

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических работ  
по дисциплине

Направления развития технического контроля и  
испытаний технологического оборудования

Направление подготовки – 15.04.02 Технологические  
машины и оборудование

Профиль подготовки: Проектирование технологического  
оборудования

Ставрополь, 2022

## Содержание

<i>Задача № 1. Испытания и расчет фундамента.</i>	3
<i>Задача № 2. Расчет срока службы сборочной единицы.</i>	7
<i>Задача №3. Испытание и расчет опор ротора.</i>	9
<i>Задача №4. Испытание и расчет лебедки на опрокидывание</i>	10
<i>Задача №5 Испытание и расчет лебедки на горизонтальное смещение</i>	11
<i>Задача №6 Прогнозирование ресурса работы емкостного оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии.</i>	11

## Введение

Испытания являются одним из важнейших этапов жизненного цикла продукта. Проведение испытаний позволяет определить пригодность применения материалов и сырья для изготовления продукции, проконтролировать качество получаемого материала, а также определить возможность использования технологических приемов и методов при изготовлении изделий.

Испытания проводятся на всех этапах жизненного цикла продукта. Правильная организация испытаний позволяет избежать недостоверных результатов и предотвратить выпуск несоответствующей продукции. Важнейшей частью организации испытаний является грамотная разработка и утверждение методик проведения испытаний. Правильно составленная методика проведения испытаний позволяет получать результаты с высокой достоверностью даже при работе персонала с низкой квалификацией.

### *Задача № 1. Испытания и расчет фундамента.*

Рассчитать размеры фундамента ( $a$ ,  $b$ ,  $h$ ) под оборудование, установленное в неотапливаемом помещении при известных габаритных размерах в плане  $a_1$  и  $b_1$ , известной высоты надземной части фундамента  $h$ , а также массе оборудования  $M$ , плотности материала фундамента  $\rho$ , диаметра фундаментного болта  $d$ , характера нагрузки и места (города) установки оборудования.

Методические указания по выполнению задачи и расчетная схема, а также исходные данные по вариантам приведены ниже.

#### *Методические указания по решению задачи №1*

Перед расчетом определяют контуры фундамента в плане, т.е. размеры  $a$  и  $b$ . Эти размеры находят по чертежу общего вида оборудования. Ориентировочно ширина и длина фундамента больше соответствующих размеров оборудования  $a_1$  и  $b_1$  на 300 мм (см. рис. 1 –  $150 \text{ мм} \cdot 2 = 300 \text{ мм}$ ).

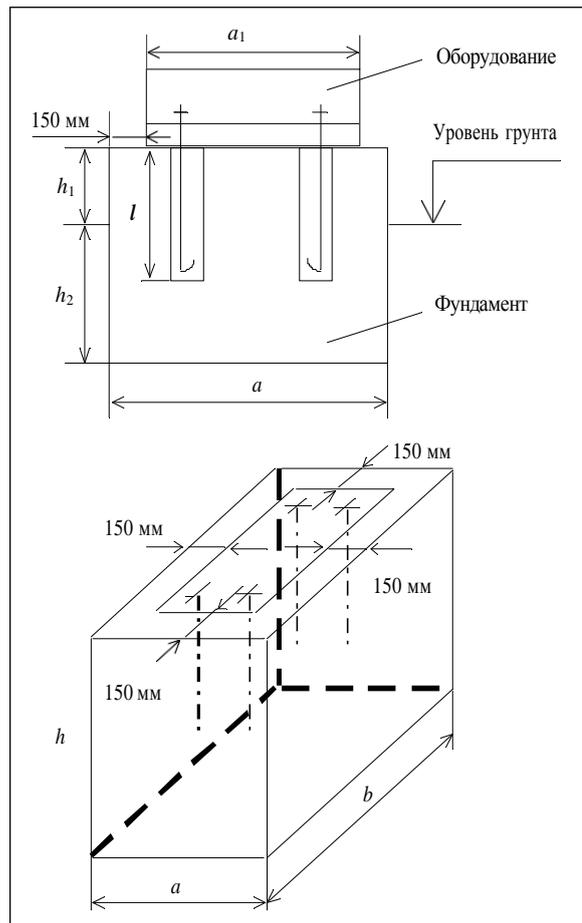


Рис. 1 Расчетная схема к задаче № 1

Высота фундамента  $h$  складывается из высот надземной  $h_1$  и подземной  $h_2$  частей его. Высота надземной части  $h_1$  задается, исходя из положения оборудования в технологической схеме, например, чтобы соединить соседние аппараты в схеме горизонтальным трубопроводом.

Размер подземной части фундамента  $h_2$  рассчитывается в первом приближении для отапливаемых помещений, исходя из массы фундамента:

$$M_{\phi} = k M$$

где  $M_{\phi}$  – масса фундамента;  $M$  – масса оборудования с перерабатываемым материалом;  $k$  – коэффициент, зависящий от типа нагрузки на фундамент (для статической  $k = 0,6...1,5$ , для динамической  $k = 0,8...1,9$ ).

Зная массу фундамента, размеры его в плане  $a$  и  $b$ , а также плотность материала  $\rho$ , можно вычислить размер подземной части  $h_2$ :

$$h_2 = \frac{M_{\phi}}{a \cdot b \cdot \rho};$$

Рассчитанное значение  $h_2$  окончательно выбирается после проверок. Так, для отапливаемых помещений минимальная глубина подземной части фундамента составляет 0,5 м.

Для неотопливаемых помещений и открытых площадок размер подземной части фундамента  $h_2$  должен соответствовать выражению:

$$h_2 \geq H_{\text{пр}} + 0,2$$

, м,

где  $H_{\text{пр}}$  – глубина промерзания грунта в данной зоне Российской Федерации:

I зона – Архангельск, Казань, Екатеринбург – 2 м;

II зона – Санкт – Петербург, Петрозаводск – 1,6 м;

III зона – Москва, Тамбов, Саратов – 1,5 м;

IV зона – Орел, Брянск – 1,3 м;

V зона – Астрахань, Волгоград, Новороссийск – 1,1 м.

Общая высота фундамента должна быть больше длины фундаментных болтов  $l$ . Обычно эта величина определяется в соответствии с выражением

$$l = 15d$$

, где  $d$  – диаметр фундаментного болта. Таким образом, окончательная проверка расчета:  $h > l$ .

– Исходные данные для решения задачи №1

№	$a_1$ , м	$b_1$ , м	$h_1$ , м	$M$ , т	Тип нагрузки	$\rho$ , тм <sup>-3</sup>	Город	$d$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,5	1	0,1	0,2	динамическая	1,8	Архангел ьск	30
2	0,5	1,5	0,1 5	0,3	динамическая	1,9	Казань	35
3	0,5	2	0,2	0,4	динамическая	2	С– Петербург	40
4	0,5	2,5	0,2 5	0,5	динамическая	2,1	Петрозав одск	45
5	0,5	3	0,3	0,6	динамическая	2,2	Москва	50
6	1	1	0,4	1	статическая	2,3	Тамбов	30
7	1	1,5	0,5	1,5	статическая	2,4	Саратов	35
8	1	2	0,1	2	динамическая	2,5	Орел	40
9	1	2,5	0,1 5	2,5	динамическая	2,6	Брянск	45
10	1	3	0,2	2,8	статическая	2,7	Астрахан ь	50

11	1,5	1	0,2 5	3	статическая	2,8	Волгоград	30
12	1,5	1,5	0,3	3,2	статическая	1,8	Новоросси йск	35
13	1,5	2	0,3 5	3,5	динамическая	1,9	Архангел ьск	40
14	1,5	2,5	0,4	3,8	динамическая	2	Казань	45
15	1,5	3	0,4 5	4	динамическая	2,1	С– Петербур г	50
16	2	2	0,5	1	статическая	2,2	Петрозав одск	30
17	2	2,5	0,1	2	статическая	2,3	Москва	35
–	2	3	0,1 5	3	статическая	2,4	Тамбов	40
–	2	3,5	0,2	4	динамическая	2,5	Саратов	45
–	1,8	1	0,2 5	1	динамическая	2,6	Орел	50
–	1,8	1,5	0,3	1,5	динамическая	2,7	Брянск	30
–	1,8	2	0,3 5	2	статическая	2,8	Астрахан ь	35
–	1,8	2,5	0,4	2,5	статическая	1,8	Волгоград	40
–	1,8	3	0,4 5	3	статическая	1,9	Новоросси йск	45
–	3	1	0,5	3,5	динамическая	2	С– Петербур г	50
–	3	2	0,1	4	динамическая	2,2	Москва	30
–	3	3	0,1 5	1,5	динамическая	2,4	Тамбов	35
–	3	3,5	0,2	2	статическая	2,5	Казань	40
–	1	4	0,3	2,5	статическая	2,6	Москва	45
–	1,5	4	0,4	3	статическая	2,8	Тамбов	50

## Задача № 2. Расчет срока службы сборочной единицы.

Определить: 1) возможный срок службы сборочной единицы; 2) возможное количество ремонтов при замене одной детали; 3) допустимый зазор сочленения при ремонте, который обеспечил бы продолжительность работы до следующего текущего ремонта; 4) скорость износа в начале и в конце ремонтного периода.

Для сочленения двух деталей установлены следующие параметры:

- максимально допустимый зазор  $\delta$ , мкм;
- начальный зазор в соединении  $\delta_0$ , мкм;
- скорость износа первой детали  $v_1$ , мкм/мес.;
- скорость износа второй детали  $v_2$ , мкм/мес.;

При ремонте заменяется только первая деталь, имеется в запасе две детали, также задано уравнение износа в виде:  $\tau_1$ .

### Методические указания по решению задачи № 2

1. Определим возможный срок службы сборочной единицы.

Продолжительность работы деталей соединения до первой замены определяется по формуле:

$$\tau_1 = \frac{(\delta - \delta_0)}{(v_1 + v_2)} \quad (1.1)$$

За этот период износ второй детали составит:

$$\delta_2 = v_2 \tau_1 \quad (1.2)$$

После смены детали зазор в сочленении будет равен:

$$\delta_{10} = \delta_0 + \delta_2 \quad (1.3)$$

Продолжительность работы до второй замены детали:

$$\tau_2 = \frac{(\delta - \delta_{10})}{(v_1 + v_2)} \quad (1.4)$$

Продолжительность работы до третьей замены детали  $\tau_3$  определяется аналогично по формулам (1.2) – (1.4).

Затем определяется общий срок службы сборочной единицы:

$$\tau = \sum_{i=1}^3 \tau_i \quad (1.5)$$

2. Для расчета допустимого количества ремонтов путем замены одной детали необходимо знать ремонтный период. Ремонтный период  $\tau_p$  принимается равным (с учетом результатов, полученных в п.1)  $\tau_p$ .

Следовательно, зазор в сочленении через  $\tau_p$  месяцев работы составит:

$$\delta'_1 = \delta_0 + (v_1 + v_2) \cdot \tau_p \quad (2.1)$$

Остаточный зазор в сочленении после первой замены:

$$\delta'_{01} = \delta_0 + v_2 \cdot \tau_p \quad (2.2)$$

Зазор в сочленении после  $2\tau_p$  месяцев работы сочленения:

$$\delta'_2 = \delta'_{01} + 2 \cdot (v_1 + v_2) \cdot \tau_p \quad (2.3)$$

Остаточный зазор в сочленении после второй замены:

$$\delta'_{02} = \delta'_{01} + v_2 \cdot \tau_p \quad (2.4)$$

Далее определяется зазор в сочленении после  $3\tau_p$  месяцев работы определяется по формуле, аналогичной формуле (2.3).

Полученные величины зазоров сравниваются с величиной допустимого зазора  $\delta$ . По результатам сравнения делается вывод о количестве возможных замен детали.

Рис. 2 Расчетная схема к задаче № 2: 1, 2 – детали соединения.

– Исходные данные для решения задачи №2

№	Макс. допустимый зазор $\delta$ , мкм	$\delta_0$ , мкм	$v_1$	$v_2$
1	2	3	4	5
1	250	15	17	7
2	200	20	10	5
3	170	18	15	6
4	220	22	12	5
5	235	17	11	4
6	190	21	18	10
7	185	20	19	9

8	172	13	20	12
9	193	25	12	4
10	197	21	14	7
11	225	17	16	9
12	253	15	12	4
13	210	24	17	8
14	215	23	19	5
15	250	15	17	7
16	160	20	13	2
17	172	11	12	5
18	221	22,5	12,3	5,1
19	259	21,7	13	4
20	253	23	19	10
21	125	26	13	5
22	178,4	13	20	13
23	192	25	12	6
24	190	21	14	8
25	175	17	16	10
26	253	15	12	5
27	210	24	17	5
28	215	23	19	3
29	267	29	15	4
30	289	29	19	8

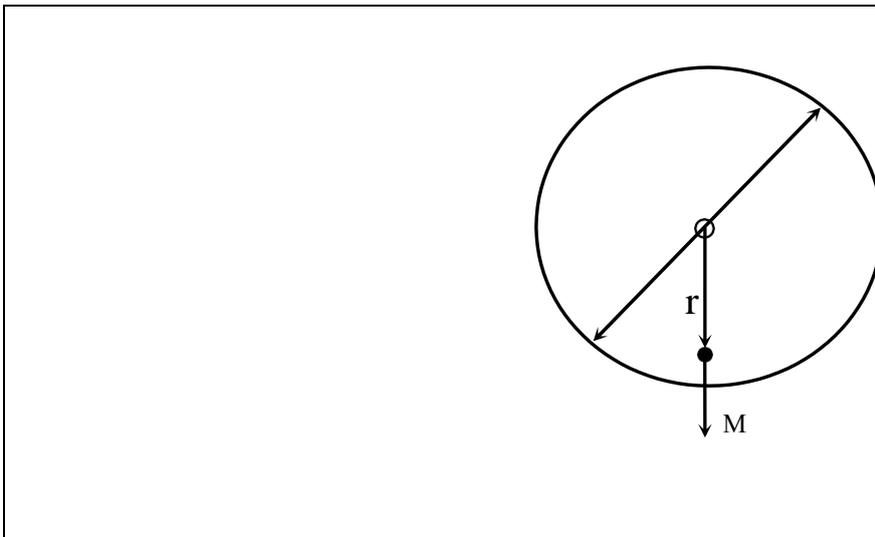
**Задача №3. Испытание и расчет опор ротора.**

Расчитать максимальную силу  $P$ , действующую на каждую опору ротора центробежного насоса при смещении его центра тяжести, если известно:  $M$ -вес ротора;  $n$ - число оборотов ротора;  $r$ - смещение центра тяжести ротора от оси его вращения.

Расчет следует производить по уравнению:

$$P=(M+F)/ 2,$$

где  $F$ - центробежная сила, которая возникает при смещении центра тяжести ротора.



Расчетная схема к задаче № 3

Исходные данные для решения задачи №3

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
М,Н	18 8	15 3	18 5	11 72	15 1	15 9	17 0	17 2	16 0	17 5	16 5	175
п,об./мин	35 10	32 10	35 40	33 90	32 50	32 40	33 20	30 20	30 80	33 00	30 90	335 0
г,мм	0.2 5	0.3	0.2 7	0.4 2	0.3 7	0.3 8	0.4 4	0.3	0.3 3	0.4 5	0.3 2	0.4 3

#### Задача №4. Испытание и расчет лебедки на опрокидывание

Рассчитать устойчивость лебедки на опрокидывание (определить необходимость применения и вес балласта  $Q_1$ ), если известны (см. расчетную схему) следующие данные:

$S$ - натяжение каната, т;  $h$ - расстояние от уровня земли до каната, м;

$Q$ - вес лебедки, т;  $l$ - расстояние от центра тяжести лебедки до точки опрокидывания, м;

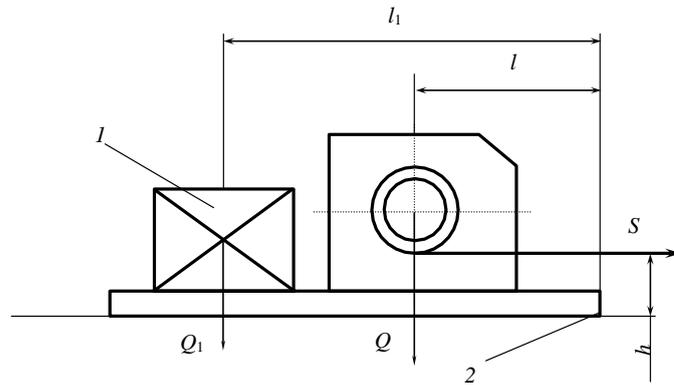
$l_1$ - расстояние от центра тяжести противовеса до точки опрокидывания, м;

$k$ - коэффициент запаса устойчивости (1,2...1,3);

$Q_1$  – вес противовеса.

Расчет вести по соотношению:

$$Q_1 = k (S h - Q l) / l_1$$



1-противовес; 2-точка опрокидывания

Расчетная схема к задаче №4

**Задача №5** Испытание и расчет лебедки на горизонтальное смещение

Рассчитать устойчивость лебедки на горизонтальное смещение (силу горизонтального смещения  $N$ ) в соответствии со схемой и данными задачи № 4. Дополнительно для задачи №5 известно, что сила горизонтального смещения равна:

$$N = S - F_{тр} \text{ или}$$

$$N = S - f(Q - Q_1),$$

где  $F_{тр}$ -сила трения,  $N$ ;  $f$ -коэффициент трения (0.2...0.7)

*Исходные данные для решения задач №4 и №5*

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	2.8	3.7	2.4	2.6	2.8	4.4	4.2	3.2	4.3
Q	3.2	3.3	3.1	3.5	3.1	2.4	2.2	3.2	2.3
h	0.51	0.6	0.52	0.62	0.65	0.39	0.37	0.56	0.38
l	1.1	1.4	1.3	1.3	1.2	0.9	0.98	1.3	0.95
l <sub>1</sub>	2.4	2.8	2.35	2.7	2.6	2.35	2.45	3.2	2.45
f	0.22	0.38	0.28	0.39	0.37	0.61	0.65	0.42	0.63

**Задача №6.** Прогнозирование ресурса работы емкостного оборудования, подвергающегося коррозии или эрозии.

Расчет ресурса по данному критерию ведется по следующей зависимости:

$$T_{к(э)} = (S_{ф} - S_{р}) / a,$$

где  $S_f$ – фактическая минимальная толщина стенки, мм;  $S_p$ – расчетная толщина стенки, мм;  $a$ - скорость равномерной коррозии (эрозии), мм/год. Величина «а» определяется по следующим зависимостям. Если имеется одно измерение контролируемого параметра  $S_f(t_1)$ , полученное при обследовании оборудования, то

$$a = (S_n + C_0 - S_f) / t_1,$$

где  $S_n$ - исполнительная толщина стенки, мм;  $C_0$ - плюсовой допуск на толщину стенки, мм;  $t_1$ - время от момента начала эксплуатации до момента обследования, лет.

### *Исходные данные для решения задачи №6*

№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_f$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$S_p$	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$C_0$	0.5	1	2	1	2	1	2	1	2
$S_n$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_1$	3	5	4	6	5	4	5	6	5

### **Литература**

1. Кормильцин Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования.– Тамбов. Издательство ТГТУ, 2008.- 120с.
2. Ермаков В.И., Шеин В.С. Ремонт и монтаж химического оборудования. – Л.: Химия, 1981.- 367с.
3. Кормильцин Г.С., Иванов О.О. Основы монтажа и ремонта технологического оборудования. – Тамбов. Издательство ТГТУ, 2001.- 87с.
4. Кормильцин Г.С., Шубин Р.А., Воробьев А.М. Диагностика и ремонт технологического оборудования. – Тамбов. Издательство ТГТУ, 2009.- 30с.
5. Федеральный закон от 21.07.97 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»
6. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов. РД-03-421-01.-М.: Ростехнадзор, 2002.-130 с.
7. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества. М.: Высшая школа, 1988.-368 с.
8. Неразрушающий контроль и диагностика./ Под ред. Клюева В.В. М.: Машиностроение, 2005.-656 с.
9. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн. / Под ред. Клюева В.В.-М.: Машиностроение, 1986. Кн.1 -488 с., кн.2-352 с.
10. Восстановление деталей машин. Справочник. Под ред. Иванова В.П. –М.: Машиностроение, 2003.- 672 с.