

Министерство общего и профессионального образования  
Российской Федерации  
Уральский государственный технический университет

Утверждено:  
Проректор УГТУ  
В.И.Лобанов

## **НАДЕЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Выверка по осям и по высоте базовой детали машины.  
Расчет фундаментных болтов.

Методические указания по выполнению курсовой  
работы для студентов всех форм обучения  
специальности 17.03.00 – Металлургические  
машины и оборудование

Екатеринбург 1999

К 621.771 – 192

авители: доцент, к.т.н. Л.П.Вакулина  
доцент, к.т.н. И.И.Некрасов  
учный редактор доцент, к.т.н. Б.Н.Губашов

**ДЕЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ОРУДОВАНИЯ: Выверка по осям и по высоте базовой детали машины.  
счет фундаментных болтов.: Методические указания по выполнению  
рсовой работы для студентов специальности 1703/ Л.П.Вакулина,  
И.Некрасов. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1999. 15 с.**

В методических указаниях приведено типовое задание для курсовой  
боты, при выполнении которой производится расчет фундаментных болтов  
азрабатывается последовательность выверки базовой детали машины  
осям и по высоте.

Методические указания обсуждены на заседании кафедры  
еталлургические и роторные машины". Протокол № от

Заведующий кафедрой, профессор, д.т.н В.С.Паршин

Одобрены методической комиссией механико-машиностроительного  
культета. Протокол № от

Подготовлено кафедрой "Металлургические и роторные машины"

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

При выполнении курсовой работы студент должен закрепить знания, полученные в лекционном курсе, освоить способы установки базовых деталей на фундамент, крепление машины к фундаменту, расчет фундаментных болтов, методику выверки машины по осям и по высоте, последовательность сборки машины или узла.

Базовая деталь и действующие на нее усилия, необходимые для расчета фундаментных болтов, выбираются с использованием материалов первого курсового проекта по курсу ММО.

Типовое задание на курсовую работу имеет вид:

### ЗАДАНИЕ

на курсовую работу по дисциплине

НАДЕЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ТЕМА: ВЫВЕРКА ПО ОСЯМ И ВЫСОТЕ БАЗОВОЙ ДЕТАЛИ МАШИНЫ

#### ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА:

1. Способ установки базовой детали на фундамент.
2. Крепление к фундаменту.
3. Описание выверки базовой детали (определение размеров подкладок, применяемый инструмент и приборы).

#### ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ – ЛИСТ А1

1. Схема выверки базовой детали по осям и по высоте с пояснениями.
2. Схема расположения фундаментных болтов, фундаментный болт в разрезе.
3. Схемы строповки (если требуется).
4. Схемы сборки (если требуется).

### УСТАНОВКА БАЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Базовыми деталями являются крупные опорные части машин (санины, плитвины, рамы, корпуса), устанавливаемые непосредственно на фундамент.

Регулировку положения базовых деталей в вертикальной плоскости осуществляют с помощью металлических подкладок, расположенных между опорными плоскостями деталей и поверхностью фундамента, башмаков с клиновыми домкратами и регулировочных винтов.

Подкладки устанавливают с двух сторон фундаментного болта на возможно близком расстоянии (50-100 мм), обеспечивая плотное прилегание их к бетону фундамента. Под легкое оборудование, которое крепят болтами диаметром 36 мм и менее, подкладки можно устанавливать с одной стороны

фундаментного болта. Для получения нужной высоты (обычно в пределах 40-80 мм) подкладки подбирают в пакеты в количестве более пяти штук в каждом. Рекомендуемые размеры подкладок представлены в табл.1.

Таблица 1

Рекомендуемые размеры установочных плоских подкладок

Масса машины, т	Диаметр болта, мм	Размеры подкладок, мм	Материал подкладок
5-15	36-42	130x100x15 130x100x10 130x100x5	чугун или сталь
20-30	48-64	200x100x30 200x100x20 200x100x10 200x100x5	чугун или сталь
30-100	76-90	250x150x50 250x150x30 250x150x20	чугун или сталь
>100	120-140	300x200x100 300x200x60 300x200x40	чугун

При выборе площади опорных подкладок должно выполняться следующее соотношение

$$F_{под\Sigma} \geq 20 \cdot F_{ф.б.\Sigma}^{28см}$$

где  $F_{под\Sigma}$  - суммарная площадь подкладок,

$F_{ф.б.\Sigma}$  - суммарная площадь фундаментных болтов.

Используя это соотношение и задаваясь размерами подкладок, можно определить количество пакетов подкладок под машину.

Расстояние между пакетами подкладок рекомендуется выдерживать не более одного метра.

Промежуточные подкладки, необходимые для обеспечения требуемой высоты машины, принимают по площади на 30-40% меньше опорных.

Пример расположения подкладок под корпусом редуктора дан на рис.1.

При установке машины с помощью клиньев, как показано на рис.2, осуществляется более быстрая регулировка по высоте. После окончательной выверки клинья следует закрепить сваркой.

Станины крупных и прецизионных станков, требующих периодической регулировки положения в процессе эксплуатации, устанавливают на башмаках с клиновыми домкратами, представленными на рис.3, и на винтах, опирающихся на подкладки, как представлено на рис.4.

#### Пример расположения подкладок под корпусом редуктора

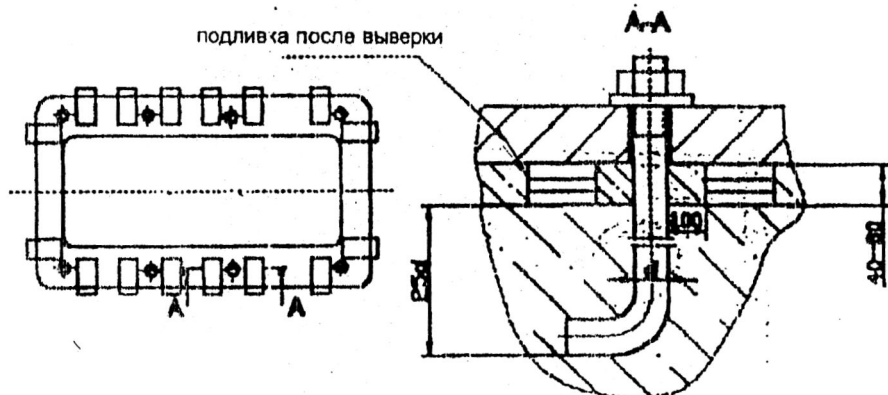


Рис.1

#### Установка машины с помощью клиньев

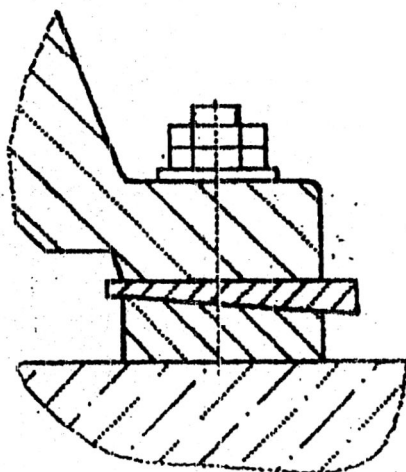


Рис.2

клиновой домкрат

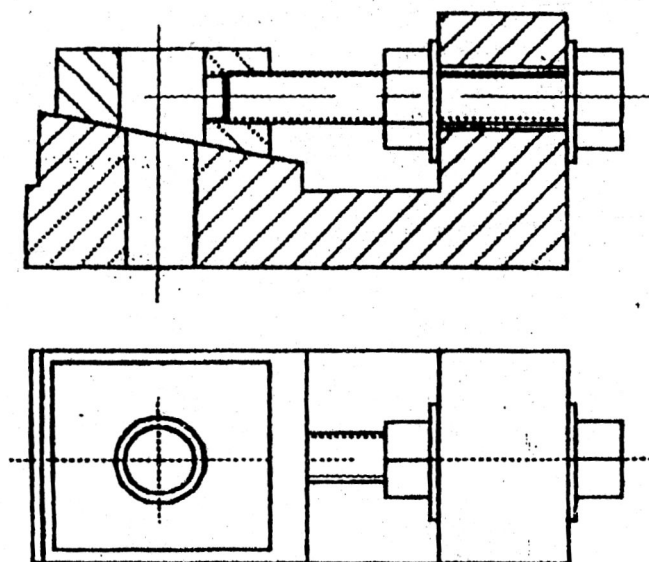


Рис.3

Регулировка установочными винтами

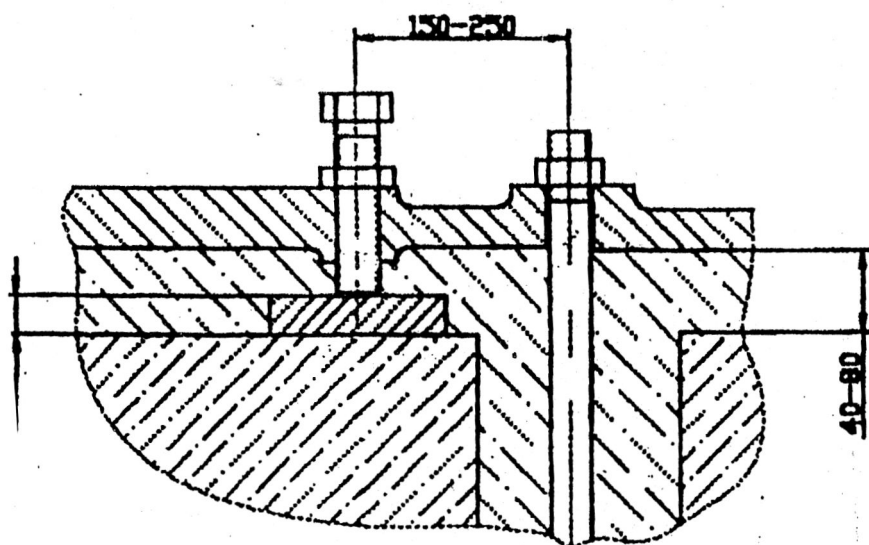


Рис.4

## СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ

Крепление машин к фундаментам осуществляется с помощью:

- глухих заливных болтов с отгибом,
- глухих закладных болтов с отгибом,
- анкерных болтов.

Крепление с помощью глухих заливных болтов представлено на рис.1 (А-А).

Глухие закладные болты конструктивно выполнены как заливные, но в фундаменте предусмотрены колодцы на всю длину болта, куда болт опускается при установке машины. Колодец заполняется бетонной смесью при подливке машины.

Примеры анкерных болтов приведены в [1].

## РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ БОЛТОВ

Глубина заделки болтов в фундаменте для болтов из стали с  $[\sigma_p] = 140$  МПа и бетона марки 150 выбирается из следующих соотношений:

- для болтов с отгибом –  $25d$ ,
- съемных с анкерной плитой –  $15d$ ,
- конических с зачеканкой цементным раствором и на эпоксидной смоле –  $10d$ ,
- для самоанкирующихся –  $8d$ ,

где  $d$  – диаметр болта по резьбе,  $[\sigma_p]$  допускаемое напряжение растяжения для материала болта.

Площадь болтов по резьбе определяется как

$$F = \frac{P_z + x \cdot P_n}{100 \cdot [\sigma_p]}, \text{ см}^2 \quad (1)$$

где  $P_z$  – усилие предварительной затяжки болта, Н;  $x$  – коэффициент нагрузки ( $x=0,5-0,6$ ),  $P_n$  – расчетная вертикальная нагрузка, Н.

$$P_n = \frac{P_0 - G}{n} + \frac{M \cdot y_1}{\sum_{i=1}^k y_i^2}, \text{ Н}, \quad \frac{M y_1}{\sum y_i^2} = \frac{M y_1}{2y_1^2 + 2y_3^2}$$

где  $P_0$  – расчетная вертикальная отрывная сила, действующая на фундамент от машины, Н;  $G$  – вес машины, Н;  $M$  – расчетный опрокидывающий момент, Н;  $n$  – число фундаментных болтов;  $y_1$  – расстояние от оси поворота машины при опрокидывании до наиболее удаленного болта в растянутой зоне стыка, м;  $y_i$  – расстояние от оси поворота до  $i$ -го болта, м. *в растянутой зоне; к – число болтов в*

Принимается, что ось поворота совпадает с центром тяжести опорной поверхности.

$$P_s = P_{zs} + P_{zs} \cdot H,$$

где  $P_{zs}$  - усилие затяжки для восприятия вертикальных нагрузок:

$$P_{zs} = K_{cm} \cdot (1-x) \cdot P_n \cdot H,$$

где  $K_{cm}$  - коэффициент стабильности затяжки.

Для болтов с отгибом и анкерной плитой  $K_{cm} = 1,3-1,5$  - при статических нагрузках,  $K_{cm} = 1,8-2,0$  - при динамических нагрузках; для болтов на эпоксидной смоле, конических с цементной зачеканкой и самоанкирующихся  $K_{cm} = 2,0-2,2$  - при статических нагрузках,  $K_{cm} = 2,5-3,0$  - при динамических нагрузках.

$P_x$  - усилие предварительной затяжки для восприятия горизонтальных (сдвигающих) нагрузок, Н,

$$P_x = K_{cm} \cdot \frac{Q - G \cdot f}{n \cdot f} \cdot H,$$

где  $Q$  - расчетная сдвигающая нагрузка, Н;  $f$  - коэффициент трения ( $f = 0,3$  - при бесподкладочном способе,  $f = 0,2$  - при установке на подкладках).

При динамической нагрузке площадь болтов проверяется на выносливость по формуле

$$F_s = \frac{x \cdot P_n}{200 \cdot [\sigma_p]}, \quad \text{см}^2,$$

где  $[\sigma_p] = 0,278 \cdot \frac{\alpha}{\mu} \cdot [\sigma_p]$ , МПа - допустимое напряжение растяжения для материала болта при действии динамических нагрузок.

Значения коэффициента  $\alpha$  зависящего от числа циклов нагрузки  $N$ , и  $\mu$ , зависящего от диаметра болта, приведены в табл.2 и 3.

Таблица 2

Значения коэффициента  $\mu$

d	M10-M12	M16	M20-M24	M30-M36	M42-M48	M56-M72	M80-M90	M100-M125	M140
$\mu$	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2

Таблица 3

Значения коэффициента  $\alpha$

N	$0,05 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^4$	$0,8 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$
$\alpha$	3,15	2,25	1,57	1,25	1,0

Угол поворота гайки после начала упругой деформации для достижения необходимого усилия предварительной затяжки

$$\varphi_n = 360^\circ \cdot \frac{14 \cdot P_s \cdot d}{100 \cdot E \cdot F \cdot S}, \text{ град.},$$



где  $S$  - шаг резьбы, см;  $d$  - диаметр болта, см;  $E$  - модуль упругости, МПа,  $2 \cdot 10^6$  МПа.

Фундаментные болты изготавливают из углеродистых и низколегированных сталей: ВСтЗпсб и ВСтЗкп2 (ГОСТ 380-71); 20, 25, 30 и 35 (ГОСТ 1050-74); диаметром М56-М140 допускается изготовление из ст. 09Г2С и 10Г2С1 (ГОСТ 19281-73) [ $\sigma_p$ ]: из сталей ВСтЗпсС, ВСтЗсп5 - 140 МПа, 09Г2С - 170 МПа, 10Г2С1 - 90 МПа.

### ПРИМЕР РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТНОГО БОЛТА

Определить диаметр фундаментного болта с отгибом, глубину заделки и угол поворота гайки для обеспечения необходимого усилия предварительной затяжки при следующих исходных данных: машина работает в условиях воздействия динамических нагрузок; расчетный опрокидывающий момент  $M = 1200 \text{ КН} \cdot \text{м}$ ; вес машины  $G = 100 \text{ кН}$ ; расчетная статическая горизонтальная сдвигающая нагрузка  $Q = 40 \text{ кН}$ ; расчетная опрокидывающая нагрузка, действующая на фундамент со стороны машины при ее работе  $P_o = 20 \text{ кН}$ ; число фундаментных болтов  $n = 8$  (по 4 с каждой стороны корпуса); расстояние от оси поворота машины при опрокидывании до двух наиболее удаленных болтов в растянутой зоне стыка  $Y_{1,2} = 2 \text{ м}$ ; до двух других в той же зоне  $Y_{3,4} = 1,5 \text{ м}$ ; болты из стали ВСтЗспб; бетон фундамента М150; способ установки машины - бесподкладочный. Число циклов нагружения  $2 \cdot 10^6$ .

Решение:

Расчетная вертикальная нагрузка на один болт:

$$P_n = \frac{P_o - G}{8 \cdot n} + \frac{M \cdot 2 \cdot Y_1}{2^2 Y_1^2 + 2^2 Y_2^2 + 1,5^2 Y_3^2 + 1,5^2 Y_4^2} = -10 + 192 = 182 \text{ кН.}$$

Усилие предварительной затяжки от действия вертикальной нагрузки ( $K_{cm} = 2,0$ ;  $x = 0,6$ ):

$$P_{\text{ст}} = 2 \cdot (1 - 0,6) \cdot 182 = 145,6 \text{ кН.}$$

Усилие предварительной затяжки от сдвигающей (горизонтальной) нагрузки:

$$P_{\text{сд}} = 2 \cdot \frac{40 - 100 \cdot 0,3}{8 \cdot 0,3} = 8,33 \text{ кН.}$$

Суммарное усилие предварительной затяжки

$$P_s = 145,6 + 8,3 = 153,93 \text{ кН.}$$

Необходимая площадь сечения болтов

$$F = \frac{153930 + 0,6 \cdot 182000}{100 \cdot 140} = 1,8,75 \text{ см}^2$$

По табл. [1, стр. 115] находим М64 ( $F = 25,12 \text{ см}^2$ )

Проверка сечения болта на выносливость.

Определяем допускаемые напряжения болта на разрыв ( $\mu = 1,8$ ;  $\alpha = 1,25$ ):

$$[\sigma_p]_0 = 0,278 \cdot 140 \cdot \frac{1,25}{1,8} = 27,02 \text{ МПа.}$$

Площадь сечения болта из условия выносливости

$$F_* = \frac{0,6 \cdot 182000}{200 \cdot 27,02} = 19,77 \text{ см}^2 < 25,12 \text{ см}^2.$$

Следовательно, болты удовлетворяют условию выносливости.

Глубина заделки

$$H = 25 d = 25 \cdot 64 = 1600 \text{ мм.}$$

Угол поворота гайки для обеспечения необходимого усилия предварительной затяжки болтов (угол резьбы  $s = 6 \text{ мм}$ )

$$\varphi_m = 360^\circ \cdot \frac{14 \cdot 153930 \cdot 6,4}{100 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 25,12 \cdot 0,6} = 16,47 \text{ град.}$$

#### ВЫВЕРКА БАЗОВОЙ ДЕТАЛИ ПО ОСЯМ И ПО ВЫСОТЕ

Базовые детали устанавливаются в проектное положение, выверяя по трем координатам: двум взаимно перпендикулярным осям в плане и по высоте.

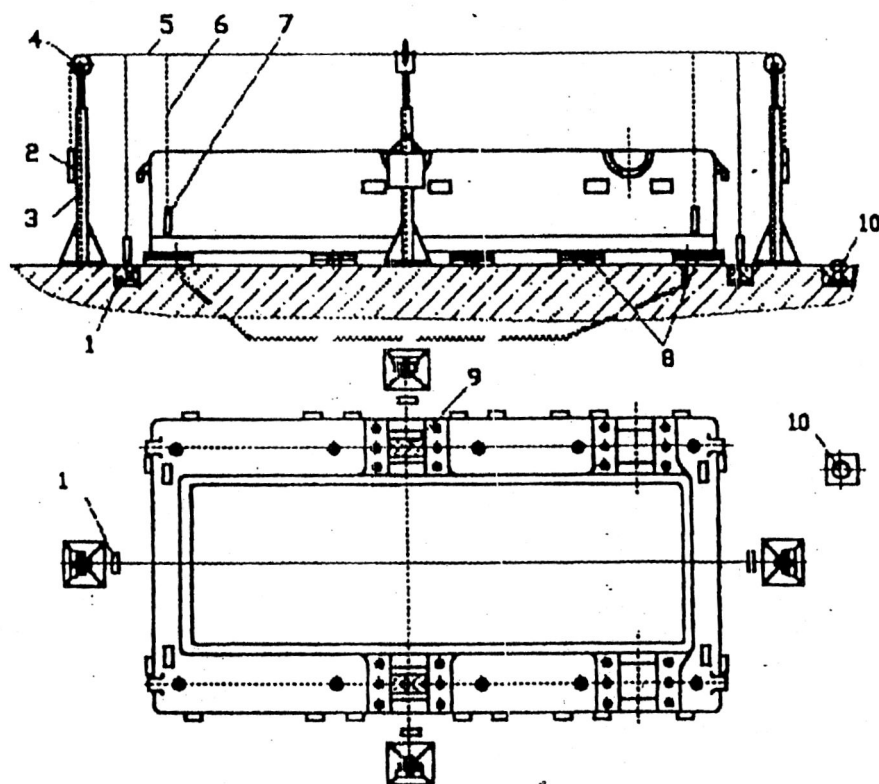
Каждая машина имеет две основные рабочие оси – продольную и поперечную – и один основной рабочий репер (в районе базовой машины), относительно которых осуществляют дальнейшую разбивку и нивелировку вспомогательных рабочих осей и реперов на данном фундаменте.

Рабочие оси фиксируют на фундаментах двумя металлическими плашками, которые устанавливают в местах, не закрываемых основаниями машины и позволяющих установить за плашками оседержатели, как представлено на рис.5.

Плшкой служит отрезок швеллера или двутавра размером в плане 80x80 мм. Плшку 1 заделывают в бетон, приваривая к арматуре фундамента, а при ее отсутствии к специальной заложенной пластине и заливают бетоном. На поверхности плшки керном наносят лунку диаметром не более 2 мм, соответствующую положению оси, а вокруг нее накернивают опознавательный треугольник, который затем закрашивают белой краской.

Оси фиксируют струнами 5 из стальной проволоки диаметром 0,3-0,5 мм, натянутыми с помощью блоков 4 грузами 3 на высоте около 2 м над плоскостью фундамента, чтобы не мешать установке оборудования.

Схема выверки базовой детали по осям



1 – осевая плшка; 2 – оседержатель; 3 – груз; 4 – ролик; 5 – струна; 6 – нить отвеса; 7 – отвес; 8 – подкладки; 9 – плшка для нанесения риски-оси корпуса подшипника; 10 – репер

Рис.5

Со струн спускают отвесы 7, заостренные концы которых совмещают с лунками, накерненными на плашках.

Рабочий репер 10 представляет собой заклепку диаметром 25-30 мм, приваренную вверх головкой к оголенной арматуре фундамента и забетонированную раствором цемента высокой марки.

Пример схемы выверки корпуса редуктора по высоте с помощью нивелира и монтажной рейки представлен на рис.6.

### КУРСОВАЯ РАБОТА

Учебным планом предусмотрена курсовая работа в VIII семестре дневного и X семестре вечернего и заочного обучения.

Курсовая работа имеет целью приобретения студентами навыка в разработке последовательности и схемы выполнения основной механо-монтажной операции – выверке базовой детали по осям и по высоте при установке ее на фундамент с выбором способа установки и крепления к фундаменту, расчетом фундаментных болтов.

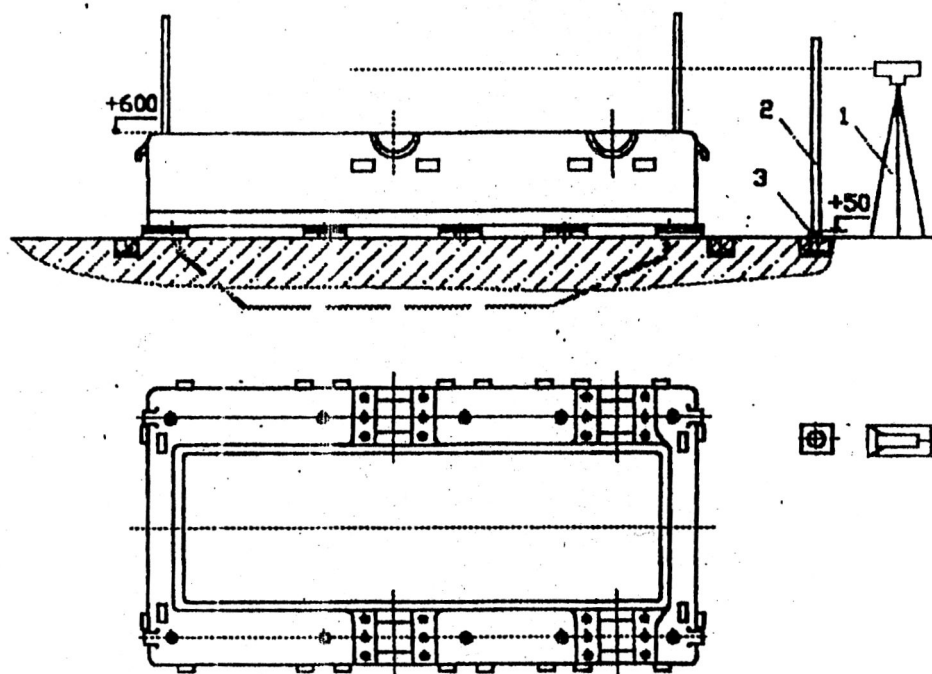
Объем графической части работы – 1 лист формата А1, в которой обычно изображается в двух проекциях установка и выверка базовой детали той машины, которая рассматривается студентом в первом курсовом проекте по курсу "Металлургические машины и оборудование".

Подробные указания по выполнению курсовой работы и требования к ее содержанию приведены в отдельном руководстве.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Вероятность безотказной работы системы при последовательном и параллельном соединении элементов.
2. Решение задач на применение формул полной вероятности Байеса.
3. Решение задач с применением табулированного интеграла Лапласа.
4. Применение критерия "с-квадрат" для определения согласованности экспериментального и теоретического распределений.
5. Определение единичных и комплексных показателей надежности.
6. Определение параметров различных законов распределения наработки до отказа. Использование критерия Колмогорова.
7. Структурный метод оценки надежности больших механических систем.
8. Выверка базовой детали по осям и по высоте. Расчет фундаментных болтов.
9. Расчет оснастки для монтажа мостового крана мачтовым способом.
10. Определение трудозатрат и построение графика монтажа оборудования рабочей линии блюминга 1150.
11. Составление технологической карты на ремонт.
12. Определение допустимого числа переточек вала на конкретном примере.

Схема выверки базовой детали по осям



1 — нивелир; 2 — монтажная рейка; 3 — репер

Рис.6

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная учебная литература:

1. Касаткин Н.Л. Монтаж, ремонт и смазка металлургического оборудования. М.: Металлургиздат, 1972. 307с.
2. Крылов В.А. Монтаж металлургического оборудования. М.: Металлургиздат, 1971. 399с.
3. Плахтин В.Д. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 413с.

### Дополнительная учебная литература:

1. Болотин В.В. Применение теории вероятностей и теории надежности к расчету сооружений. Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1982. 255с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965. 524с.
3. Гребеник В.М., Цапко В.К. Надежность металлургического оборудования: Справочник. М.: Металлургия, 1980. 344с.
4. Седуш В.Я. Надежность, ремонт и монтаж металлургических машин. 2-е изд. Киев; Донецк: Вища школа, 1981.-264с.
5. Тимашев С.А. Надежность больших механических систем. М.: Наука, 1982. 184с.
6. Тимашев С.А., Губашов Б.Н. Примеры решения задач по определению надежности металлургического оборудования. Свердловск. Изд. УПИ. 1984. 30 с.

# **НАДЕЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Составители: Л.П.Вакулина  
И.И.Некрасов**