соединяющих исходные пункты.

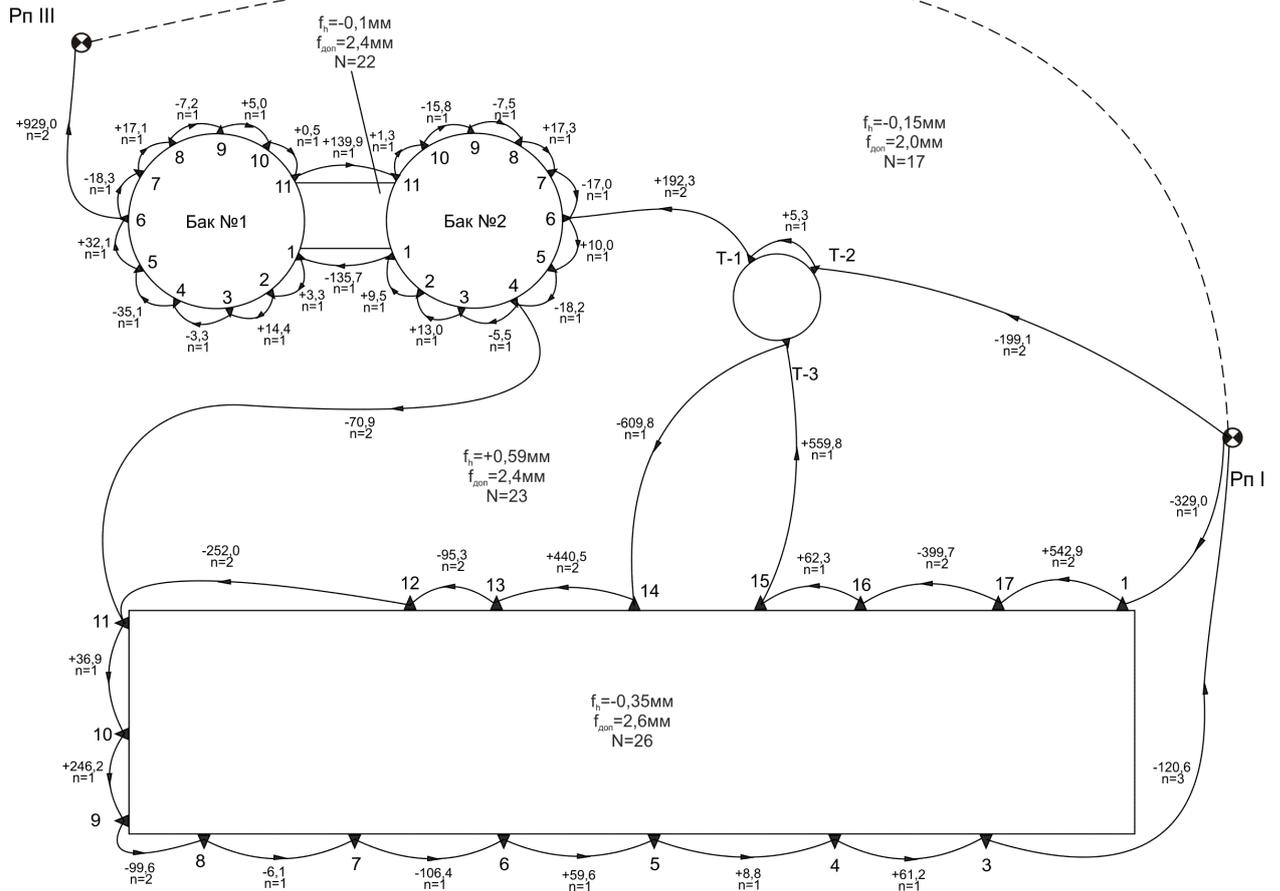


Рисунок 4 - Схема нивелирования осадочных марок объектов котельной

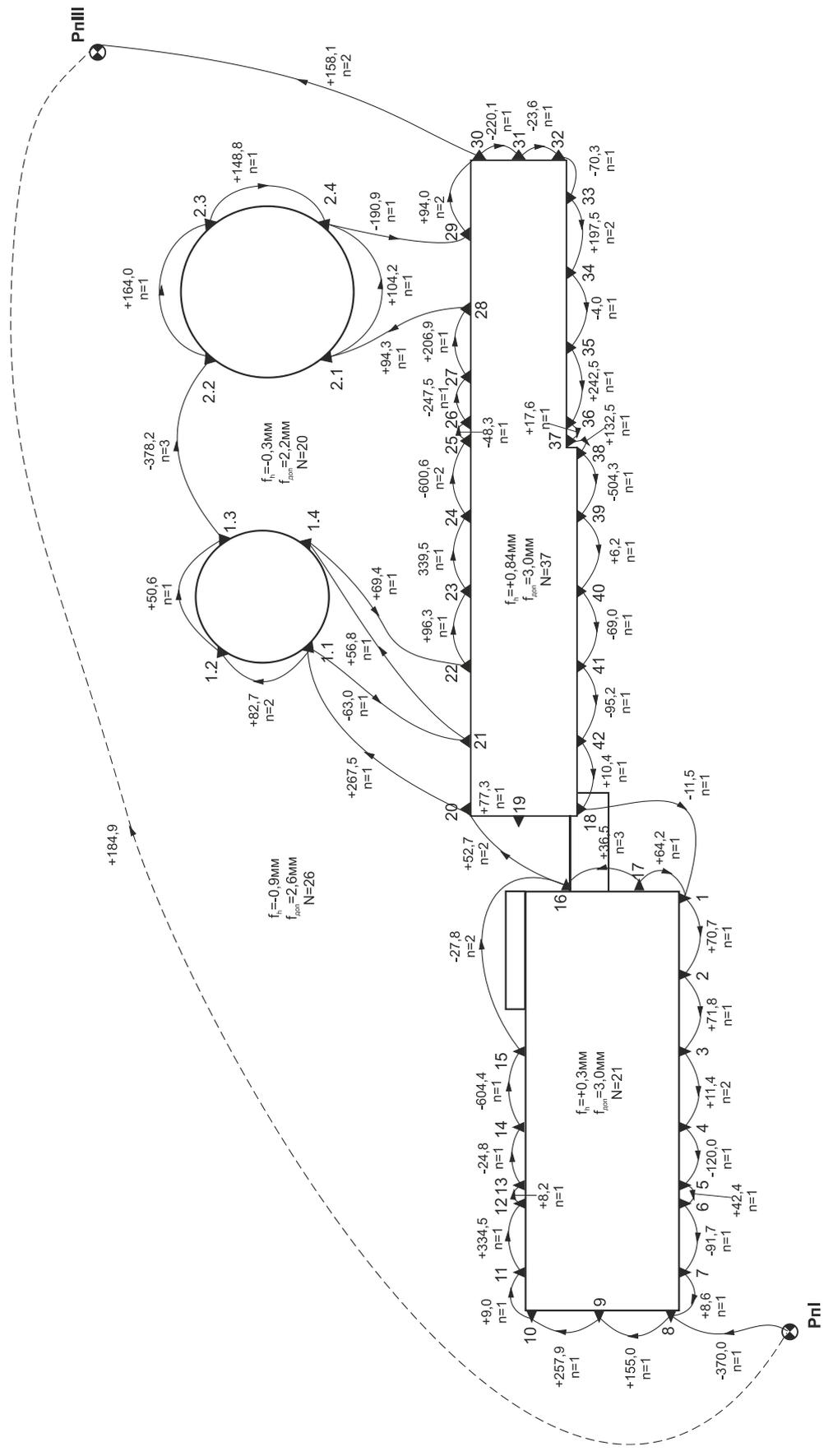


Рисунок 5 - Схема нивелирования осадочных марок главного корпуса и дымовых труб №1 и №2 Северо-западной котельной

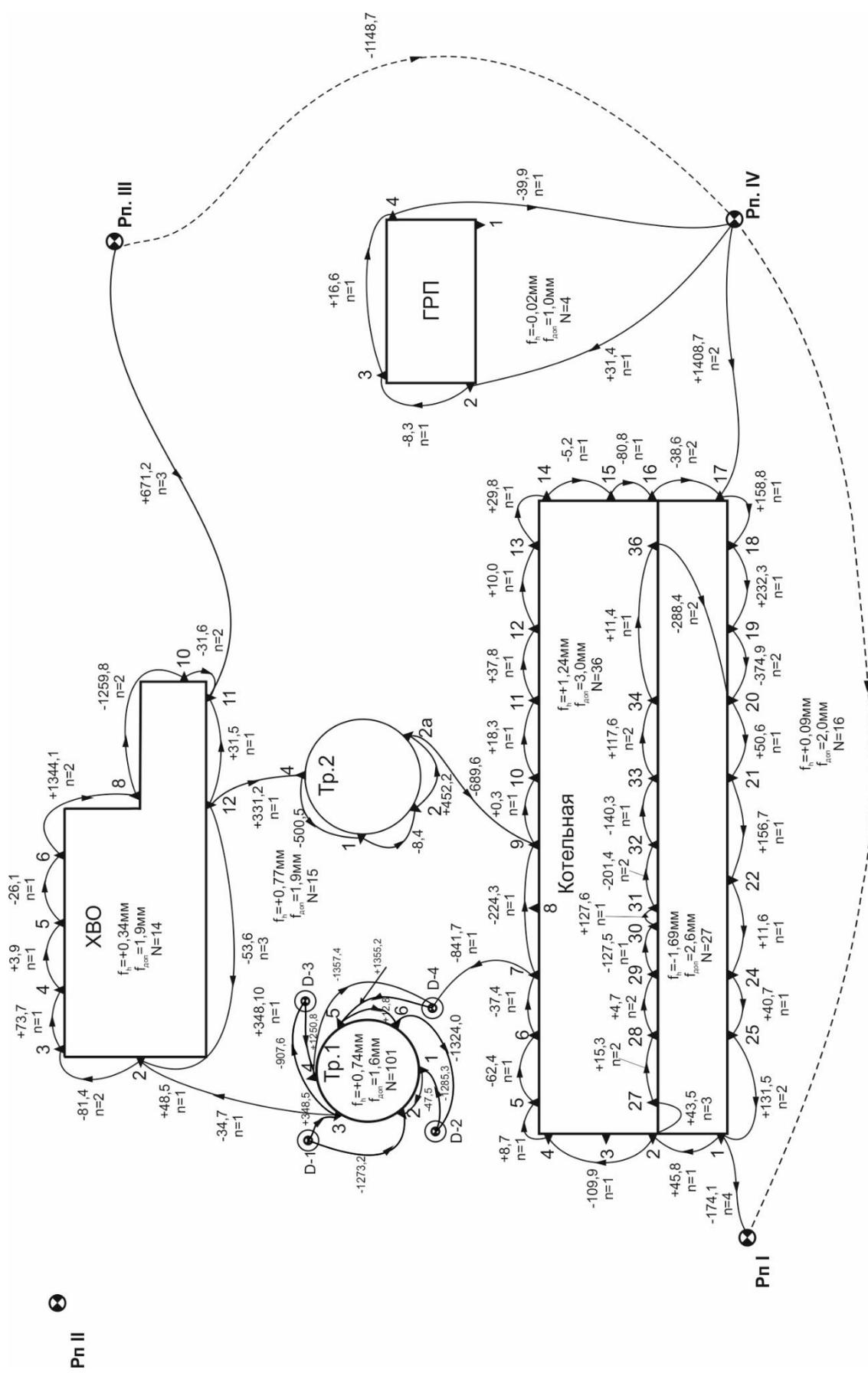


Рисунок 6 - Схема нивелирования осадочных марок зданий и сооружений Юго-западной котельной

По результатам составить ведомость уравнивания звеньев нивелирной сети осадочных марок в виде таблицы.

Таблица 13 – Ведомость уравнивания звеньев нивелирной сети осадочных марок главного корпуса, дымовой трубы, баков №№ 1, 2

Описание хода			Шта- тивы n, шт	Вес, p	Измерен- ное пре- вышение $h_{сп}$ , мм	k	$\delta_h$ , мм	Исправлен- ное пре- вышение $h_{испр}$ , мм
I полигон								
Рп.1	-	В-2.6						
В-2.6	-	В-1.6						
В-1.6	-	Рп.3						
Рп.3	-	Рп.1						
Сумма								
$f_h$ доп, мм								
II полигон								
В-2.6	-	В-2.4						
В-2.4	-	В-1.6						
В-1.6	-	В-2.6						
Сумма								
$f_h$ доп, мм								
III полигон								
Рп.1	-	К-11						
К-11	-	В-2.4						
В-2.4	-	В-2.6						
В-2.6	-	Рп.1						
Сумма								
$f_h$ доп, мм								
IV полигон								
Рп.1	-	К-11						
К-11	-	Рп.1						
Сумма								
$f_h$ доп, мм								

Сделать вывод о пригодности полевых измерений.

## 2 Анализ осадок и деформаций зданий и сооружений котельных

### 2.1 Привокзальная котельная

#### 2.1.1 Фундаменты главного корпуса

**Наблюдаемые параметры.** К наблюдаемым параметрам относятся средняя осадка и неравномерность осадки. Согласно (СП 22.13330.2011) средняя осадка не должна превышать 150 мм, относительная неравномерность осадки не должна превышать 3 мм/м.

**Наблюдения за осадкой.** По осадочным маркам, заложенным в фундаменте здания главного корпуса был выполнен очередной цикл наблюдений.

Вертикальные смещения осадочных марок и их скорости показаны в таблице 39.

Таблица 14. Ведомость отметок и вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса Привокзальной котельной

Номер марки	Отметка $H$ , мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорость, $v$ мм/год
	начальный цикл	7 цикл	8 цикл	суммарные	текущие	
	июль 06	июль 2012	сентябрь 2013	на 8 цикл	8ц – 7ц	
К-1	99674,5	99673,9	99674,6	0,0	0,6	-0,04
К-2	100071,3	уничт	уничт	-	-	-
К-3	100126,3	100122,8	100124,0	-2,3	1,2	-0,38
К-4	100063,3	100061,7	100062,8	-0,5	1,1	-0,14
К-5	100054,4	100052,9	100054,0	-0,4	1,1	-0,13
К-6	99995,0	99993,4	99994,4	-0,6	1,0	-0,14
К-7	100101,5	100099,8	100100,7	-0,8	0,9	-0,14
К-8	100108,0	100105,9	100106,8	-1,2	0,8	-0,18
К-9	100207,9	100205,6	100206,3	-1,6	0,7	-0,23
К-10	99961,7	99959,5	99960,1	-1,6	0,6	-0,25
К-11	99925,7	99922,7	99923,2	-2,4	0,5	-0,38
К-12	100176,2	100174,7	100175,2	-0,9	0,5	-0,16
К-13	100271,8	100270,0	100270,5	-1,3	0,5	-0,22
К-14	99830,9	99829,5	99830,0	-0,8	0,5	-0,16
К-15	99880,5	99879,4	99880,0	-0,5	0,6	-0,10
К-16	99818,1	99817,1	99817,7	-0,4	0,6	-0,07
Среднее значение				-1,0	0,8	-0,18
Минимальное значение				0,0	0,5	-0,04
Максимальное значение				-2,4	1,2	-0,38

Для иллюстрации вертикальных смещений на рисунке 11 даны: суммарные, текущие и скорости вертикальных смещений.

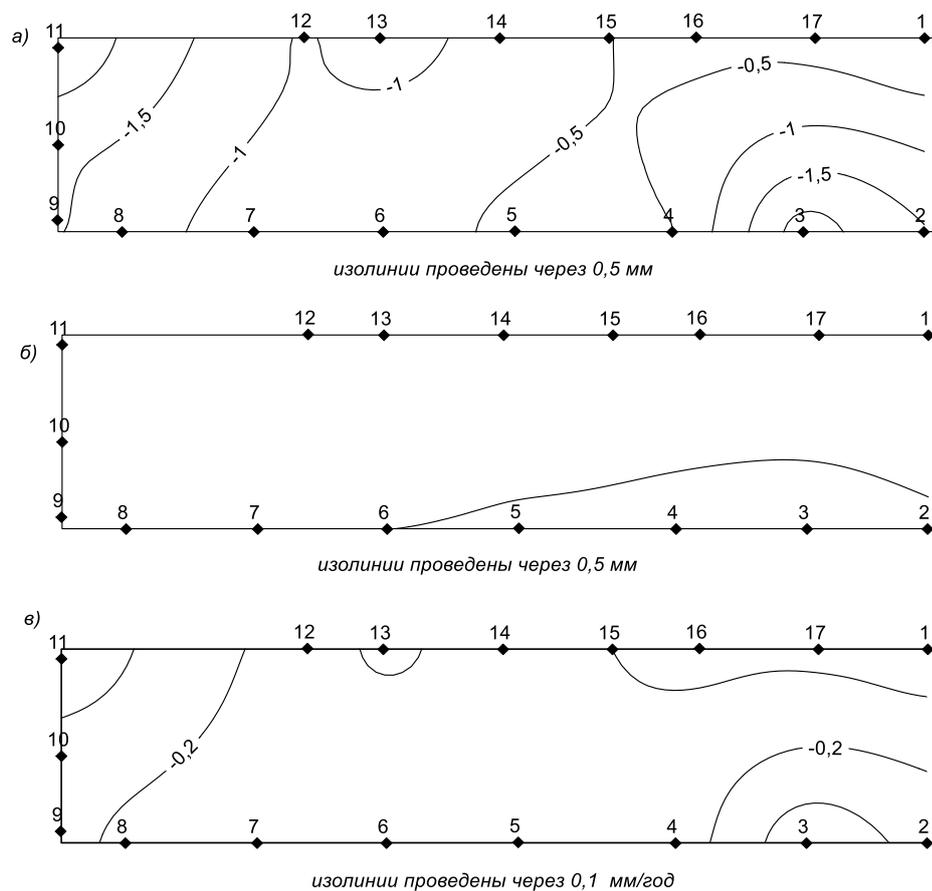


Рисунок 7 – Схема изолиний суммарных, текущих и скоростей вертикальных смещений осадочных марок главного корпуса Привокзальной котельной

**Выводы.** Исходя из анализа приведенных табличных и графических данных были сделаны следующие выводы.

1. Средняя суммарная осадка за период наблюдений с июля 2006 года по сентябрь 2013 г. (минус 1,0 мм) не превышает максимально допустимой предельной осадки равной 150 мм [Ошибка! Источник ссылки не найден.].
2. Максимальное значение текущей осадки составило плюс 1,2 мм.
3. Средняя скорость осадки составляет минус 0,18 мм/год. По всему зданию скорость вертикальных смещений равномерна.
4. Максимальная неравномерность наблюдается по внешней стороне здания (марки м.3 – м.4) с максимальным значением минус 0,18 мм/м при предельно допустимом значении равным  $\pm 3$  мм/м [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

### 2.1.2 Фундаменты кирпичной дымовой трубы

**Наблюдаемые параметры.** К наблюдаемым параметрам относятся средняя осадка и относительный крен. Согласно (СП 22.13330.2011) средняя осадка не должна превышать 400 мм, относительный крен не более  $\frac{1}{2H}$ , где  $H$  – высота трубы, м.

**Наблюдения за осадкой.** Фундаменты кирпичной дымовой трубы наблюдались по маркам, заложенным в основании на высоте +0,5 м.

Высоты и вертикальные смещения осадочных марок кирпичной дымовой трубы и характеристики осадок и деформаций показаны в таблице 40.

Таблица 15. Ведомость отметок и вертикальных смещений осадочных марок кирпичной дымовой трубы Привокзальной котельной

Номер марки	Отметка $H$ , мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорости $v$ , мм/год
	начальный цикл	7 цикл	8 цикл	суммарные	текущие	
	июль 06	июль 2012	сентябрь 2013	на 8 цикл	8ц – 7ц	
Т-1	99810,7	99809,1	99809,8	-0,9	0,7	-0,17
Т-2	99804,6	99803,5	99804,5	-0,2	0,9	-0,06
Т-3	100440,5	100439,2	100439,8	-0,7	0,6	-0,09
Среднее значение				-0,6	0,7	-0,11
Минимальное значение				-0,2	0,6	-0,06
Максимальное значение				-0,9	0,9	-0,17

### Выводы.

1. Средняя суммарная осадка за период наблюдений с июля 2006 г. по сентябрь 2013 г. (минус 0,6 мм) незначительна и не превышает максимально допустимой предельной осадки равной 400 мм [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].
2. Средняя скорость осадки незначительна и составляет минус 0,11 мм.

### 2.1.3 Баки №№1, 2

**Наблюдаемые параметры.** К наблюдаемым параметрам относятся неравномерность осадки двух соседних марок и неравномерность осадки диаметрально противоположенных марок. Согласно (РД 34.21.526-95) [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] неравномерность осадки двух соседних марок не должна превышать 50 мм, неравномерность осадки диаметрально противоположенных марок не должна превышать 150 мм.

**Наблюдения за осадкой.** По осадочным маркам, заложенным в основание фундаментов баков №1 и № 2, в сентябре 2013 г. был выполнен очередной цикл измерений.

Вертикальные смещения осадочных марок и их скорости показаны в таблице 41.

Таблица 16. Ведомость отметок и вертикальных смещений осадочных марок кирпичной дымовой трубы Привокзальной котельной

Номер марки	Отметка $H$ , мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорости $v$ , мм/год
	1 цикл	6 цикл	7 цикл	суммарные	межцикл.	
	июль 2006	авг. 2012	сен. 2013	7ц – 1ц	7ц – 6ц	
Бак1-1	99883,4	99875,0	99875,2	-8,2	0,3	-0,78
Бак1-2	99879,4	99878,3	99878,6	-0,8	0,4	-0,19
Бак1-3	99895,4	99892,7	99893,2	-2,2	0,5	-0,20
Бак1-4	99894,4	99889,4	99890,2	-4,2	0,8	-0,50
Бак1-5	99860,4	99854,3	99854,9	-5,5	0,6	-0,49
Бак1-6	99892,4	99886,5	99886,9	-5,5	0,5	-0,56
Бак1-7	99871,4	99868,2	99868,5	-2,9	0,4	-0,28
Бак1-8	99887,4	99885,2	99885,4	-2,0	0,1	-0,12

Номер марки	Отметка $H$ , мм			Вертикальные смещения $\delta H$ , мм		Скорости $v$ , мм/год
	1 цикл	6 цикл	7 цикл	суммарные	межцикл.	
	июль 2006	авг. 2012	сен. 2013	7ц –1ц	7ц –6ц	
Бак1-9	99879,4	99878,0	99878,3	-1,1	0,2	-0,28
Бак1-10	99883,4	99883,0	99883,4	0,0	0,3	-0,06
Бак1-11	99884,4	99883,6	99884,0	-0,4	0,4	-0,07
Бак2-1	99997,4	100001,1	100001,7	4,3	0,6	0,21
Бак2-2	100014,4	100010,6	100011,1	-3,3	0,5	-0,24
Бак2-3	99994,4	99988,1	99988,8	-5,6	0,7	-0,56
Бак2-4	99997,4	99993,6	99994,1	-3,3	0,5	-0,35
Бак2-5	100016,4	100011,7	100012,2	-4,2	0,5	-0,61
Бак2-6	100005,4	100001,7	100002,1	-3,3	0,4	-0,38
Бак2-7	100021,4	100018,7	100019,1	-2,3	0,4	-0,28
Бак2-8	100005,4	100001,4	100001,8	-3,6	0,4	-0,50
Бак2-9	100011,4	100008,9	100009,3	-2,1	0,4	-0,22
Бак2-10	100028,4	100024,7	100025,2	-3,2	0,5	-0,30
Бак2-11	100026,4	100023,4	100024,1	-2,3	0,6	-0,15
Среднее значение				-2,8	0,5	-0,31
Минимальное значение				0,0	0,1	-0,06
Максимальное значение				-8,2	0,8	-0,78

Для иллюстрации вертикальных смещений на рисунке 12 даны: схемы изолиний вертикальных смещений; схема поверхности вертикальных смещений после аппроксимации линейным трендом.

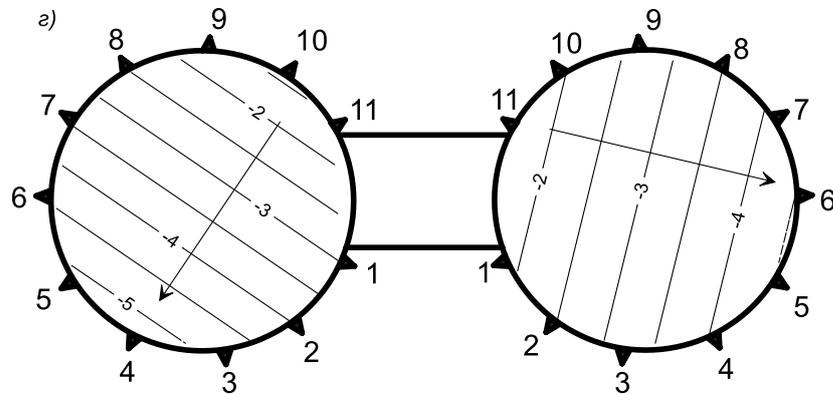
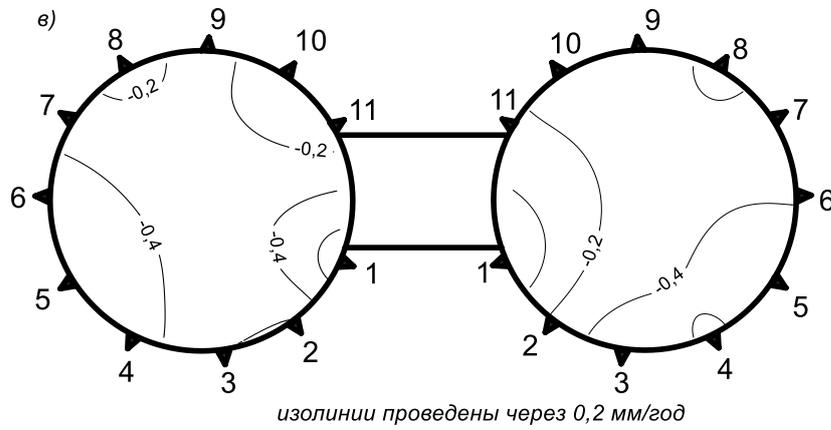
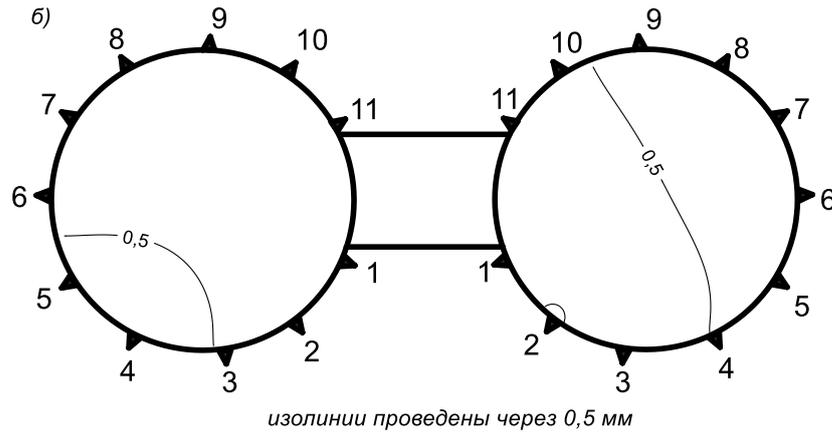
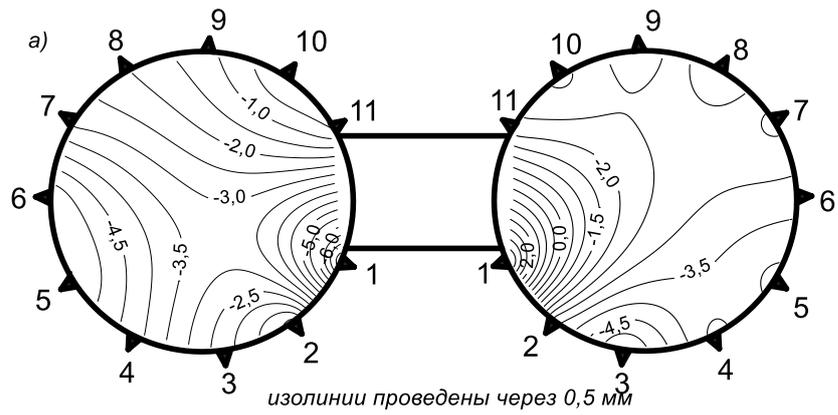


Рисунок 8 – Схемы вертикальных смещений осадочных марок баков №№1-2 Привокзальной котельной: а) суммарные; б) текущие; в) скорости г) направление крена.

**Выводы.** Исходя из анализа приведенных табличных и графических данных сделать выводы.

1. Вертикальные смещения и величины неравномерности осадок осадочных марок баков
2. . Относительная неравномерность диаметрально противоположных марок по баку №1 (м.2 - м.8 и м.4 - м.10) составила ... соответственно. Для бака №2 относительные неравномерности равны соответственно ....
3. Максимальная относительная неравномерность бака №1 выявлена по маркам 1 – 2. Она составила ... . По баку №2 максимальная неравномерность ... .
4. Абсолютная неравномерность, определенная по осадкам диаметрально противоположных марок составила ... (бак №1) и ... (бак №2), при допустимой неравномерности 150 мм.
5. Максимальное абсолютное значение неравномерности, определенное по двум соседним маркам составило ... (бак №1) и ... (бак №2) при допустимом значении 50 мм.
6. После аппроксимации суммарных вертикальных смещений линейным трендом (рисунок 12) выявлены общие крены фундаментов баков. Направление кренов на рисунке показано стрелкой.