

В. Я. РЫВИН



УСТОЙЧИВОСТЬ
ТЕАТРАЛЬНЫХ ДЕКОРАЦИЙ

В пособии рассмотрены вопросы теории и практики определения центров тяжести и устойчивости театральных декораций.

Пособие снабжено справочными материалами, позволяющими выполнять самостоятельные задания и практические расчеты на устойчивость театральных декораций и проектные проработки при создании сценических эффектов.

Рецензенты:

заведующий кафедрой инженерно-строительных дисциплин
института архитектуры, живописи и скульптуры им. И. Е. Репина
П. Ф. ПАНФИЛОВ,

кандидат технических наук В. М. ГАВРИЛОВ,

главный специалист механико-технологического отдела
института «Гипроттеатр» П. Г. МАЗИЯ,

заведующий художественно-постановочной частью
Лен. гос. акад. театра оперы и балета им. С. М. Кирова В. М. ШЕПОВАЛОВ

Рисунок на обложке Э. Капелюша
Рисунки в тексте автора и А. Смирнова

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для студентов постановочных факультетов, изучающих театральную технику и технологию по специальности № 2216. Предлагаемая работа может оказаться полезным практическим пособием для всех занимающихся конструированием театральных декораций и другого нестандартного оборудования.

Тема «Определение центра тяжести театральных конструкций» изучается в середине I семестра, после изучения темы «Системы сил, произвольно расположенных на плоскости и в пространстве», выполнения домашнего упражнения и контрольных работ по теме «Опорные реакции балок».

Знание теоретических основ и практических методов определения центра тяжести (ЦТ) конструкций позволяет:

— находить ЦТ и центральные оси для поперечных сечений балок, составленных из любых сочетаний различных геометрических форм или прокатных профилей;

— быстро анализировать и решать практические вопросы устойчивости и закрепления театральных декораций любой сложности;

— создавать конструкции с использованием силы тяжести в различных трюках и сценических эффектах.

Навыки, приобретенные при разборе примеров и задач, а также самостоятельное выполнение упражнений и заданий по этой теме, развивает универсальное умение в пользовании ГОСТами и различными справочниками, что является надежной гарантией успешной работы при выполнении последующих, более усложненных задач в разработке театральных конструкций и другого нестандартного оборудования.

ГЛАВА I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ РАЗЛИЧНЫХ ФИГУР И ТЕЛ

В теме «Системы сил, произвольно расположенных на плоскости и в пространстве» была рассмотрена общая методика определения равнодействующей силы и условия равновесия системы при любых количествах заданных сил и различных направлениях их действия. Эта методика может быть использована и для отдельных частных случаев.

§ 1. Понятие о центре параллельных сил

Рассмотрим действие двух параллельных сил P_1 и P_2 , приложенных в точках A и B и направленных в одну сторону. Нетрудно убедиться, что действие двух сил можно заменить равнодействующей силой, и для этого необходимо, как и для всякой другой силы, определить: точку ее приложения; направление действия; величину.

Если рассматривать систему двух параллельных сил как частный случай системы произвольных сил, то равнодействующая

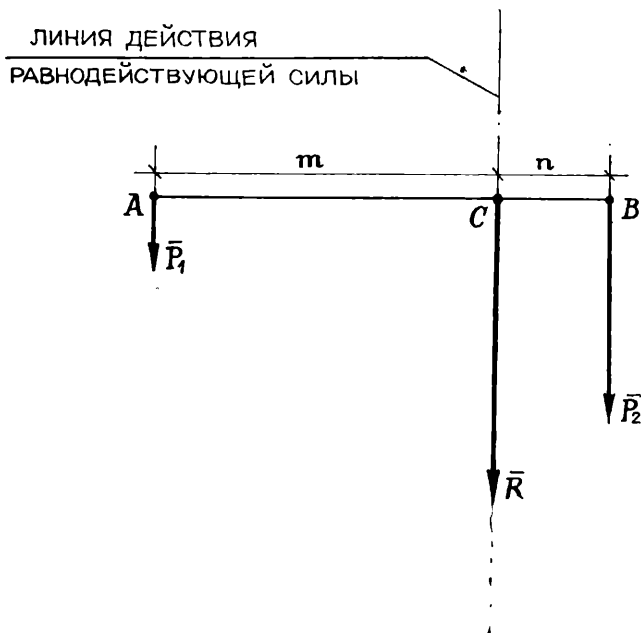


Рис. 1

двух параллельных сил, направленных в одну сторону, должна быть направлена в ту же сторону и равна их арифметической сумме. Таким образом, $R = P_1 + P_2$.

Теперь необходимо определить точку ее приложения или хотя бы сначала линию действия равнодействующей. Предположим, что линия действия равнодействующей (рис. 1) пересекает линию AB между заданными силами в точке C . При этом положение точки C еще надо определить.

Из предыдущей темы известно, что момент равнодействующей относительно точки C должен быть равен нулю. В то же время, по теореме Вариньона, момент равнодействующей должен быть

равен алгебраической сумме моментов слагаемых сил относительно той же точки:

$$M_C(R) = M_C(P_1) + M_C(P_2) = -P_1AC + P_2BC = 0$$

или

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{AC}{BC} = \frac{m}{n},$$

где $m+n=AB$,

т. е. линия действия равнодействующей делит расстояние между заданными силами (линию AB) на отрезки обратно пропорциональные величинам этих сил.

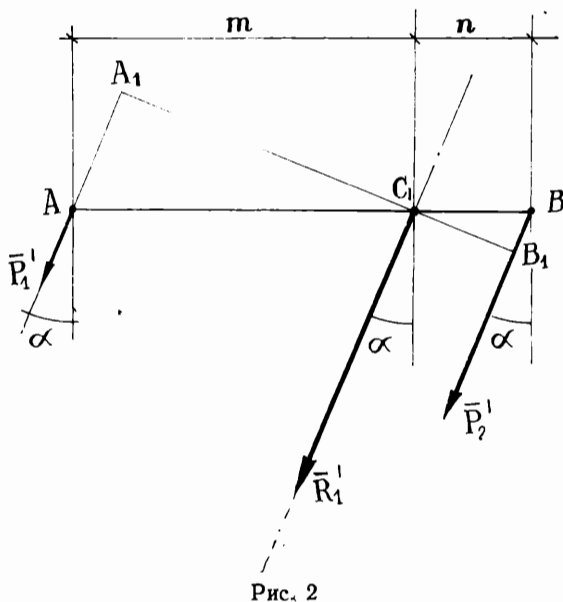


Рис. 2

Равнодействующая R может быть приложена по линии ее действия в любой точке, но среди этих точек есть только одна точка C , которая обладает замечательным свойством не изменять своего положения при повороте заданных сил на один и тот же угол в одном и том же направлении. Эта точка C называется центром параллельных сил.

Рассмотрим доказательство этого важного для практических расчетов вывода. Повернем силы P_1 и P_2 на угол α , сохраняя их параллельность и для сил P'_1 и P'_2 , определим равнодействующую R' и точку ее приложения — пересечение с прямой $A'B'$ в точке C' (рис. 2).

Линия действия равнодействующей R' определится отношением

$$\frac{A'C'}{B'C'} = \frac{P'_2}{P'_1}, \text{ но } P'_2 = P_2, \text{ а } P'_1 = P_1.$$

Из подобия треугольников AA_1C_1 и BB_1C_1 :

$$\frac{A'C'}{B'C'} = \frac{AC'}{BC'} \text{ или } \frac{AC'}{BC'} = \frac{m}{n},$$

т. е. положение точки C' определяется той же пропорцией, что в предыдущем случае (рис. 1), а это означает, что точка C остается в прежнем положении при повороте двух параллельных сил на один и тот же угол в одном и том же направлении.

§ 2. Определение координат центра параллельных сил

Определим центр параллельных сил при нескольких параллельных силах $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ и заданных координатах приложения этих сил $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ и $y_1, y_2, y_3 \dots y_n$, принятых для упрощения расчетов в одной плоскости, в системе прямоугольных координат. Причем одна из осей (например, ось Oy) направлена параллельно заданным силам. Координаты точек приложения рас-

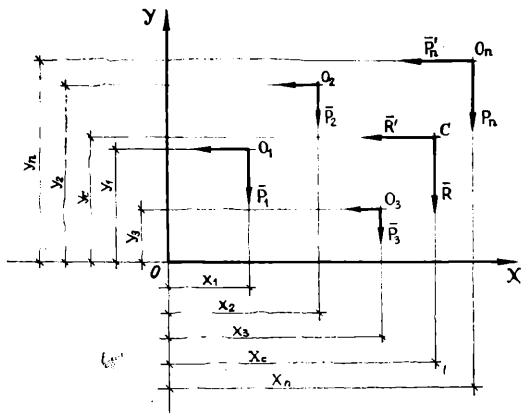


Рис. 3

сматриваемых сил приведены на рис. 3. На этом же рисунке нанесен также центр параллельных сил — точка C с координатами x_c и y_c , которые нужно определить.

Величина равнодействующей численно равна арифметической сумме слагаемых сил:

$$R = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = \sum_1^n P_i$$

и направлена в сторону заданных сил

Для определения координат центра параллельных сил применим теорему Вариньона. За центр моментов возьмем начало координат O .

Тогда

$$R x_c = P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 + \dots + P_n x_n = \sum_1^n P_i x_i,$$

откуда

$$x_c = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2 + P_3 x_3 + \dots + P_n x_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n} = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i}. \quad (1)$$

Так как центр параллельных сил не меняет своего положения при повороте всех сил на один и тот же угол в одном и том же направлении, то повернем все силы так, чтобы они стали параллельны оси Ox . По аналогии с предыдущим выводом можно определить ординату центра параллельных сил y_c :

$$y_c = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 + \dots + P_n y_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n} = \frac{\sum P_i y_i}{\sum P_i}. \quad (2)$$

При пространственной системе сил можно вывести формулу для координаты z_c :

$$z_c = \frac{P_1 z_1 + P_2 z_2 + P_3 z_3 + \dots + P_n z_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n} = \frac{\sum P_i z_i}{\sum P_i}. \quad (3)$$

Таким образом, формулы 1, 2, 3 определяют координаты центра системы параллельных сил. В числителе их правой части стоит сумма моментов сил, а в знаменателе — равнодействующая заданной системы параллельных сил.

Если все заданные силы направлены в одну сторону, знак момента каждой силы определяется знаком соответствующей координаты точки ее приложения; если силы направлены в разные стороны, то следует придерживаться алгебраических правил учета знаков сомножителей.

Изложенная выше теория определения центра параллельных сил применима к определению ЦТ тел.

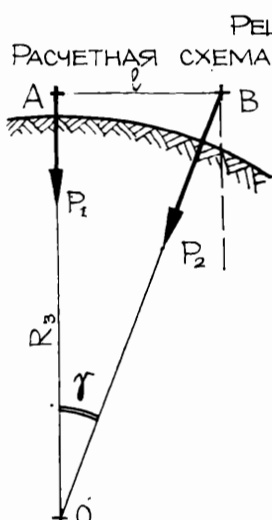
§ 3. Понятие о центре тяжести тела.

Определение центра тяжести твердых тел, составленных из разнородных и однородных материалов

Все предметы и тела на Земле подвергаются воздействию различных по своим характеристикам сил. Даже в тех случаях, когда кажется, что на конструкцию не действуют внешние нагрузки, например, отдельно стоящая на планшете сцены декорационная стенка, — все равно такая конструкция будет находиться под воздействием силы притяжения Земли, т. е. на стенку действует ее сила тяжести.

Величина этой силы непостоянна и зависит от массы самого тела и в земных условиях — от расстояния от этого тела до центра Земли. Закон всемирного тяготения, сформулированный Ньютоном, показал, что силы притяжения (гравитации) умень-

ЗАДАНИЕ. ОПРЕДЕЛИТЬ РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ТОЧКАМИ А И В, РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, С УЧЕТОМ УГЛА СХОДИМОСТИ МЕЖДУ ЛИНИЯМИ ДЕЙСТВИЯ СИЛ P_1 И P_2 , ПРИЛОЖЕННЫХ В ЭТИХ ТОЧКАХ. РАДИУС ЗЕМЛИ ПРИНЯТЬ 6370 КМ.



РЕШЕНИЕ. 1. СОСТАВЛЯЕМ РАСЧЕТНУЮ СХЕМУ И ПРОСТАВЛЯЕМ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

ВЕЛИЧИН:

l - РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ТОЧКАМИ А И В НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ, М.;

R_3 - РАДИУС ЗЕМЛИ, $6,37 \times 10^3$ КМ.;

γ - УГОЛ СХОДИМОСТИ МЕЖДУ ЛИНИЯМИ ДЕЙСТВИЯ ЗАДАННЫХ СИЛ.

2. ОПРЕДЕЛЯЕМ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ИСКОМЫМ И ИСХОДНЫМИ ДАННЫМИ:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{AB}{OA} = \frac{l}{R_3};$$

$$l = R_3 \times \operatorname{tg} \gamma = 6,37 \times 10^6 \times \operatorname{tg} \gamma \text{ [М]}.$$

3. ЗАДАЕМ РАЗЛИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УГЛОВ СХОДИМОСТИ ЛИНИЙ ДЕЙСТВИЯ СИЛ И ВСЕ РАСЧЕТЫ СВОДИМ В ТАБЛИЦУ.

γ	$\operatorname{tg} \gamma$	$l, \text{М}$	ПРИМЕЧАНИЯ
10''	$0,4848 \times 10^{-6}$	3,09	ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ ТАНГЕНСОВ УГЛОВ ПРИНЯТЫ ПО «ШЕСТИЗНАЧНЫМ ТАБЛИЦАМ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ» Л.С. ХРЕНОВА (ИЗД. «НАУКА» М. 1978)
30''	$0,1454 \times 10^{-4}$	92,6	
1'00''	$0,2909 \times 10^{-3}$	1850,0	
3'00''	$0,8 \times 10^{-3}$	5100	ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ ТАНГЕНСОВ УГЛОВ ПРИНЯТЫ ПО «ЧЕТЫРЁХЗНАЧНЫМ МАТЕМАТИЧЕСКИМ ТАБЛИЦАМ» В. БРАДИСА ДЛЯ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ.
6'00''	$0,17 \times 10^{-2}$	10800	
30'00''	$0,87 \times 10^{-2}$	55400	
1°00'00''	$1,75 \times 10^{-2}$	111500	

4. **Выводы и заключение:** При небольших расстояниях между силами их линии действия можно считать параллельными друг другу.

Рис. 4

шаются пропорционально квадрату расстояния от тела до центра Земли. Поэтому тело на поверхности Земли (например, на широте Ленинграда, где радиус Земли составляет 6370 км; заметим, что у экватора 6380 км, а у полюса — 6360) может весить 1 даН. Если тело поднять на 400 км над поверхностью Земли, то оно будет весить уже 0,9 даН из-за удаления от центра Земли на 6800 км ($6370+400=6770 \approx 6800$ км). С увеличением высоты над Землей вес тела будет уменьшаться из-за ослабления силы притяжения вплоть до наступления невесомости.

Естественно, что силы тяжести направлены к центру Земли, т. е. линии действия этих сил сходятся вблизи геометрического центра земного шара. Учитывая, что рассматриваемые тела, в том числе и театральные конструкции, неизмеримо меньше радиуса Земли, можно силы веса различных конструкций считать практически параллельными друг другу. Возможности такого упрощения подтверждаются расчетами и выводами, приведенными на рис. 4.

Сложив силы тяжести всех элементарных частиц тела или отдельных частей конструкции, получим их равнодействующую $G = \sum g_i$, называемую силой тяжести, или весом тела.

Точка С, через которую проходит линия действия равнодействующей силы тяжести всех элементарных частиц тела при любом его положении в пространстве, называется ЦТ тела. Итак, ЦТ тела обладает свойством центра параллельных сил и занимает относительно всех элементарных частиц тела неизменное положение, и для его определения можно использовать формулы координат центра параллельных сил.

Положение ЦТ тела зависит только от формы тела и распределения в нем материальных частиц. Кроме того ЦТ есть геометрическая точка, которая может находиться и вне тела (кольцо, бублик, полый овал, мяч и т. п.).

Пример. На существующую прямоугольную фурку весом $P_1 \approx 500$ даН с координатами ЦТ $x_1=1,10$ м, $y_1=2,50$ м; $z_1=0,30$ м необходимо установить декорацию весом $P_2=200$ даН с координатами ЦТ, принятыми в той же системе, $x_2=0,75$ м; $y_2=2,15$ м; $z_2=3,80$ м. Определить положение ЦТ всей конструкции в новых условиях.

Решение. По формулам 1, 2, 3 имеем:

$$x_c = \frac{P_1 x_1 + P_2 x_2}{P_1 + P_2} = \frac{500 \times 1,10 + 200 \times 0,75}{500 + 200} = \frac{700}{700} = 1,00 \text{ м.}$$

$$y_c = \frac{P_1 y_1 + P_2 y_2}{P_1 + P_2} = \frac{500 \times 2,50 + 200 \times 2,15}{500 + 200} = \frac{1680}{700} = 2,40 \text{ м;}$$

$$z_c = \frac{P_1 z_1 + P_2 z_2}{P_1 + P_2} = \frac{500 \times 0,3 + 200 \times 3,80}{500 + 200} = \frac{910}{700} = 1,30 \text{ м.}$$

Итак, установка декорации на фурке при заданных условиях приводит к незначительному смещению ЦТ всей конструкции в

горизонтальной плоскости (на 14,1 см к началу координат, потому что по осям x и y перемещение составит по 10 см) и переносу его по вертикали по оси z на 1,0 м.

От студентов постановочного факультета требуется не только понимание общей теории и принципа нахождения ЦТ декораций, но и овладение практическими приемами и твердыми навыками в его определении в самых различных производственных условиях.

В дальнейшем рассматривается порядок определения ЦТ в случаях, когда конструкции выполнены из разнородных и одно-

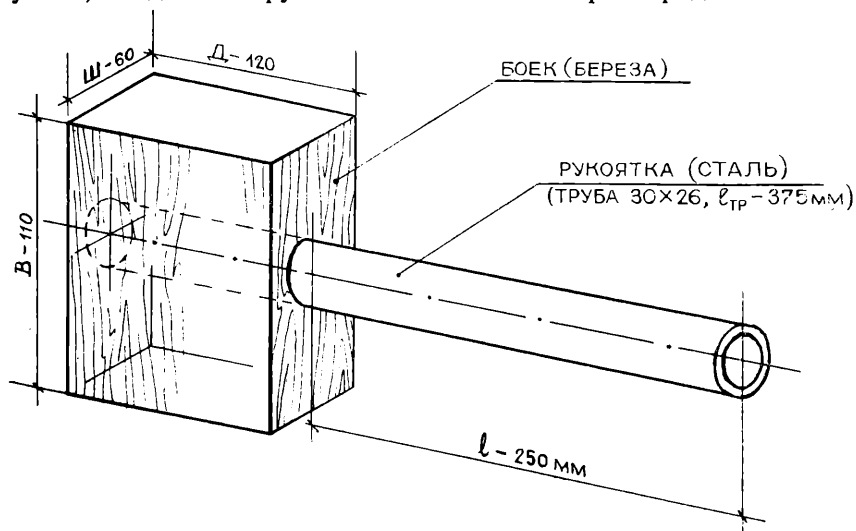


Рис. 5

родных материалов и представляют собой объемы, поверхности или линии. Такое последовательное рассмотрение диктуется еще и тем обстоятельством, что при этом общие формулы определения ЦТ видоизменяются, упрощаются. Для некоторых объемов, поверхностей и линий данные о расположении их ЦТ имеются в справочниках.

Если конструкция составлена из разнородных материалов, то для определения ЦТ ее необходимо знать вес и координаты ЦТ каждой составляющей части.

Пример. Определить координаты ЦТ киянки (деревянного молотка); габаритные размеры киянки приведены на рис. 5.

Решение. Общий ЦТ инструмента расположится на оси симметрии, так же, как и ЦТ отдельных частей:

1. бойка из березы (плотность дерева $0,65 \text{ г/см}^3$) размером $12,0 \times 6,0 \times 11,0 \text{ см}$;

2. рукоятки из стальной трубы (плотность стали $7,85 \text{ г/см}^3$) размерами $3,0 \times 2,6 \times 37,5 \text{ см}$.

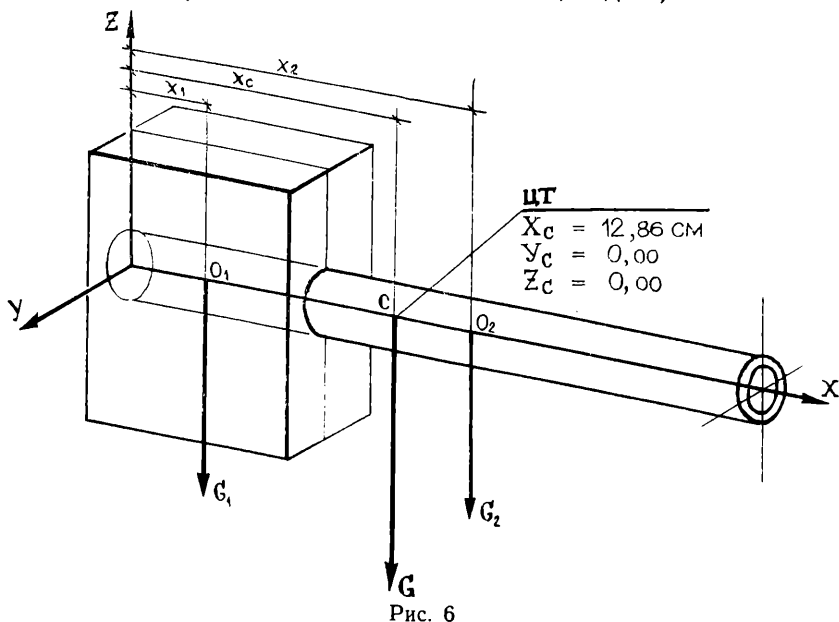
Объем бойка

$$V_1 = DШВ - \frac{\pi d^2}{4} D = 11,0 \times 12,0 \times 6,0 - \frac{3,14 \times 3,0^2}{4} \times 12 = \\ = 792 - 84,8 = 707,2 \text{ см}^3;$$

объем рукоятки

$$V_2 = \frac{\pi (d_{\text{нар.}}^2 - d_{\text{внутр.}}^2)}{4} l_{\text{тр.}} = \frac{3,14 (3,0^2 - 2,6^2)}{4} \times 37,5 = 0,785 (9,0 - 6,76) \times \\ \times 37,5 = 67 \text{ см}^3;$$

вес бойка $G_1 = \rho_1 V_1 = 0,65 \times 707,2 = 460 \text{ г} = 0,46 \text{ даН}$;



вес рукоятки $G_2 = \rho_2 V_2 = 7,85 \times 67,0 = 520 \text{ г} = 0,52 \text{ даН}$.

Проведем оси координат x, y, z . Тогда ордината ЦТ бойка

$$x_1 = \frac{D}{2} = \frac{12,0}{2} = 6,0 \text{ см}; \quad y_1 = 0; \quad z_1 = 0;$$

ордината ЦТ рукоятки

$$x_2 = \frac{l_{\text{тр.}}}{2} = \frac{37,5}{2} = 18,8 \text{ см}; \quad y_2 = 0; \quad z_2 = 0.$$

По формуле (1) определяем ЦТ инструмента и наносим на схему (рис. 6):

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i x_i}{\sum G_i} = \frac{6,0 \times 0,46 + 18,8 \times 0,52}{0,46 + 0,52} = \frac{12,86}{0,98} = 12,8 \text{ см}; \\ y_c = 0; \quad z_c = 0.$$

Если необходимо *определить ЦТ для конструкций из однородного материала*, у которой вес отдельных частей пропорционален их объему, то общую формулу можно упростить, так как плотность тела всюду одинакова ($\rho = \text{const}$):

$$x_c = \frac{\sum G_i x_i}{G} = \frac{G_1 x_1 + G_2 x_2 + \dots + G_n x_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} = \\ = \frac{\rho V_1 x_1 + \rho V_2 x_2 + \dots + \rho V_n x_n}{\rho (V_1 + V_2 + \dots + V_n)} = \frac{V_1 x_1 + V_2 x_2 + \dots + V_n x_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{\sum V_i x_i}{V},$$

где ρ — плотность однородного материала, величина постоянная, т. е. $\rho = \text{const}$;

V_1, V_2, V_n — объемы отдельных частей;

x_1, x_2, x_n — координаты ЦТ этих частей относительно выбранной системы координат.

Итак, для определения ЦТ тел с одинаковой плотностью необходимо и достаточно расчленить заданное тело на такие части, объемы, ЦТ которых легко вычисляются или находятся по справочникам (см. Приложение I). К таким телам относятся куб, шар, конус, цилиндр, пирамида, призмы, тор и т. п. ЦТ всей составной конструкции определяют по формулам:

$$x_c = \frac{\sum V_i x_i}{V}; \quad y_c = \frac{\sum V_i y_i}{V}; \quad z_c = \frac{\sum V_i z_i}{V}.$$

В театральной практике наиболее часто приходится иметь дело с *плоскими конструкциями, поверхность которых имеет фигурные вырезы или выступы, с сечениями балок, составленных из прокатных профилей*. При одинаковой толщине конструкции, выполненной, например, из листа фанеры, пластин или ткани, общие формулы могут быть преобразованы:

$$x_c = \frac{\sum V_i x_i}{V} = \frac{t F_1 x_1 + t F_2 x_2 + \dots + t F_n x_n}{t (F_1 + F_2 + \dots + F_n)} = \\ = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{F_i x_i}{F},$$

где t — толщина однородной пластины;

F_1, F_2, F_n — площади отдельных частей, составляющих сечение;

x_1, x_2, x_n — координаты ЦТ этих частей, относительно выбранной системы координат;

F — площадь сечения.

Таким образом, для определения ЦТ плоского сечения одинаковой толщины необходимо и достаточно расчленить заданную поверхность на такие части, для которых площади и ЦТ заранее известны или приведены в справочниках. К таким фигурам относятся прямоугольники, треугольники, круги, кольца, секторы, сегменты. Формулы для определения площадей и ЦТ наиболее распространенных фигур приведены в раннем нашем издании (см. *Рывин В. Я.* Конструирование и расчет театральных декораций. Л., 1982, Приложение 14, с. 121—123. Далее КиРТД).

ЦТ всей составной фигуры определится по формулам:

$$x_c = \frac{\sum F_l y_l}{F}; \quad (4)$$

$$y_c = \frac{\sum F_l x_l}{F}. \quad (5)$$

Координата $z_c = 1/2t$, потому что удалена от поверхности однородной пластины на половину ее толщины.

В числителе формул 4 и 5 находится величина, называемая статическим моментом фигуры. В справочниках ее обозначают обычно S с добавлением индекса оси, относительно которой эта величина вычислена. Так, статический момент фигуры относительно оси y вычисляется и записывается: $S_y = \sum F_l x_l$, а относительно оси x : $S_x = \sum F_l y_l$.

$$x_c = \frac{\sum F_l x_l}{F} = \frac{S_y}{F}; \quad (6)$$

$$y_c = \frac{\sum F_l y_l}{F} = \frac{S_x}{F}. \quad (7)$$

Следовательно, под статическим моментом плоской фигуры понимают сумму произведений площадей отдельных фигур на расстояние от ЦТ этих фигур до той оси, относительно которой вычисляется этот статический момент фигуры.

Статические моменты плоской фигуры имеют размерность см^3 и могут быть положительными, отрицательными и равными нулю. В нуль статические моменты превращаются в тех случаях, когда ЦТ всей фигуры будет лежать на заданной оси. В самом деле, если предположить $x_c = 0$, то

$$x_c = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{S_y}{F} = 0$$

и отсюда следует, что

$$S_y = F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n = 0.$$

Свойство статических моментов принимать нулевые значения при совпадении оси с ЦТ фигуры, следует запомнить, потому что его можно использовать при определении ЦТ любых сечений театральные декораций, а также при создании эффектов на сцене.

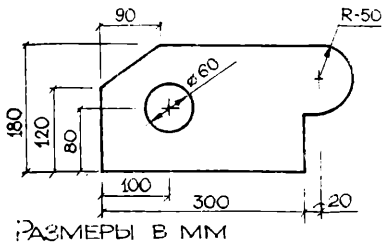
Определение координат ЦТ плоских фигур рекомендуется вести в следующем порядке, который поясним на примерах. Для удобства все вычисления можно свести в таблицы. Образцы оформления самостоятельных заданий, включая таблицы, приведены на рис. 7, 8, 9. Исходные данные для выполнения самостоятельных работ приведены в Приложениях III, IV, V.

Пример. Определить координаты ЦТ фигуры, изображенной на рис. 7.

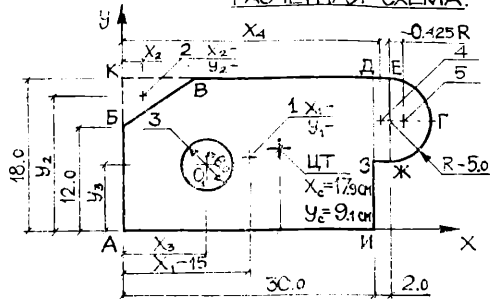
Решение. 1. Заданная фигура разбивается на минимальное число элементарных частей такой формы, чтобы их площади и

Для заданной фигуры определить координаты центра тяжести

Исходные данные:



Расчетная схема:



№ ЭЛЕМЕНТА п/п	ПЛОЩАДИ ЭЛЕМЕНТОВ F_i см ²	КООРДИНАТЫ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСЕЙ		СТАТИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ ПЛОЩАДИ ЭЛЕМЕНТОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ПРИНЯТЫХ ОСЕЙ		ВЫЧИСЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ И КООРДИНАТ ИХ ЦТ ПРИМЕЧАНИЯ, РАСЧЕТЫ
		X_i	Y_i	$S_y = F_i \cdot X_i$	$S_x = F_i \cdot Y_i$	
1	2	3	4	5	6	7
1	540,0	15,0	9,0	8100,0	4860,0	$F_1 = 30 \times 18 = 540$ $X_1 = \frac{30}{2} = 15,0$ $Y_1 = \frac{18}{2} = 9,0$
2	-27,0	3,0	16,0	-63,0	-432,0	$F_2 = 0,5 \cdot 60 \cdot 0,9 = 2,7$ $X_2 = \frac{1}{3} \cdot 9 = 3,0$ $Y_2 = 12 + \frac{2}{3} \cdot 6 = 16,0$
3	-28,3	10,0	8,0	-288,5	-226,0	$F_3 = 0,785 \cdot d^2 = 0,785 \cdot 6^2 = 28,3$
4	20,0	31,0	13,0	620,0	260,0	$F_4 = 2 \times 10 \times 20$ $X_4 = 30 + \frac{2}{2} = 31,0$ $Y_4 = Y_5 = 18,0 - 5,0 = 13,0$
5	39,3	34,13	13,0	1339,6	510,9	$F_5 = \frac{\pi R^2}{4} = 1,57 \cdot R^2 = 157 \cdot 5^2 = 39,25$ $X_5 = 30 + 2 + 0,425 R$
$F = 544,0$		—	—	9744,1	4972,9	—
$X_c = \frac{S_y}{F} = \frac{9744,1}{544,0} = 17,87 \text{ см.}; Y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{4972,9}{544,0} = 9,14 \text{ см.}$						

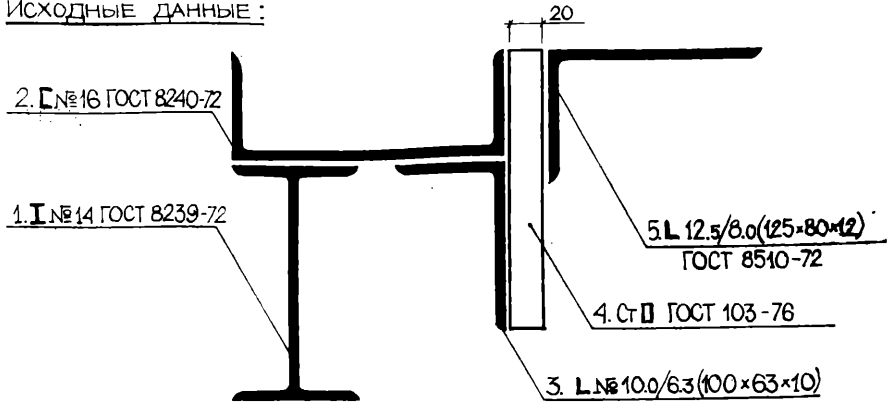
РАСЧЁТЫ ПРОИЗВЕЛ: // //

РАСЧЁТЫ ПРОВЕРИЛ: // //

198...г.

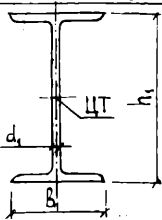
Рис. 7

ОПРЕДЕЛИТЬ ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ ЗАДАННОГО СЕЧЕНИЯ, СОСТАВЛЕННОГО ИЗ ПРОКАТЫХ ПРОФИЛЕЙ.
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ :



Выписки из ГОСТ :

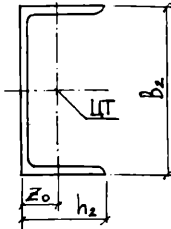
1. $I \text{ № } 14 \text{ ГОСТ } 8239-72$



$$\begin{aligned} h_1 &= 140 \text{ мм}; \\ b_1 &= 73 \text{ мм}; \\ d_1 &= 4,9 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_1 &= 17,4 \text{ см}^2; \\ q_1 &= 13,7 \text{ кг/пог.м}; \\ \text{ЦТ} &\text{ - ОСИ СИММЕТРИИ} \end{aligned}$$

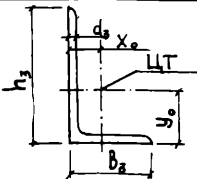
2. $C \text{ № } 16 \text{ ГОСТ } 8240-72$



$$\begin{aligned} b_2 &= 160 \text{ мм}; \\ h_2 &= 64 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= 18,1 \text{ см}^2; \\ q_2 &= 14,2 \text{ кг/пог.м}; \\ z_o &= 1,80 \text{ см}. \end{aligned}$$

3. $L \text{ № } 10/6.3 (100 \times 63 \times 10) \text{ ГОСТ } 8510-72$

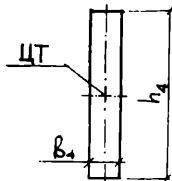


$$\begin{aligned} h_3 &= 100 \text{ мм}; \\ b_3 &= 63 \text{ мм}; \\ d_3 &= 10 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_3 &= 15,50 \text{ см}^2; \\ q_3 &= 12,10 \text{ кг/пог.м}; \\ x_o &= 1,58; \quad y_o = 3,40 \text{ см}. \end{aligned}$$

Рис. 8 а

4. Полоса стальная ГОСТ 103-76 ;



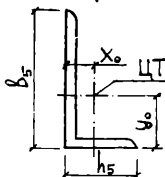
$$b_4 = 20 \text{ мм. ;}$$

$$h_4 = h_2 + h_3 = 64 + 100 = 164 \text{ мм. ;}$$

$$F_4 = b_4 \cdot h_4 = 16,4 \cdot 20 = 32,8 \text{ см}^2 ;$$

$$q_4 = q(80 \times 20) + q(85 \times 20) = 12,56 + 13,35 = 25,91 \text{ кг/пог.м.}$$

5. L № 12.5/8.0 (125×80×12) ГОСТ 8510-72 ;

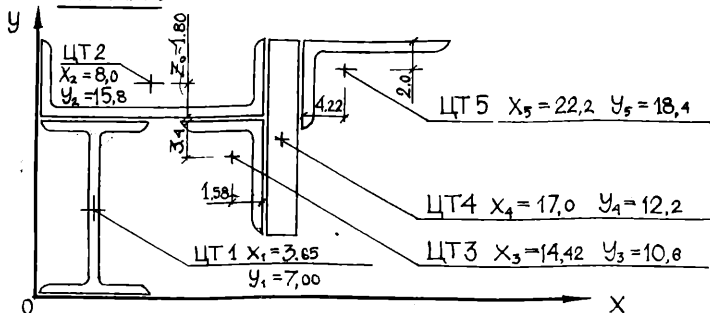


$$b_5 = 125 \text{ мм. ;} \quad F_5 = 23,40 \text{ см}^2 ;$$

$$h_5 = 80 \text{ мм. ;} \quad q_5 = 18,30 \text{ кг/пог.м. ;}$$

$$d_5 = 12 \text{ мм ;} \quad x_0 = 2,0 ; \quad y_0 = 4,22 \text{ см.}$$

РАСЧЁТНАЯ СХЕМА :



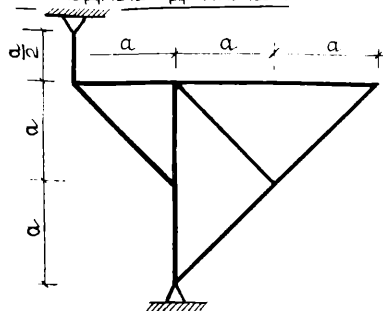
№ ЭЛ. П/П	F _л см ²	КООРДИНАТЫ ЦТ		СТАТИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ		ПРИМЕЧАНИЯ, РАСЧЁТЫ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ СЕЧЕНИЯ
		X _л см	Y _л см	S _y см ³	S _x см ³	
1.	17,4	3,65	7,0	63,5	121,8	$x_1 = \frac{b_1}{2} = \frac{z_0}{2} = 3,65 ; y_1 = \frac{h_1}{2} = \frac{14}{2} = 7,0 ;$
2.	18,1	8,0	15,8	144,8	286,0	$x_2 = \frac{b_2}{2} = 8,0 ; y_2 = h_1 + z_0 = 14,0 + 1,8 = 15,8 ;$
3.	15,5	14,42	10,6	223,5	164,3	$x_3 = b_2 - x_0 = 16,0 - 1,58 = 14,42 ; y_3 = h_1 - y_0 = 10,6 ;$
4.	32,8	17,0	12,2	557,6	400,2	$x_4 = b_2 + \frac{b_4}{2} = 17,0 ; y_4 = h_1 + h_2 - \frac{h_4}{2} = 12,2 ;$
5.	23,4	22,2	18,4	518,5	430,6	$x_5 = b_2 + b_4 + y_0 = 22,2 ; y_5 = h_1 + h_2 - x_0 = 18,4 ;$
F = 107,2		—	—	1509,0	1402,9	
q = 84,2		$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{1509,0}{107,2} = 14,08 ; y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{1402,9}{107,2} = 13,1 \text{ см.}$				

198. РАСЧЁТ ВЫПОЛНИЛ: / /

Рис. 86

Для заданной расчетной схемы конструкции определить центр тяжести при двух вариантах ее исполнения.

Исходные данные :



В 1 варианте $a = 1,0$ м и выполняется из стальных труб диаметром 25 мм со стенкой толщиной 1,5 мм.

Во втором варианте $a = 1,5$ м и стальные трубы диаметром 30 мм с толщиной стенки 1,0 мм.

Определить расход материалов, общий вес конструкции, отдавая предпочтение наиболее легкому.

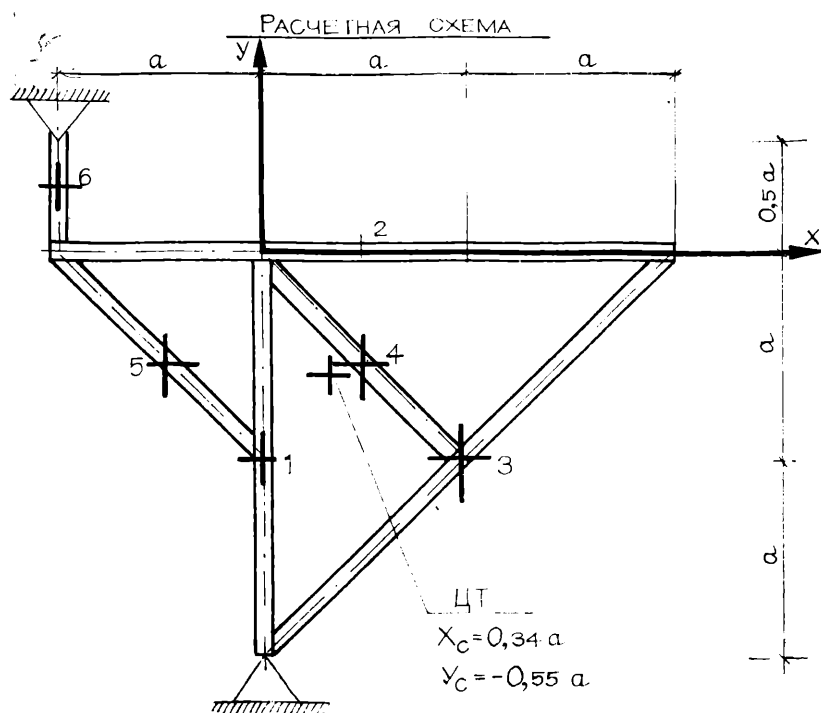


Рис. 9 а

№№ эл.	$L_i, \text{м}$	КООРДИНАТЫ ЦТ		$L_i X_i$	$L_i Y_i$	ПРИМЕЧАНИЯ
		$X_i, \text{м}$	$Y_i, \text{м}$			
1	2	3	4	5	6	7
1	2а	0,0	-а	0,0	-2а ²	$l_1 = a + a = 2a$
2	3а	0,5а	0,0	1,5а ²	0,0	$l_2 = 3a; X_2 = \frac{3a}{2} - a$ $Y_2 = 0$
3	2,83а	а	-а	2,83а ²	-2,83а ²	$l_3 = \sqrt{(2a)^2 + (2a)^2} = a\sqrt{8} =$ $= 2,83 a$
4	1,41а	0,5а	-0,5а	0,71а ²	-0,71а ²	$l_4 = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2} = 1,41 a$
5	1,41а	-0,5а	-0,5а	-0,71а ²	-0,71а ²	$l_5 = l_4 = 1,41 a$
6	0,5а	-а	0,25а	-0,5а ²	0,13а ²	
$L = 11,14а$		-	-	3,83а ²	-6,12а ²	
		$X_C = \frac{3,83 a^2}{11,14 a} = 0,34 a$		$Y_C = \frac{-6,12 a^2}{11,14 a} = -0,55 a$		

I ВАРИАНТ. $a = 1,0 \text{ м}$, ТРУБА $\varnothing 25 \times 23, S = 1,5 \text{ мм}$; $q = 0,9 \frac{\text{кг}}{\text{п.м}}$;
 $F = 1,11 \text{ см}^2$. СМ. ПРИЛОЖЕНИЕ 14 И 15, СТР. 119, 120 КИРГД

$$X_C = 0,34 \cdot 1,0 = 0,34 \text{ м}; Y_C = -0,55 \cdot 1,0 = -0,55 \text{ м}.$$

РАСХОД ТРУБ $L = 11,14 \times 1,0 \approx 11,2 \text{ м}$. ВЕС (МАССА) ТРУБ $11,2 \times 0,9 = 10 \text{ кг}$.

II ВАРИАНТ. $a = 1,5 \text{ м}$, ТРУБА $\varnothing 30 \times 28, S = 1,0 \text{ мм}$; $q = 0,85 \frac{\text{кг}}{\text{п.м}}$;
 $F = 0,91 \text{ см}^2$.

$$X_C = 0,34 \cdot 1,5 = 0,51 \text{ м}; Y_C = -0,55 \cdot 1,5 = -0,83 \text{ м}.$$

РАСХОД ТРУБ $L = 11,14 \cdot 1,5 = 16,7 \text{ пог. м}$;

МАССА ТРУБ $G = 16,7 \cdot 0,85 = 14,2 \text{ кг}$.

По условиям задания приняты I ВАРИАНТ.

РАСЧЕТ ПРОИЗВЕЛ _____

” _____ 198—г _____/

Рис. 96

координаты ЦТ были заранее известны, например, прямоугольники, треугольники, круги, полукруги. Следует помнить, что ЦТ треугольника расположен на расстоянии $\frac{1}{3}$ высоты, считая от основания, а ЦТ полукруга — на расстоянии $0,425 R$ от центра круга.

Разбиваем фигуру на 5 частей: прямоугольник АКДИ; треугольник БВК, дополняющий первую часть до прямоугольника; круг с центром O_1 ; прямоугольник ДЕЖЗ; полукруг ЕГЖ.

2. Проводятся оси координат, которые рекомендуется вести по контуру фигуры либо по осевым линиям.

3. Определяются площадь и координаты ЦТ каждой элементарной фигуры в выбранной системе координат. Вычисления площади и координат ведутся в см.

$$F_2 = 30 \times 18 = 540 \text{ см}^2.$$

$$F_2 = \frac{1}{2} \times 9,0 \times 6,0 = 27,0 \text{ см}^2.$$

$$F_3 = 0,875 \times 6,0^2 = 28,26 \text{ см}^2.$$

$$F_4 = 2,0 \times 10,0 = 20,00 \text{ см}^2.$$

$$F_5 = 0,785 \times 0,5 \times 10,0^2 = 39,25 \approx 39,3 \text{ см}^2.$$

Оси ЦТ каждой фигуры фиксируются на схеме. Вычисляем их координаты:

$$x_1 = \frac{30}{2} = 15,0 \text{ см},$$

$$x_2 = \frac{1}{3} \times 9,0 = 3,00 \text{ см},$$

$$x_3 = 10,0 \text{ см},$$

$$x_4 = 30,0 + 1,0 = 31,00 \text{ см},$$

$$x_5 = 30,0 + 2,0 + 0,425 \times 5,0 = 34,125 = 34,13 \text{ см},$$

$$y_1 = 18,0/2 = 9,00 \text{ см},$$

$$y_2 = 12,0 + \frac{2}{3} \times 6,0 = 16,0 \text{ см},$$

$$y_3 = 8 \text{ см},$$

$$y_4 = 18,0 - 5,0 = 13,00 \text{ см},$$

$$y_5 = 18,0 - 5,0 = 13,00 \text{ см}.$$

4. Полученные расчетом данные и все дальнейшие вычисления сводятся в таблицу, причем несуществующим площадям и отверстиям присваивается отрицательный знак. Из таблицы рис. 7 видно, что суммируя площади элементов с их знаками (итоги графы 2), получаем общую площадь заданной фигуры. Перемножая площади элементов на координаты их ЦТ, в принятой системе осей вычисляем статические моменты элементов. Суммирование отдельных статических моментов (итоги граф 5 и 6) определяет статические моменты площади заданной фигуры относительно осей Ax и Ay . Применяя формулы 6 и 7, определяем координаты ЦТ всей заданной фигуры.

Если фигура, например, сечение балки, составлена из стандартных профилей (уголков, тавров, двутавров, швеллеров и т. п.), то ЦТ ее легко определяется с использованием данных ГОСТов. Рассмотрим пример решения подобных задач (рис. 8 а, б).

Ход решения аналогичен предыдущей задаче, т. е. после изображения сечения в произвольном масштабе, нумерации профилей и проведения осей координат производим выписки из ГОСТов, уточнив необходимые геометрические размеры, площадь, координаты ЦТ и массу 1 пог. м профиля. Особенно внимательно

нарушить достигнутое с таким трудом равновесие. В подобных случаях говорят о потере телом устойчивости.

Для безопасной работы персонала на сцене и для грамотной эксплуатации самих декораций весьма важно обеспечить заранее заданную устойчивость декораций. Для этого необходимо овладеть методикой расчетов театральных декораций на устойчивость, но сначала — теоретическими предпосылками этой методики.

§ 1. Понятие об устойчивости равновесия тел

В главе I уже указывалось, что если на конструкцию (тело) не воздействуют никакие посторонние силы, то все равно рассматриваемое тело будет находиться под воздействием хотя бы собственного веса — силы тяжести. Рассмотрим условия равновесия шарика весом G на плоскости, показанной на рис. 10. Поверх-

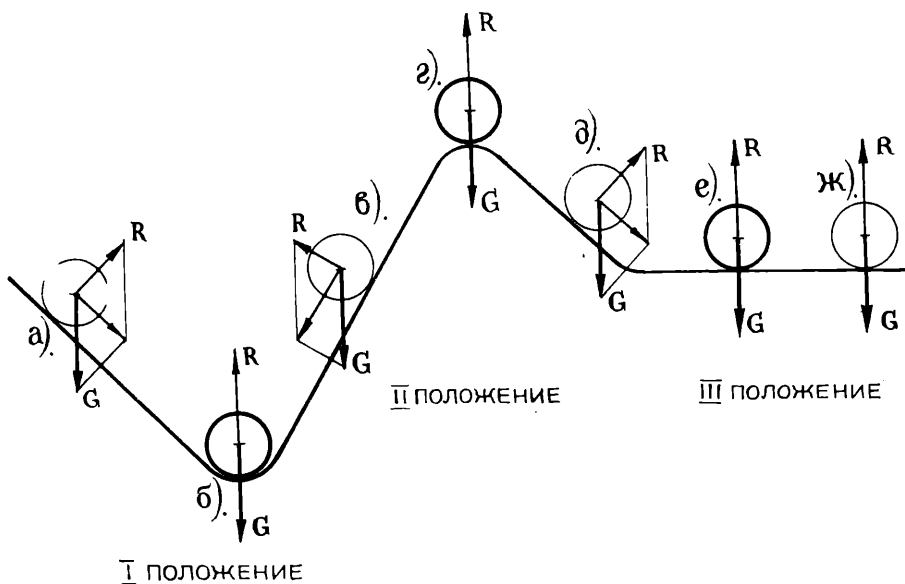


Рис. 10

ность, на которой находится шарик, представляет собой сочетание вогнутой, выпуклой и ровной плоскостей. Если пренебречь трением между шариком и поверхностью, то под воздействием силы тяжести шарика G возникает реакция поверхности R , которая должна быть направлена по нормали к этой поверхности в точке соприкосновения шарика и плоскости.

Из рис. 10 видно, что имеются три основных случая расположения шарика, когда силы G и R равны по величине и противоположны по направлению и, следовательно, шарик должен на-

ходиться в равновесии (рис. 10 б, г, е). Но все эти случаи весьма различны между собой.

В первом случае (рис. 10 б, «в яме») положение шарика есть устойчивое равновесие, потому что при отклонении шарика из этого положения, т. е. при нахождении шарика на наклонных плоскостях (рис. 10 а, в, д), силы G и R будут действовать не только по прямой, но еще создадут равнодействующую силу, не равную нулю, которая неизменно будет возвращать шарик в первоначальное положение. Следовательно, равновесие тела называется устойчивым, если после полученного им малого отклонения от первоначального положения, тело возвращается в это положение.

Во втором случае, когда шарик находится на выпуклой поверхности (рис. 10 г, «на горе»), то при малейшем отклонении от этого положения нарушается равновесие между силами G и R , и шарик неумолимо скатывается вниз, все больше и больше отходя от своего первоначального положения. Предсказать заранее, в какую сторону произойдет движение шарика, невозможно. Итак, равновесие тела называется неустойчивым, если в результате полученного им малого отклонения от первоначального положения равновесия тело уже не возвращается в это положение.

В третьем случае шарик находится на горизонтальной плоскости (рис. 10 е, ж), и приложенные к нему силы G и R остаются уравновешенными при любом перемещении шарика. Равновесие, которое сохраняется при малом отклонении тела от первоначального положения, называется безразличным.

При создании театральных декораций требуется понимание всех состояний равновесия тел. Но в первую очередь необходимо научиться правильно оценивать и обеспечивать расчетами устойчивое положение тела.

§ 2. Обеспечение устойчивости конструкций, имеющих точечную опору, ось вращения или опирающихся на плоскость

Шарик на гладкой поверхности имел одну точку опоры. В практике чаще встречаются конструкции, имеющие либо неподвижную ось вращения (ворота, калитки, вращающиеся подвесные или напольные стенки, клапаны и т. д.), либо декорации, опирающиеся на плоскость (станки или башни на планшете). Рассмотрим устойчивость таких тел.

Устойчивость тел, имеющих одну точку опоры, легче всего продемонстрировать на игрушке кукла-невалейка, которая при отклонении рукой в любом направлении снова встает, покачиваясь, в вертикальное положение. Этот эффект достигается созданием криволинейного основания куклы и понижением ее ЦТ (легкий верх, утяжеленный низ). На рис. 11 показан принцип действия куклы и видно, что при отклонении куклы рукой от вертикали, ее

ЦТ поднимается, создавая положение неустойчивого равновесия. При снятии усилия руки под воздействием момента сил $M=Q \times \times b$ кукла выпрямляется, проскакивает по инерции вертикальное положение, возвращается и с затухающей амплитудой нескольких покачиваний снова обретает устойчивое равновесие.

На этом принципе в театре обычно создаются эффекты «покачивания на воде», «палубы корабля», «качание самолета», движение лодки или плота по реке, телеги или грузовика по дороге. Примеры расчета на устойчивость качающихся конструкций приведены в главе III.

Устойчивость тел, имеющих неподвижную ось вращения, проще всего продемонстрировать, используя обычную линейку или брусок, так как положение их ЦТ известно. Рассмотрим поведение бруска при трех положениях неподвижной оси OO_1 — верхнем, нижнем и среднем, проходящем через ЦТ бруска (рис. 12).

При верхнем расположении оси OO_1 и отклонении бруска от положения равновесия ЦТ поднимается (рис. 12 а) и отходит от вертикали, при этом сила тяжести Q создает относительно неподвижной оси OO_1 момент, численно равный $Q \times b$ и направленный так, чтобы возратить тело в прежнее положение. При нижнем расположении оси OO_1 наоборот — отклонение бруска из положения равновесия создает момент $Q \times b$, направленный так, чтобы удалить тело от первоначального положения (рис. 12 б). Наконец, при среднем положении оси вращения OO_1 , совпадающем с ЦТ бруска (рис. 12 в), сила тяжести Q не может создать момента сил относительно оси, так как плечо силы $b=0$.

Следовательно, равновесие тела, имеющего точку опоры или ось вращения, будет:

устойчивым, когда ЦТ занимает самое низкое из всех возможных для него соседних положений. Это свойство используется в практике определения ЦТ конструкций (см. Приложение VI),

неустойчивым, когда ЦТ занимает самое высокое из этих положений,

безразличным, когда высота ЦТ при всех положениях тела остается неизменной.

Устойчивость тела, опирающегося на плоскость, рассмотрим на примере обычного театрального станка (рис. 13 а), установленного на горизонтальном планшете сцены. Такую конструкцию можно представить себе как прямоугольный параллелепипед на плоскости (рис. 13 б). Проанализируем устойчивость такого тела и выработаем критерии оценки устойчивости подобных конструкций.

Если приложить к рассматриваемому телу силу P на высоте h (рис. 13, I), то при определенном опрокидывающем моменте $M_{\text{опр}} = P \times h$ тело начнет поворачиваться вокруг ребра AE . Очевидно, что чем больше вес тела, тем большая потребуется сила P или высота h . Кроме того, на требуемые величины P и h будет

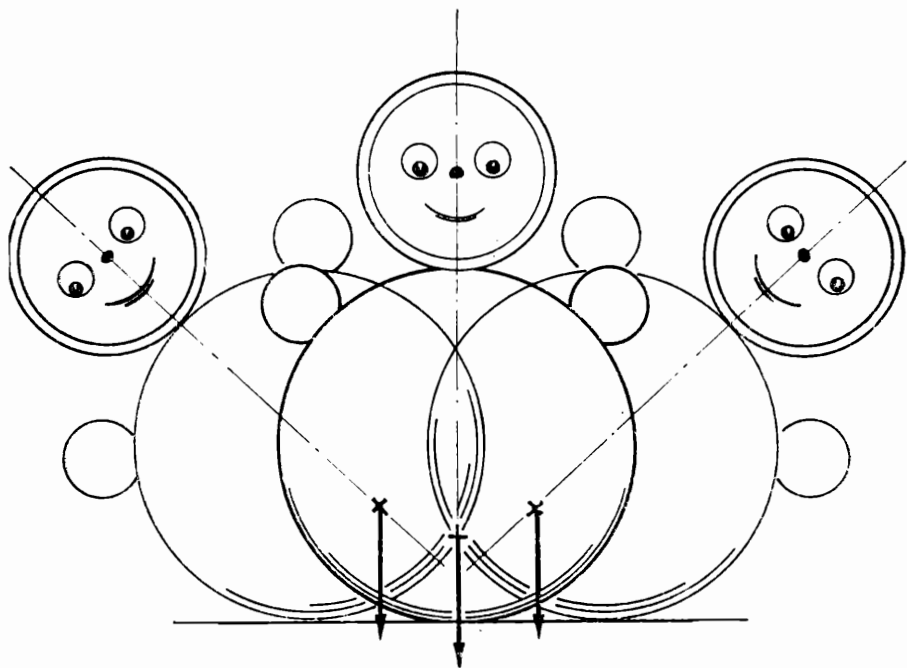


Рис. 11

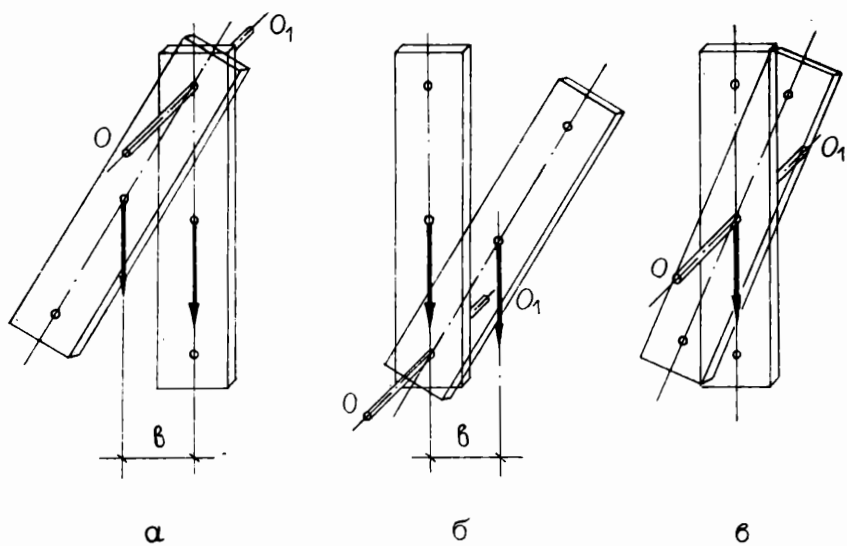


Рис. 12

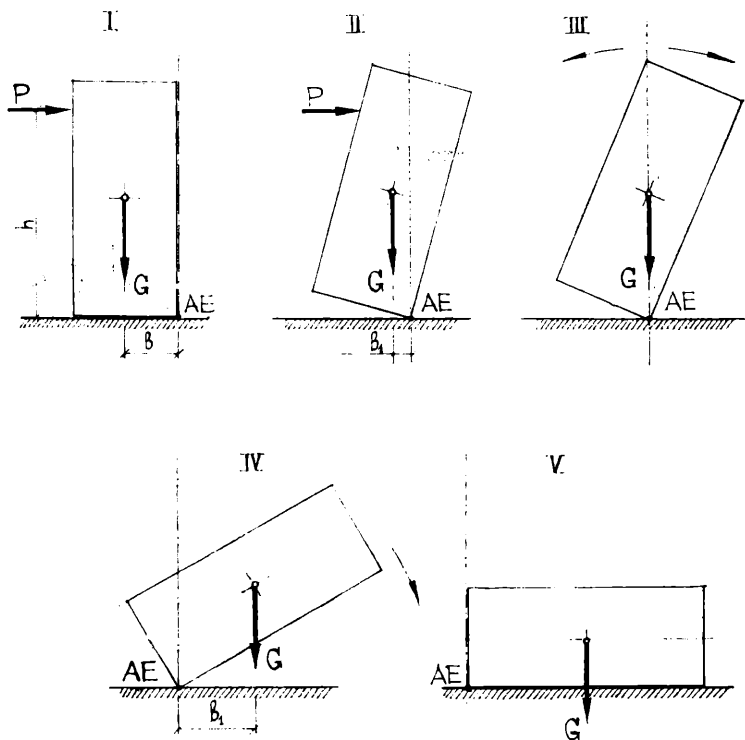
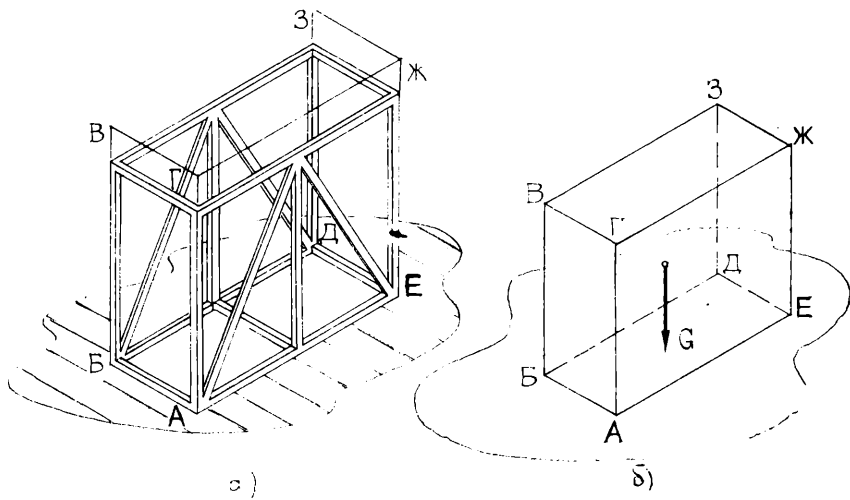


Рис. 13

влиять и расстояние b , являющееся плечом силы тяжести и также создающее момент $M_{\text{удерж.}} = G \times b$, удерживающий тело от поворота.

Рассматривая поворот тела, например, во II положении, отметим, что сила тяжести G дает относительно оси поворота ребра АЕ момент, стремящийся возвратит тело в прежнее положение, однако величина этого удерживающего момента $M_{\text{удерж.}} = G \times b_1$ уменьшается пропорционально плечу b_1 .

В III положении линия действия силы тяжести пересекает ось опоры, и момент силы тяжести будет равен нулю. При этом тело, если устранить действие силы P , с одинаковой вероятностью может вернуться в прежнее положение, а может и перевернуться, потеряв устойчивость. В IV положении сила тяжести тела создаст опрокидывающий момент, и потеря устойчивости будет происходить до приобретения телом нового положения устойчивости (V положение на рис. 13). Итак, только в I и II положениях тело обладает заданной устойчивостью, т. е. способностью противостоять усилиям, стремящимся вывести его из исходного состояния равновесия.

В технической литературе различают динамическую и статическую устойчивость тел. Под динамической устойчивостью понимают способность тела возвращаться к первоначальному положению по прекращению действия на тело сил, нарушающих это равновесие. Динамическая устойчивость тела увеличивается с увеличением опорной площади тела и понижением его ЦТ. Лыжник, съезжая с горы, приседает, тем самым понижая свой ЦТ и повышая устойчивость, а за счет согнутых ног в коленях, работающих как пружины, перерабатывает толчки. При перевозках декораций для понижения ЦТ вниз укладываются более тяжелые, а сверху более легкие. Некоторые декорации, особенно обыгрываемые актерами, нужно конструировать таким образом, чтобы их равновесие вовсе не могло быть нарушено, т. е. необходимо обеспечить статическую устойчивость. Под статической устойчивостью понимают способность сопротивляться всякому, хотя бы и малому, нарушению равновесия тела. Оценка статического равновесия тел может быть произведена сопоставлением рабочего (фактического) коэффициента устойчивости с нормативным коэффициентом устойчивости.

Таким образом, для обеспечения устойчивости тел необходимо, чтобы моменты, удерживающие конструкцию, были больше моментов, ее опрокидывающих. Соотношение этих моментов, называемое коэффициентом устойчивости, может быть записано в виде формулы, как условие равновесия:

$$K_{\text{раб.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} \geq [K], \quad (10)$$

где $K_{\text{раб.}}$ — фактический коэффициент устойчивости; зависит от конкретных условий эксплуатации конструкции;

$M_{\text{удерж}}$. — сумма моментов сил, удерживающих конструкцию от опрокидывания; представляет собой сумму произведения этих сил на соответствующие плечи относительно возможной оси поворота тела;

$M_{\text{опр}}$. — сумма моментов сил, опрокидывающих конструкцию относительно той же возможной оси поворота тела;

[К] — нормативный коэффициент устойчивости; величина нормативного коэффициента устойчивости всегда больше единицы и устанавливается нормами на проектирование в зависимости от типов сооружений, их назначения, характера нагрузок и других факторов.

Для театральных декораций «Правилами техники безопасности для театров и концертных залов» установлен нормативный коэффициент устойчивости не менее 2.

Величина нормативного коэффициента устойчивости не является случайной, а отражает накопленный опыт работы конструкций в самых разнообразных условиях эксплуатации.

§ 3. Расчет устойчивости театральных декораций, расположенных на горизонтальной плоскости

Рассмотрим несколько практических расчетов на устойчивость театральных декораций на примере использования высокой фурки при различных условиях ее работы в спектакле на горизонтальном полу.

В первом случае (рис. 14) проверяется устойчивость фурки как передвижной декорации, способной сопротивляться опрокидыванию, когда она, подталкиваемая сзади рабочими сцены, внезапно наезжает передним катком на препятствие, например, брусок, кабель и т. п. При заданных условиях устойчивость фурки обеспечивается высоким $K_{\text{факт.}} = 2,45$, что и препятствует опрокидыванию.

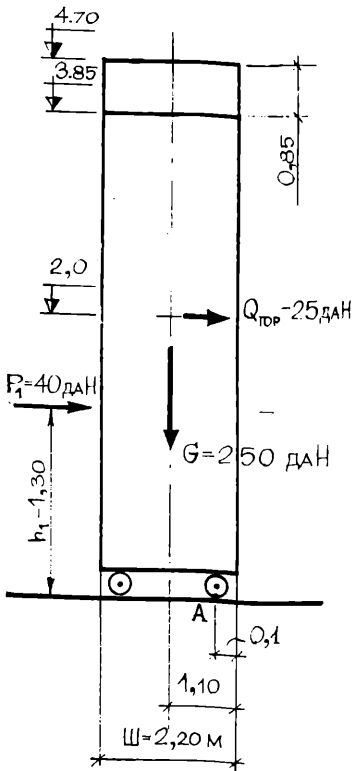
Во втором случае (рис. 15) неподвижная фурка обыгрывается актером, и из расчета видно, что несмотря на горизонтальные толчки, передающиеся от актера фурке, ее устойчивость также обеспечивается. Потери устойчивости не произойдет, если в исходных данных была допущена недооценка величины горизонтального импульса. Ведь если его величина даже удвоится, то и тогда устойчивость фурки сохранится, так как $K_{\text{факт.}} = 1,3$. Кроме того, неподвижная фурка может легко и быстро дополнительно раскрепляться откосами, оттяжками и другими фиксаторами. Вопросы надежного закрепления декораций гвоздями, стопорами и примеры расчета этих креплений приведены в КиРТД, с. 74—77.

В третьем случае (рис. 16) на движущейся фурке располагаются два актера, и их импульсы, передаваемые на фурку, обеспечивают фактический коэффициент устойчивости $K_{\text{раб.}} = 1,34$. В этих условиях достаточно случайного препятствия на ходу фурки, незначительного увеличения импульса актеров или усилий

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕКОРАЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: ОПРЕДЕЛИТЬ УСТОЙЧИВОСТЬ ФУРКИ, ПЕРЕМЕЩАЕМОЙ ВРУЧНУЮ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПЛАНШЕТУ СЦЕНЫ; ФУРКА ВЕСОМ 250 ДАН С ГАБАРИТАМИ ДШВ 2,5×2,20×4,7 м. ЦТ ФУРКИ НА ВЫСОТЕ 2,0 м ПО ОСИ СИММЕТРИИ. ОСИ КАТКОВ ПРЯМОГО ХОДА D=140 мм РАСПОЛОЖЕНЫ НА РАССТОЯНИИ 0,1 м ОТ ПЕРЕДНЕГО И ЗАДНЕГО КРАЕВ ФУРКИ. ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ УСИЛИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФУРКИ НЕ ПРЕВЫШАЕТ $P_1=40$ ДАН И ПРИЛОЖЕНО НА ВЫСОТЕ 1,30 м ОТ ПЛАНШЕТА СЦЕНЫ. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ПРИНЯТЬ 0,1 ОТ ВЕСА ФУРКИ.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА



РЕШЕНИЕ :

1. СОСТАВЛЯЕМ РАСЧЕТНУЮ СХЕМУ, НА КОТОРОЙ ФИКСИРУЕМ ОСНОВНЫЕ ГАБАРИТЫ, ЦЕНТРЫ ТЯЖЕСТИ КОНСТРУКЦИИ И ТОЧКИ ПРИЛОЖЕНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЗАДАННЫХ СИЛ.

2. ЗА ТОЧКУ ОПРОКИДЫВАНИЯ ПРИНИМАЕМ ТОЧКУ А — ТОЧКУ ОПИРАНИЯ КАТКА НА ПЛАНШЕТ.

3. ОПРЕДЕЛЯЕМ ПЛЕЧИ ДЛЯ ВСЕХ УДЕРЖИВАЮЩИХ И ОПРОКИДЫВАЮЩИХ МОМЕНТОВ.

4. ОПРЕДЕЛЯЕМ ФАКТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКЦИИ.

$$K_{\text{ФАКТ}} = \frac{M_{\text{УДЕРЖ}}}{M_{\text{ОПР}}} = \frac{250}{102} = 2,45 ;$$

$$\text{ГДЕ } M_{\text{УДЕРЖ}} = G \cdot (1,1 - 0,1) = 250 (1,1 - 0,1) = 250 \text{ ДАНМ} ;$$

$$M_{\text{ОПР}} = P_1 h_1 + Q_{\text{ТОР}} h_2 = 40 \times 1,3 + 0,1 \cdot 250 \cdot 2,0 = 52 + 50 = 102 \text{ ДАНМ} .$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ. ИЗ ПРИВЕДЕННОГО РАСЧЕТА ВИДНО, ЧТО ПРИ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ (ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ФУРКИ ВРУЧНУЮ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПЛАНШЕТУ С УСИЛИЕМ ДО 40 ДАН, ПРИЛОЖЕННОГО НА ВЫСОТЕ НЕ БОЛЕЕ 1,3 м) УСТОЙЧИВОСТЬ ФУРКИ В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ПТВ ДЛЯ ТЕАТРОВ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ, И ДЕКОРАЦИЯ МОЖЕТ БЫТЬ ДОПУЩЕНА К ЭКСПЛУАТАЦИИ.

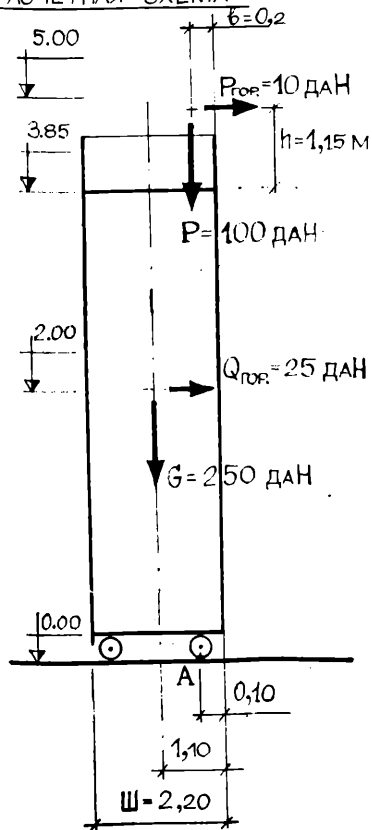
Рис. 14

ПРИМЕР.

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕКОРАЦИИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: Определить устойчивость неподвижной фурки на горизонтальном планшете сцены при обигрывании ее одним актером, находящимся на верхнем настиле на отм. 3,85 м. Расчетный вес актера принять $P = 100$ даН, величину горизонтального импульса 0,1 от веса.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА



РЕШЕНИЕ:

1. АКТЕР СТОИТ У ПЕРЕДНЕЙ КРОМКИ ОГРАЖДЕНИЯ. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЗЫ ПО ПРИЛОЖЕНИЮ II ПРИНИМАЕМ $h = 1,15$ м, $b = 0,2$ м, НАНОСИМ КООРДИНАТЫ ЦТ АКТЕРА НА РАСЧЕТНУЮ СХЕМУ.

2. ИЗ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ОПОКИДЫВАНИИ ФУРКИ ОТНОСИТЕЛЬНО ТОЧКИ А ОПРЕДЕЛЯЕМ РАБОЧИЙ ФАКТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ:

$$K_{\text{ФАКТ}} = \frac{M_{\text{УДЕРЖ}}}{M_{\text{ОПР}}} = \frac{260}{100} = 2,6;$$

$$\text{ГДЕ } M_{\text{УДЕРЖ}} = G \cdot (1,1 - 0,1) + P \cdot (b - 0,1) = 250 \cdot 1,0 + 100 \cdot 0,1 = 260 \text{ даНм};$$

$$M_{\text{ОПР}} = Q_{\text{ГОР}} \cdot 2,0 + P_{\text{ГОР}} \cdot 5,0 = 25 \cdot 2,0 + 0,1 \cdot 100 \cdot 5,0 = 100 \text{ даНм};$$

ИЗ ПРИВЕДЕННОГО РАСЧЕТА ВИДНО, ЧТО $K_{\text{ФАКТ}} = 2,6 > [K] = 2,0$.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, УСТОЙЧИВОСТЬ ФУРКИ ПРИ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЕСПЕЧИВАЕТСЯ.

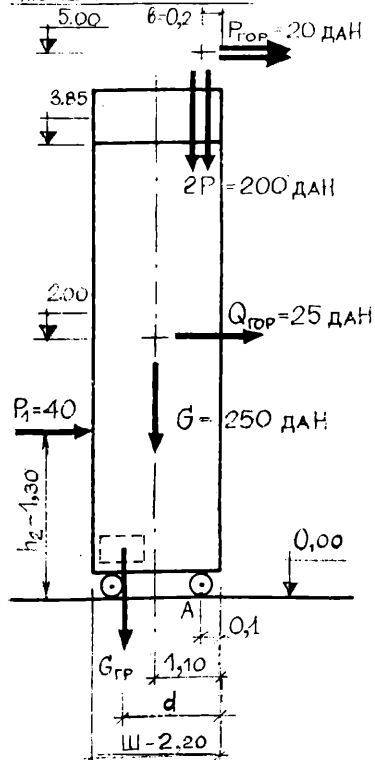
Рис. 15

ПРИМЕР

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ДЕКОРАЦИИ.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ: ОПРЕДЕЛИТЬ УСТОЙЧИВОСТЬ ФУРКИ, ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПЛАНШЕТУ СЦЕНЫ ПРИ ОБЫГРЫВАНИИ ЕЕ ДВУМА АКТЕРАМИ, НАХОДЯЩИМИСЯ НА НАСТИЛЕ НА ОТМ. 3,85 м У ПЕРЕДНЕГО ОГРАЖДЕНИЯ. ВЕЛИЧИНА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ИМПУЛЬСА Q_1 ОТ ВЕСА.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА



РЕШЕНИЕ:

1. ПРИНИМАЕМ ЦТ АКТЕРОВ $h=1,15$ м; $b=0,2$ м;
2. НАНОСИМ ПОЛОЖЕНИЕ ЦТ АКТЕРОВ И ДРС.ИЛ. ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОНСТРУКЦИЮ, НА СХЕМУ. НАМЕЧАЕМ ТОЧКУ Ось ВОЗМОЖНОГО ОПРОКИДЫВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ А.

3. ОПРЕДЕЛЯЕМ КОЭФФИЦИЕНТ ФАКТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФУРКИ ПРИ ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ:

$$K_{\text{ФАКТ.}} = \frac{M_{\text{УДЕРЖ.}}}{M_{\text{ОПР.}}} = \frac{270}{202} = 1,34,$$

$$\text{ГДЕ } M_{\text{УДЕРЖ.}} = G(1,1 - Q_1) + 2R(0,2 - Q_1) = 250 \cdot 1,0 + 2 \cdot 100 \cdot Q_1 = 270 \text{ ДАНМ};$$

$$M_{\text{ОПР.}} = Q_1 \cdot G \cdot 2,0 + 20 \times 5,0 + R_1 1,3 = 50 + 100 + 52 = 202 \text{ ДАНМ};$$

При $K_{\text{ФАКТ.}} = 1,34 < [K] = 2,0$ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ФУРКИ НЕДОПУСТИМА, ТАК КАК СЛУЧАЙНЫЙ ТОЛЧОК, НАПРИМЕР, ПРЕПЯТСТВИЕ, ПОВЫШЕННЫЙ ИМПУЛЬС АКТЕРОВ ИЛИ УСИЛИЕ РАБОЧИХ, МОГУТ ВЫЗВАТЬ ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ. ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ УСТОЙЧИВОСТИ /НЕ МЕНЕЕ 2/ НЕОБХОДИМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ УДЕРЖИВАЮЩИЙ МОМЕНТ, ВЕЛИЧИНА КОТОРОГО СОСТАВИТ $M_{\text{УДЕРЖ.}} + M_{\text{УДЕРЖ.}}^{\text{ДОП.}} \geq [K] \cdot M_{\text{ОПР.}}$

ТОГДА $M_{\text{УДЕРЖ.}}^{\text{ДОП.}} \geq [K] \cdot M_{\text{ОПР.}} - M_{\text{УДЕРЖ.}} = 2 \times 202 - 270 = 135$ ДАНМ. МИНИМАЛЬНЫЙ ВЕС ГРУЗОВ ПРИ ВОЗМОЖНОМ ПЛЕЧЕ α ОТ 1,5 ДО 2,0 МЕТРОВ СОСТАВИТ: $d = 1,5$ м, $G = 135/1,5 = 90$ ДАН ИЛИ ПРИ ВЕСЕ 1 ПЛИТКИ ГРУЗА 8,0 ДАН ~ 12 ШТУК. ПРИ ПЛЕЧЕ $d = 2,0$ м ВЕС ГРУЗОВ СОСТАВИТ $135/2,0 = 67,5 : 8 \approx 9$ ШТ. ПРИНИМАЕМ РЕШЕНИЕ: В НИЖНЕМ ОСНОВАНИИ ФУРКИ ПРЕДУСМОТРЕТЬ ЯЩИК ДЛЯ УКЛАДКИ 10 ШТ. ГРУЗОВ.

В ЭТОМ СЛУЧАЕ ФАКТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ ФУРКИ СОСТАВИТ 2,1.

Рис. 16

рабочих, перемещающих ее, и возникает риск потери устойчивости, что, естественно, недопустимо. Создание же страхующих устройств, движущихся вслед за фуркой под всеми штанкетами, весьма проблематично. В рассматриваемом примере (рис. 16) устойчивость фурки обеспечивается применением дополнительных грузов-противовесов. Именно расчеты на устойчивость позволяют оперативно и четко ответить на возникающие в практике вопросы — о минимальном, но достаточном количестве грузов-противовесов, их размещении в местах, удобных для работы монтажника, о конкретных мероприятиях по безопасности и т. п.

В принципе при создании таких декораций, при отсутствии возражений художника и режиссера спектакля, конструкторы стремятся к тому, чтобы катки выступали перед стенками, естественно маскируя эти опоры под выступающие «массивные бревна», «приступочки», «бережки». Кроме того, возможно понижение ЦТ фурки за счет распределения массы самой конструкции. В этих случаях резко увеличиваются удерживающие моменты и отсутствует необходимость в перетаскивании почти центнера грузов.

Рассмотренные примеры достаточно просты, так как устойчивость определялась для декораций, находящихся на горизонтальной плоскости, и координаты ЦТ и других точек приложенных сил являлись плечами моментов сил, а направления действия сил совпадали с направлением осей симметрии конструкции.

§ 4. Расчеты на устойчивость театральных декораций, расположенных на наклонной плоскости

Определение устойчивости декорации на наклонной плоскости является наиболее общим случаем этого вида расчетов, аккумулирующем в себе обширную методику по обоснованию не только устойчивости декораций и параметров их креплений, но и доказательности принимаемых проектных и эксплуатационных решений.

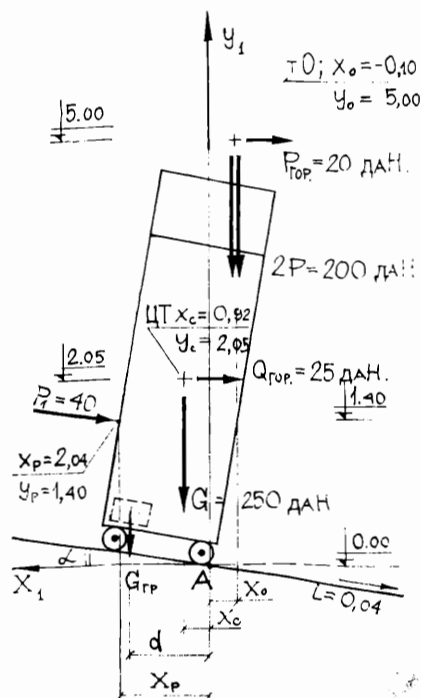
Расчет на устойчивость на наклонной плоскости рассмотрим, используя все исходные данные предыдущего примера, но расположим движущуюся фурку с двумя актерами на угле $i=0,04$. Расчетная схема на этот случай приведена на рис. 17, из которого видно, что по отношению к планшету сцены ничего не изменилось: ЦТ фурки и ЦТ актера, точки приложения сил и точка опрокидывания остаются неизменными по сравнению с рис. 16. Изменяются только линии действия сил тяжести тел, так как они всегда направлены вертикально, а импульсы от вертикальных сил направляются параллельно условной линии горизонта, проведенного через точку опрокидывания А. Отмечаем, что все действующие силы отклоняются на один и тот же угол α , соответствующий углу наклона. В зависимости от величины угла наклона α , изменяются

ПРИМЕР.

Расчёт устойчивости декорации.

Исходные данные: Определить устойчивость фурки, движущейся по наклонному планшету сцены $i = 0,04$ при обыгрывании её двумя актёрами, расположенными на отм. 3,85 м у переднего ограждения. Величина горизонтального импульса Q_1 от веса груза. Грузы-противовесы 15 шт. по 8 дАн./шт. расположены в 2,0 м от переднего катка.

Расчетная схема:



Решение:

1. Фурка располагается на горизонтальном планшете, на схему наносятся ЦТ конструкции, ЦТ актёров и др. действующих на фурку сил. В том числе горизонтальные усилия - импульсы. Намечается ось или точка опрокидывания конструкции /точка А/- см. расчетную схему на рис. 16.

2. Через точки А мысленно проводим вертикаль и горизонталь-оси X_1 и Y_1 . В этом положении фиксируются координаты всех сил - горизонтальные и вертикальные расстояния от точки А есть плечи моментов сил, удерживающих и опрокидывающих конструкцию.

3. Определяем координаты ЦТ и др. точек, приложенных к конструкции сил при заданном угле i или угле α . Тогда, ЦТ фурки - $x_c = 0,92$ м, $y_c = 2,05$ м.

Формулы перехода и расчеты в тексте. Точность расчета определяется практическими соображениями.

4. Определяем устойчивость конструкции:

$$K_{\text{факт.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} = \frac{470}{235} = 2,02 = [K] = 2,0$$

где $M_{\text{удерж.}} = G \cdot x_c + G_{\text{гр}} = 250 \cdot 0,92 + 15 \cdot 8 \cdot 2,0 = 230 + 240 = 470$ дАн.м;

$$M_{\text{опр.}} = Q_{\text{гр}} \cdot y_c + 2P \cdot x_0 + P \cdot y_p + Q_{\text{гр}} \cdot y_{\text{гр}} = 25 \cdot 2,05 + 2 \cdot 100 \cdot 0,1 + 20 \cdot 5 + 40 \cdot 1,1 + 15 \cdot 8 \cdot 0,1 \cdot 0,4 = 51,25 + 20,0 + 100,0 + 56 + 4,8 = 232,05 \approx 233$$
 дАн.м.

Рис. 17

плечи моментов сил, удерживающих и опрокидывающих конструкцию, их соотношение, т. е. устойчивость.

Величины «новых» плеч удерживающих и опрокидывающих моментов легко определяются либо графическим путем, либо аналитическим по формулам перевода координат при повороте осей на угол α :

$$\begin{aligned}x &= x_1 \cos \alpha - y_1 \sin \alpha; \\y &= x_1 \sin \alpha + y_1 \cos \alpha,\end{aligned}\quad (11)$$

где α — угол поворота осей из горизонтального в наклонное положение; тригонометрические функции углов до 15° , наиболее часто встречающихся в расчетах театральные декораций, приведены в Приложении VII;

x_1, y_1 — «старые плечи» удерживающих и опрокидывающих моментов (координаты ЦТ. и точек приложения сил при расположении конструкции на горизонтальной плоскости; за начало координат принимается точка опрокидывания А);

x, y — «новые плечи» удерживающих и опрокидывающих моментов.

В Приложении VII при $i=0,04$, $\alpha=2^\circ 17' 30''$, $\sin \alpha=0,039987$; $\cos \alpha=0,999200$. Определяем «новые плечи» для всех сил, действующих на конструкцию:

плечи для точки С — ЦТ фурки, стоящей на наклонной плоскости относительно точки опрокидывания:

$$x_c = x_i \cos \alpha - y_i \sin \alpha = 1,0 \times 0,99920 - 2,0 \times 0,39987 = 0,9992 - 0,08 = 0,9192 \approx 0,92 \text{ м};$$

$$y_c = x_i \sin \alpha + y_i \cos \alpha = 1,0 \times 0,039987 + 2,0 \times 0,99920 = 0,04 + 1,9984 = 2,04 \approx 2,05 \text{ м};$$

плечи для точки О — ЦТ актеров, стоящих на настиле фурки (отм. настила $3,85 \text{ м} + 1,15 \text{ м} = 5,0 \text{ м}$):

$$x_o = 0,1 \times 0,9992 - 5,0 \times 0,039987 = 0,1 - 0,199 = -0,10 \text{ м};$$

$$y_o = 0,1 \times 0,039987 + 5,0 \times 0,99920 = 0,004 + 4,996 = 5,0 \text{ м}$$

(знак минус для x_o означает, что силы 2Р проходят справа от точки А и из сил удерживающих стали силами опрокидывающими);

плечи для точки приложения силы Р₁:

$$x_p = 2,1 \times 0,9992 - 1,3 \times 0,039987 = 2,0983 - 0,05198 = 2,05 \text{ м};$$

$$y_p = 2,1 \times 0,039987 + 1,3 \times 0,9992 = 0,084 + 1,299 = 1,38 \approx 1,4 \text{ м};$$

плечи для грузов-противовесов:

$$x_{гр} = 2,0 \times 0,9992 - 0,30 \times 0,039987 = 1,998 - 0,012 = 1,99 \approx 2,0 \text{ м};$$

$$y_{гр} = 2,0 \times 0,039987 + 0,30 \times 0,9992 = 0,08 + 0,30 = 0,38 \approx 0,4 \text{ м}.$$

Координаты точек рекомендуется нанести на расчетную схему.

Определяем устойчивость конструкции:

$$K_{\text{факт.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} = \frac{390}{231,0} = 1,69 \approx 1,7,$$

$$\text{где } M_{\text{удерж.}} = G x_{\text{с}} + G_{\text{гр.}} x_{\text{гр.}} = 250 \times 0,92 + 10 \times 8 \times 2,0 = 230 + 160 = 390 \text{ даНм};$$

$$\begin{aligned} M_{\text{опр.}} &= Q_{\text{гор.}} y_{\text{с}} + 2 P x_{\text{о}} + P_{\text{гор.}} y_{\text{о}} + P_{\text{р}} y_{\text{р}} + Q_{\text{гр.}} y_{\text{гр.}} = \\ &= 25 \times 2,05 + 2 \times 100 \times 0,1 + 20 \times 5,0 + 40 \times 1,4 + \\ &+ 10 \times 8 \times 0,1 \times 1,4 = 51,25 + 20 + 100 + 56,0 + 3,2 = \\ &= 230,45 \approx 231 \text{ даНм}. \end{aligned}$$

Расчет показывает, что на наклонном планшете сцены фактическая устойчивость ниже нормативной. Ясно, что нужно оперативно определить недостающее количество грузов-противовесов, которые надо добавлять при гастрольных выездах на сцены, имеющие уклоны:

$$M_{\text{доп.}}^{\text{гр.}} = [K] M_{\text{опр.}} - M_{\text{удерж. (сущ.)}} = 2 \times 230,45 - 390 = 460,9 - 390 = 70,9 \text{ даНм}.$$

При $x_{\text{гр}} = 2,0$ м потребуется дополнительно (к уже положенным 10 шт.) $70,9/2,0 = 35,5$ даН : $8 = 4,44 \approx 5$ шт. по 8 даН/шт.

При гастролях на сценах с уклоном общее количество грузов-противовесов должно быть не менее 15 шт. (по 8 даН/шт.), тогда фактический коэффициент устойчивости будет:

$$K_{\text{факт.}} = \frac{470}{233} = 2,02,$$

что обеспечивает устойчивость, требуемую правилами техники безопасности для театров.

Однако математические расчеты, приведенные выше, нужны не всегда. Из перерасчета координат при переходе от горизонтального к наклонному положению видно, что при небольших углах наклона, примерно до 3° , можно на 5—10% изменять первоначальные координаты точек: для плеч моментов опрокидывающих их увеличивая, а для плеч моментов удерживающих — уменьшая. Такие прикидочные расчеты особенно важны в периоды первоначальных обсуждений принципиальной работы декораций в спектакле. В этот период и ЦТ конструкций намечаются ориентировочно, так как неизвестны ни материалы декораций, ни их размещение в конструкции. При выполнении технического паспорта готовой декорации все расчеты должны соответствовать фактическим нагрузкам, их характеру воздействия на конструкцию, а пояснительная записка должна содержать рекомендации и ограничительные условия использования декорации.

Выводы. Из рассмотренных материалов главы II складывается общая методика расчета устойчивости театральных декораций, основанная на определении ЦТ любой конструкции или ее части и на добавлении к постоянно действующим факторам (например,

силам тяжести) тех переменных сил, которые появляются в условиях конкретной эксплуатации спектакля (это могут быть тяговые усилия рабочих или других видов привода, это могут быть сосредоточенные или распределенные нагрузки от других декораций и «живой нагрузки» — актеров или рабочих сцены и т. п.). Рекомендовать же более жесткую последовательность расчетов в театральной практике трудно из-за специфики использования декорационного оформления. Применение этой методики иллюстрируется примерами главы III.

ГЛАВА III

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ТЕАТРАЛЬНЫХ ДЕКОРАЦИЙ

Методика определения ЦТ и устойчивости театральных декораций, изложенная в главах I и II, позволяет воплощать сложные замыслы художников и режиссеров с одновременным обеспечением безопасности при их реализации. Ниже приводятся два типа расчетов, характерных для нашей театральной практики. Первый тип — так называемые «проверочные» расчеты; это в основном выписки из технических паспортов спектаклей, которые делаются в моменты установки готовой декорации на сцене. Этими расчетами проверяются прочность закрепления декораций, их устойчивость при определенных для этого спектакля условиях эксплуатации.

Второй тип расчетов составляют прикидки, «проектные» расчеты, которые помогают художественно-постановочной части театра в поисках оптимальных путей воплощения декораций, задуманных художником или режиссером и первоначально возникающих в виде макетов, эскизов, габаритных схем, а зачастую и просто в виде устных пожеланий.

Пример. Проверить устойчивость декорации «Журавль колодца» в спектакле «Потешки» в Лен. гос. театре юных зрителей.

Исходные данные: 1) габаритная схема декорации и описание ее конструкции (см. рис. 18 а, б); 2) условия работы декорации в спектакле: актер, «внезапно» выскакивания из «колодца», впрыгивает на вертикальный ствол «журавля», примерно на высоту 2,0 м, подтягивается до горизонтальной перекладки (до отм. 2,3 м) и уже затем опускается по стволу на планшет сцены.

Решение. Из схемы видно, что устойчивость декорации может быть гарантирована только при надежном закреплении ствола в основании и при достаточной прочности ствола на срез. Расчетный момент, возникающий в основании, может быть оценен $M =$

$=Pl$, где l — глубина стакана, принято 0,45 м, а P — расчетное усилие, определяемое из условия среза древесины на уровне фланца при $D=12$ см. Тогда:

$$M = Pl = 1350 \times 0,45 = 607,5 \approx 610 \text{ даНм};$$

$$P = kF_{\text{ср}} [\tau] = 0,8 \times 0,785 \times 12^2 \times 15 = 1356,5 \text{ даН} \approx 1350 \text{ даН};$$

$$F_{\text{ср}} = 0,785 D_{\text{ср}}^2 \text{ — площадь среза, см}^2;$$

$k=0,8$ — коэффициент уменьшения площади среза при эксплуатации;

$[\tau]$ — допускаемое напряжение древесины на срез, даН/см². Величина $[\tau]$ принимается по таблице 9 (см. КиРТД, с. 44). Принято $[\tau]=15,0$ даН/см².

Расчетная схема, определение веса конструкции и ЦТ элементов приведены на рис. 19. Рабочий коэффициент устойчивости декорации определится:

$$K_{\text{раб.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} \frac{630}{256} = 2,45 > [K] = 2,$$

где $M_{\text{удерж.}} = M + G_1 \times \frac{D_{\text{ср}}}{2} + G_2 \times 0,46 + G_4 \times 2,46 = 610 + 32 \times 0,06 + 12 \times 0,46 + 5,0 \times 2,46 = 610 + 1,92 + 5,52 + 12,3 = 629,74 \approx 630$ даНм;

$$M_{\text{опр.}} = 0,2 \times G_1 \times 1,5 + 0,2 \times G_2 \times 2,40 + G_{\text{гр.}} \times 1,2 + 0,2 \times G_{\text{гр.}} \times 2,20 + P \times 2,3 + 0,2 \times G_4 \times 0,80 = 9,6 + 5,76 + 3,6 + 6,6 + 230,0 + 0,8 = 256,36 \approx 256 \text{ даНм}.$$

Декорация может быть допущена к эксплуатации при условии тщательного закрепления опорного стакана и при подрезе волокон дерева (ствола) на уровне фланца опорного стакана глубиной не более 2 см. При подрезах древесины на уровне фланца более 2 см вертикальной ствол подлежит замене.

Пример. Проверить на устойчивость качающийся станок в спектакле «Разбойник» в Лен. гос. малом драматическом театре.

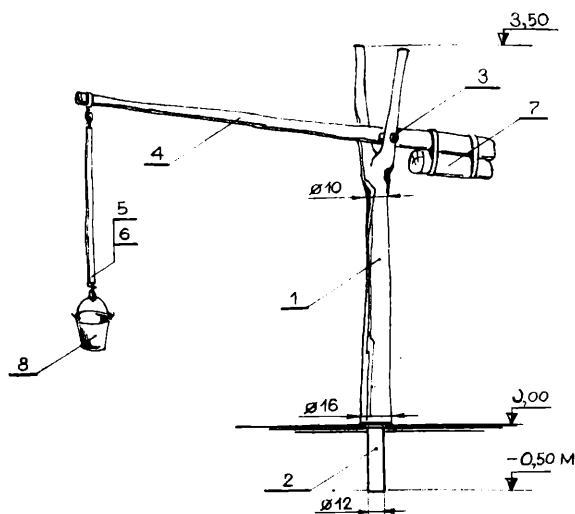
Описание конструкции и работа декорации в спектакле. К проверке на устойчивость предъявлена декорация с габаритами ДШВ 2,4×2,2×3,60 м, внешний вид которой показан на рис. 20. Это качающийся станок, состоящий из лестницы-стремянки высотой 3,40 м (длина тетивы 3,65 м), закрепленной на площадке-настиле из досок толщиной 2,8 см с размерами в плане 2,4×2,2 м. В свою очередь, настил закреплен на трех полозьях из досок 4×20 см. В нижней части полозья имеют форму сегмента, что позволяет станку совершать колебательные движения в продольной плоскости (по типу качалки).

По ходу спектакля вплоть до последних минут финала под крайние полозья станка с двух сторон подведены клинья-башмаки, обеспечивающие полную неподвижность станка. В этом неподвижном состоянии настил и стремянка активно обыгрываются актерами — они ступают на настил, как в «дом», поднимаются с него на 2-3 ступеньки внутри стремянки, высовывают голову в

Расчет устойчивости декорации „Журавль колодца” и прочности ее закрепления в спектакле „Потешки” ЛенТЮЗА

Исходные данные:

ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ И КОНСТРУКЦИЯ ДЕКОРАЦИИ



№№ эл.	НАИМЕНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА	ГАБАРИТЫ, МАТЕРИАЛ, ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ	ПРИМЕЧАНИЯ
1	ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТОЛБ	СТВОЛ-РОГАТИНА, ДЛИНОЙ 4,0 м ; ДИАМЕТР КОМЛЯ 16,0 см ; НА ОТМ. 2,3 м ДИАМЕТР ~ 10 см.	
2	ОПОРНЫЙ СТАКАН	ФЛАНЕЦ - ПЛОСКОЕ КОЛЬЦО ДИАМЕТРОМ 140x120 мм, ТОЛЩИНОЙ 5 мм - ПРИВАРЕН К СТАЛЬНОЙ ТРУБЕ ДИАМЕТРОМ 120x112 мм, ДЛИНОЙ 480 мм.	ВО ФЛАНЦЕ 8 ОТВ. Ø 4 мм ДЛЯ ГВОЗДЕВОГО ЗАКРЕПЛ. НА НАСТИЛЕ
3	ОСЬ „ЖУРАВЛЯ”	СТАЛЬНАЯ ТРУБА 30x25 мм, ДЛИНОЙ 160 мм С РЕЗЬБОЙ ПО КОНЦАМ И 4 ГАЙКАМИ.	
4	„ЖУРАВЛЬ” - ПОПЕРЕЧИНА	ДЕРЕВЯННАЯ ЖЕРДЬ - СТОВЛ С ДИАМЕТРОМ КОМЛЯ - 10 см, ВЕРШИНЫ - 6 см ; ДЛИНА - 3,8 м.	
5	ПАЛКА-ЖЕРДЬ	ДЕРЕВЯННАЯ ЖЕРДЬ ДЛИНОЙ 2,0 м, ДИАМЕТРОМ 4,0 ÷ 4,5 см.	ФАКТИЧЕСКИЙ ВЕС ~ 1,7 кг

Рис. 18 а

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛ.

6	КРЮКИ НА ДЕТ. 5	СТАЛЬНАЯ ПРОВОЛОКА ДИАМ. 6 ММ	
7	КОНТРГРУЗ	ДЕРЕВЯННЫЙ, ВЫДОБЛЕННЫЙ ВНУТРИ ЛОТОК С 1 ГРУЗОМ ОТ ШТАНКЕТА ПО 8 КГ И МЕШОЧКОМ ПЕСКА; КРЕПЛЕНИЕ К ДЕТ. 4 ПРОВОЛОКОЙ ДИАМЕТРОМ 5 ММ	ФАКТИЧЕСКИЙ ВЕС В СБОРЕ ~15 КГ
8	ВЕДРО	ЖЕСТЬ; НА ДНО ВЕДРА УКЛАДЫВАЕТСЯ МЕШОЧЕК С ПЕСКОМ ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ ПОЛОЖЕНИЯ ПОПЕРЕЧИНЫ-ЖУРАВЛЯ (ДЕТ. 4)	ТО ЖЕ ВМЕСТЕ С ПЕСКОМ ~ 2,0 КГ

РЕШЕНИЕ: Вначале определяем вес и координаты ЦТ отдельных элементов и всей декорации в целом, для так называемых постоянно действующих сил. Затем, в зависимости от условий использования декорации в спектакле, определяются внешние силы, импульсы и направления их действия. Эти силы, возникающие в основном по воле постановщика, обычно называют переменными силами. Все расчеты по определению ЦТ сведены в таблицу и вряд ли требуют пояснений.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

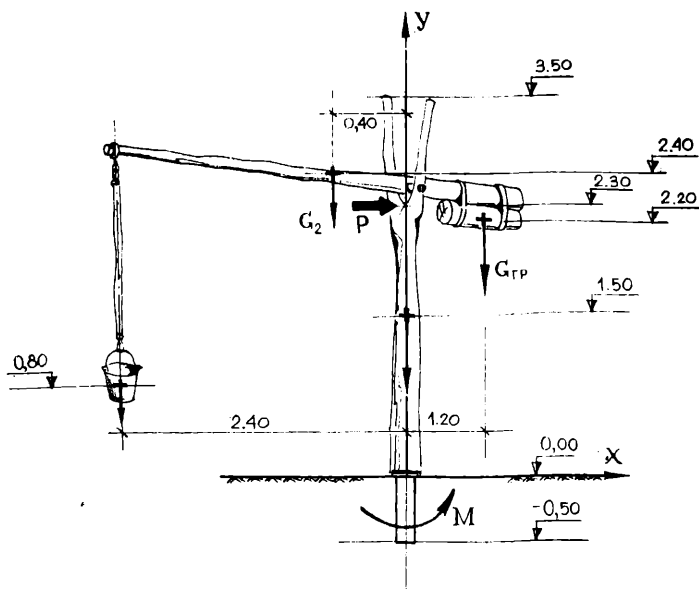


Рис. 186

№№ эл.	НАИМЕНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СИЛ	G_i	КОординАТЫ ЦТ		ПРИМЕЧАНИЯ, РАСЧЕТЫ
			X_i	Y_i	
I Постоянные силы					
1	СТВОЛ	32,0	0,0	1,50	<p>ДЕРЕВО (СОСНА) $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$; $H_1 = 4,0$; $D_{\text{ср}} = (16+10) : 2 = 13 \text{ см}$; $G_1 = F_1 \cdot H_1 \cdot \rho = \frac{\pi D_{\text{ср}}^2}{4} \cdot H_1 \cdot \rho = \frac{3,14 \cdot 13,0^2}{4} \cdot 4,00 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 31,84 \approx 32 \text{ кг}$; $X_1 = 0,00$; $Y_1 = \frac{H_1}{2} = 0,5 = 1,50 \text{ м}$</p>
2	ПОПЕРЕЧИНА „ЖУРАВЛЯ” БЕЗ КОНТРГРУЗА	12,0	-0,4	2,40	<p>$L_2 = 3,80 \text{ м}$; $D_{\text{ср}} = (10+6) : 2 = 8 \text{ см}$; $G_2 = 0,785 \cdot D_{\text{ср}}^2 \cdot L_2 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 0,785 \cdot 8,0^2 \cdot 3,80 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 11,45 \approx 12 \text{ кг}$; $X_2 = -0,4$; $Y_2 = 2,40 \text{ м}$</p>
3	КОНТРГРУЗ	15,0	1,20	2,20	<p>ВЕС КОНТРГРУЗА ПОДОБРАН НА РЕПЕТИЦИЯХ ДЛЯ УСТАНОВКИ ПОПЕРЕЧИН „ЖУРАВЛЯ” (ДЕТ. 2) В ПОЛОЖЕНИЕ, ЗАДАННОЕ РЕЖИССЕРОМ. $X_3 = 1,20$; $Y_3 = 2,20$ ПО ЗАМЕРАМ НА МЕСТЕ .</p>
4	ВЕДРО С ЖЕРДЬЮ	5,0	2,40	0,80	<p>ВЕС G_4 ВКЛЮЧАЕТ ВЕС ДЕТАЛЕЙ 5,6,8 .</p>
	ДЕКОРАЦИЯ „ЖУРАВЛЬ КОЛОДЦА” В СБОРЕ	64	0,4	1,80	<p>$X_c = \frac{12 \cdot (-0,4) + 15 \cdot 1,2 + 5 \cdot 1,20}{64} = \frac{25,2}{64} = 0,40$ $Y_c = \frac{32 \cdot 1,50 + 12 \cdot 2,4 + 15 \cdot 2,20 + 5 \cdot 0,8}{64} = \frac{113,8}{64} = 1,78$</p>
II Переменные силы					
5	Движение АКТЕРА	100	0,00	2,30	<p>По приложению II, расчетный вес актера $P = 100$, влиянием угла (это около $25^\circ - 30^\circ$) пренебрегаем, т.к. горизонтальная сила P увеличивает воздействие актера на декорацию. Горизонтальный импульс, передаваемый на декорацию, принят 0,2 от веса элементов декорации.</p>

Рис. 19

«форточку», укрепленную между ступенями стремянки и т. п. В другой момент спектакля актер влезает на стремянку с одной стороны и затем на руках слезает с другой стороны, как бы «огИБая» стремянку своим телом.

В финале спектакля, когда на настиле располагаются до восьми человек, которые находятся на внешней стороне стремянки, незаметно для зрителя башмаки отодвигают, и весь станок медленно покачивается из стороны в сторону.

Расчет на устойчивость должен быть проведен для двух наиболее невыгодных схем нагрузки станка: при расположении актера на верхней ступеньке стремянки на неподвижном станке, т. е. при закреплении станка башмаками (I положение); при расположении восьми актеров на настиле и положении станка в крайнем наклонном положении при отсутствии башмаков (II положение).

Решение. Первоначально определим ЦТ декорации и ее расчетный вес.

Лестница-стремьянка в сборе: тетива — стволы среднего диаметра $6 \div 7$ см, 4 шт. длиной по 3,65 м каждый; вес одной тетивы $0,785 \times 7^2 \times 365 \times 6 \times 10^{-4} = 8,42 = 8,5$ кг/шт.; поперечины из жердей диаметром $4,0 \div 5,0$ см, в том числе $9 \times 2 = 18$ шт. ступеней при средней длине $0,6 \div 0,7$ м, 3 шт. по $1,1 \div 1,2$ м; общий расход жердей на ступени и поперечные связи составит $9 \times 2 \times 0,65 + 3 \times 1,15 = 11,7 + 3,45 = 15,15$ пог. м; принято к расчету — 16 пог. м; при среднем диаметре жерди 4,5 см вес одного пог. м составит $0,785 \times 4,5^2 \times 100 \times 6 \times 10^{-4} = 0,95 \approx 1,0$ даН/пог. м; общий вес лестницы-стремьянки в сборе (с учетом рамы-форточки весом 5,0 даН, ветвей над стремянкой весом около 7,0 даН и элементов крепления) составит $8,5 \times 4 + 16,0 + 5,0 + 7,0 = 62$ даН ≈ 65 даН; координаты ЦТ, в силу симметричности конструкции принимаются:

$$x_1 = 0,0; z_1 = 0,0;$$

$$y_1 = 0,2 + \frac{3,40}{3} = 0,2 + 1,13 = 1,33 \approx 1,35 \text{ м (1,13 м — } \frac{1}{3} \text{ высоты стремянки от уровня настила).}$$

Площадка настила: в плане $2,4 \times 2,2$ м, выполнена из досок толщиной 2,8 см; вес настила составит $2,4 \times 2,2 \times 17 = 90,1$ даН (17 даН/м² — вес одного м² настила, т. е. $2,8 \times 100 \times 0,06 = 16,8 = 17,0$ или по таблице 12 в КиРТД, с. 54); координаты ЦТ настила:

$$x_2 = 0,0; z_2 = 0,0; \\ y_2 = 0,20 \text{ м от планшета.}$$

Полозья: выполнены из доски 4×20 см, всего 3 шт., низ полозьев закруглен; общий вес $4 \times 20 \times 0,06 \times 0,6 \times 2,4 \times 3 = 22$ даН ($4 \times 20 \times 0,06$ — вес одного пог. м. доски (см. КиРТД, с. 44); 0,6 — понижающий коэффициент, учитывающий закругление

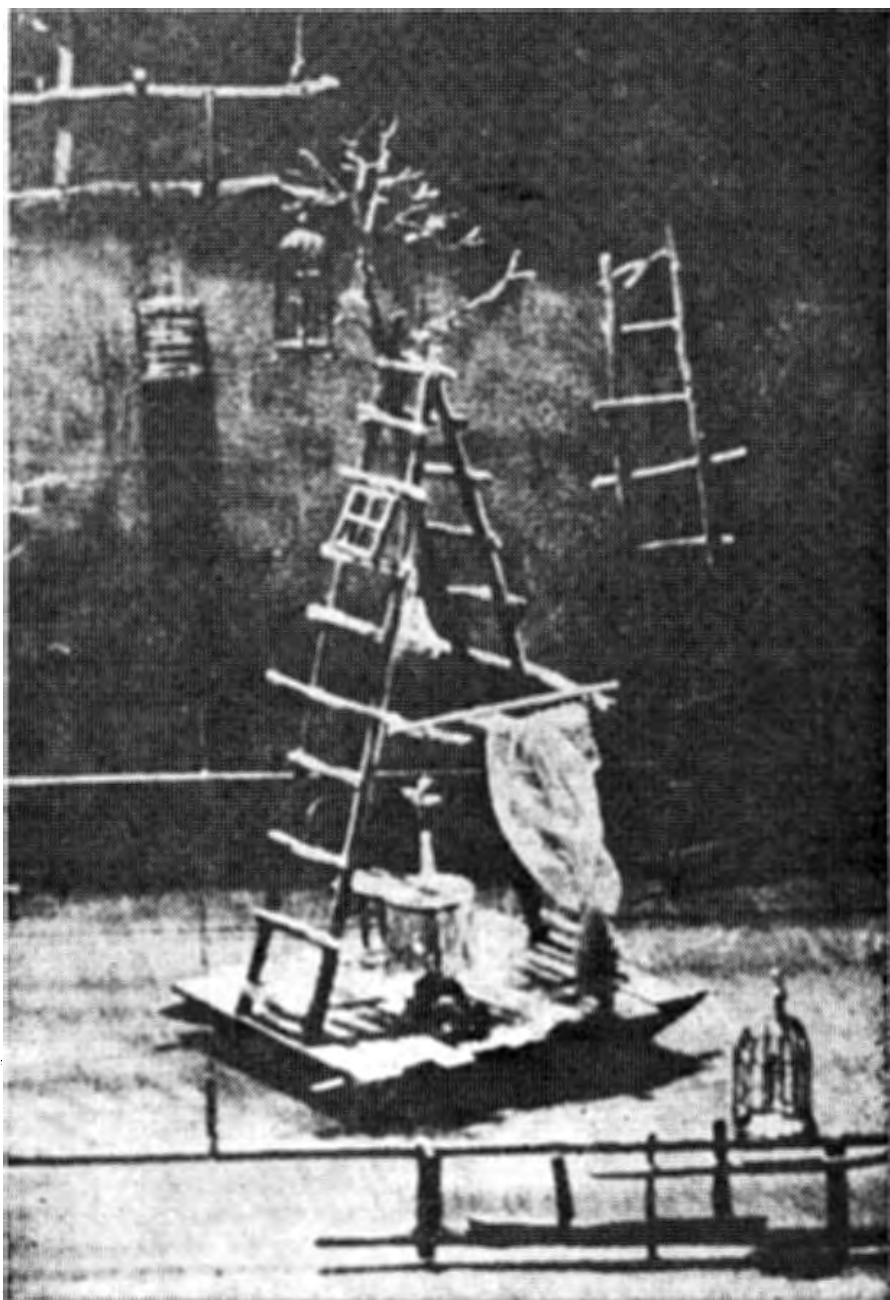
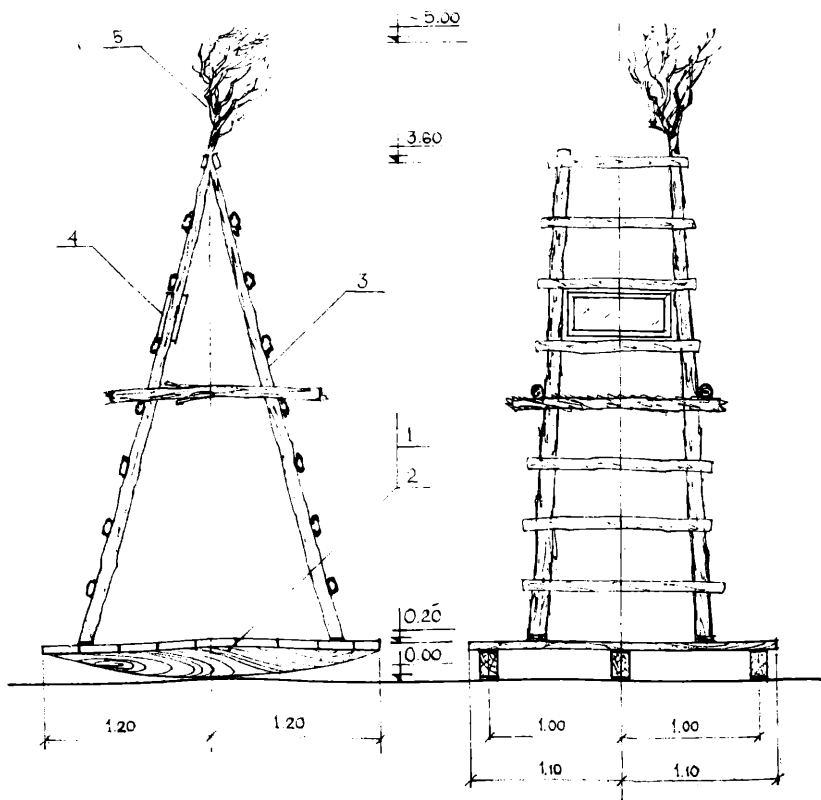


Рис. 20 а



Основные элементы качающегося станка.

1. Настил $2,4 \times 2,2$ м — доски толщиной 2,8 см
2. Полозья 3 шт. — доски $4,0 \times 20,0$ см, длина 2,40 м, низ срезан в виде сегмента.
3. Лестница - стремянка.
высота в сборе 3,40 м — стволы молодых деревьев, жерди, соединение гвоздевое и болтовое.
4. Рама форточка — деревянная рамка на петлях крепится к стремянке.
5. Ветвь дерева — крепится в стакан и закрепляется на стремянке.

Рис. 20 б

низа доски; 2,4 м — длина одного полоза при числе 3 шт. в конструкции); координаты ЦТ ползьев:

$$x_3 = 0,0; z_3 = 0,0;$$

$y_3 = 0,13$ м из расчета $\frac{2}{3}$ высоты полоза от планшета при высоте 0,20 м.

Итак, общий вес качающегося станка составит:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 = 65 + 90,1 + 22 = 177,1 = 180 \text{ даН, где}$$

$G_1 = 65$ даН, вес лестницы-стремянки в сборе: $y_1 = 1,35$ м;

$G_2 = 90,1$ даН, вес настила: $y_2 = 0,20$ м;

$G_3 = 22,0$ даН, вес ползьев: $y_3 = 0,13$ м.

Координаты ЦТ станка при осях симметрии по $x_c = 0,00$; $z_c = 0,00$, а по оси y определяются расчетом:

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{G_1 y_1 + G_2 y_2 + G_3 y_3}{G} = \frac{65 \times 1,35 + 90,1 \times 0,20 + 22 \times 0,13}{177,1} = \\ &= \frac{87,75 + 18,02 + 2,86}{177,1} = \frac{108,62}{177,1} = 0,614 = 0,62 \text{ м.} \end{aligned}$$

Для дальнейших расчетов принято: $y_c = 0,70$ м.

Для первого случая проверки устойчивости — неподвижный станок, актер, достигнув верха стремянки, начинает движение вниз — принимаем: расчетный вес актера $P = 100$ даН; горизонтальный импульс принимается максимальным $0,2 P$ (см. Приложение II); ЦТ актера в этом положении принимается на расстоянии примерно 0,6 м от верха стремянки, т. е.:

$$x_{\text{акт.}} = 0,4; y_{\text{акт.}} = 3,60 + 0,40 = 4,00 \text{ м.}$$

С учетом принятого, составляем расчетную схему для I положения (рис. 21) и определяем рабочий коэффициент устойчивости декорации при опрокидывании конструкции относительно точки А — край настила со стороны расположения актера: $x_A = 1,2$ м; $y_A = 0,20$ м. Тогда:

$$K_{\text{факт.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} = \frac{296}{94} = 3,15 \geq [K] = 2,0,$$

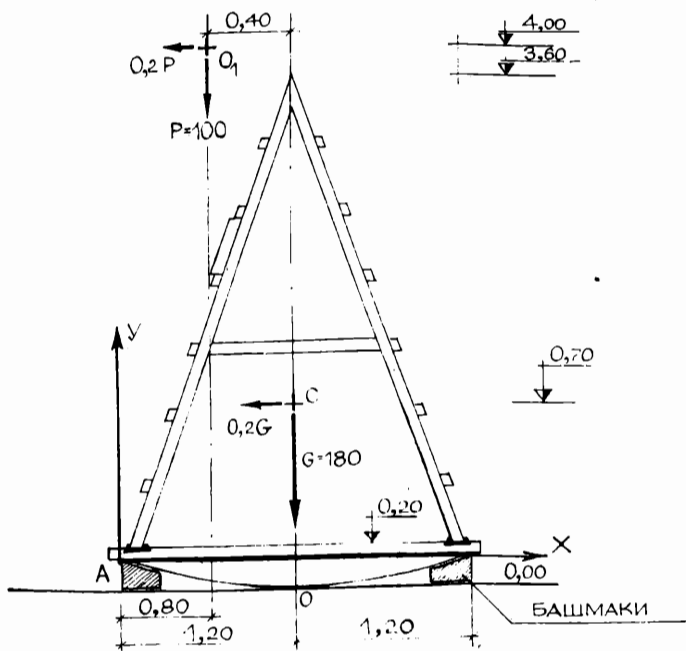
где $M_{\text{удерж.}} = G_1 \times 1,20 + P \times (1,2 - 0,4) = 180 \times 1,2 + 100 \times 0,8 = 216 + 80 = 296$ даНм;

$M_{\text{опр.}} = 0,2 \times G_1 (0,7 - 0,2) + 0,2 \times 100 (4,00 - 0,2) = 18 + 76 = 94$ даНм.

Из расчета видно, что при плотном закреплении башмаков под ползьями устойчивость декорации в рассматриваемом случае обеспечивается.

Для II положения проверки устойчивости — наклонное положение конструкции. Этот случай более сложен и требует некоторых вспомогательных расчетов и пояснений. Прежде всего, для определения устойчивости станка в наклонном положении требуется составить расчетную схему с учетом наиболее невыгодных условий использования декорации. Поэтому расчет ведется в пред-

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА (I ПОЛОЖЕНИЕ)



№ ЭЛ. п/п	НАИМЕНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА	ВЕС ЭЛЕМЕНТА, ДАН	КООРДИНАТЫ ЦТ			ПРИМЕЧАНИЯ
			X	Y	Z	
1	ЦТ СТАНКА- точка С	180	1,2	0,7	-	ЗА НАЧАЛО КООРДИНАТ ПРИНЯТА ТОЧКА ВОЗ- МОЖНОГО ОПРОКИДЫ- ВАНИЯ КОН- СТРУКЦИИ "А"
2	ЦТ АКТЕРА НАВЕРХУ СТРЕМЯНКИ точка O_1	100	0,8	3,8		

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ИМПУЛЬС ПРИНЯТ 0,2 ОТ
ВЕЛИЧИНЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ.

I ПОЛОЖЕНИЕ — КАЧАЮЩИЙСЯ СТАНОК НЕПОДВИЖНО ЗАКРЕПЛЕН НА ПЛАНШЕТЕ БАШМАКАМИ, АКТЕР НАЧИНАЕТ ДВИЖЕНИЕ С ВЕРХА СТРЕМЯНКИ ВНИЗ ГОЛОВОЙ, КАК БЫ „ОГИБАЯ” СТРЕМЯНКУ СВОИМ ТЕЛОМ.

Рис. 21

положении неравномерной нагрузки на настил с коэффициентом неравномерности 0,5, т. е. если с одной стороны находятся четыре актера, то число актеров, удерживающих конструкцию от опрокидывания, принято вдвое меньшим ($4 \times 0,5 = 2$ чел.; например, более ранний сход с настила). Далее, за точку опрокидывания принимается край настила (точка А), при наклоне настила совпадающий с планшетом сцены в точке A_1 , чем и определяется теоретически максимально достижимый угол наклона настила без потери конструкцией динамической устойчивости.

Из расчета, приведенного на рис. 22, видно, что радиус перекатывания станка по горизонтальному планшету составляет 3,70 м, а максимальный угол наклона настила — не более 20° (точнее — до $18^\circ 55''$). При совпадении точек А и A_1 с одной стороны настила другой край поднимется на 0,60 м (от планшета 0,80 м); центр поднимается соответственно на 0,20 м (на отм. 0,40 м).

Составление расчетной схемы и проведение осей координат для лучшего понимания особенностей расчета качающихся декораций сделаем поэтапно и в нескольких вариантах. Так, на рис. 23 а и б показаны равнозначные расчетные схемы при $\alpha = 0^\circ$ — горизонтальном положении настила. На первой схеме за начало координат принята точка О — место в середине настила, где полозья касаются планшета сцены. Последний принят за плоскость xOz , а вертикаль из точки О — за ось y . Во второй схеме за начало координат принята точка A_1 , принадлежащая одновременно планшету (т. е. расположенная в плоскости xOz) и краю настила при его максимальном наклоне. Между точками О и A_1 , как, впрочем, и между любыми точками, выбранными за начало координатных систем, существует весьма простая взаимосвязь, которая на языке математики определяется формулами:

$$x = x_1 + x_0; \quad y = y_1 + y_0;$$

или словами: «старая координата равна новой, сложенной с координатой нового центра относительно старых осей»; или:

$$x_1 = x - x_0; \quad y_1 = y - y_0.$$

где x, y — старые координаты, например, для точки О: $x = 0,00$;
 $y = 0,00$;

x_0, y_0 — координаты нового центра координат в старой системе, например, для точки A_1 : $x_0 = -1,20$ м; $y_0 = 0,00$;

x_1, y_1 — новые координаты точки О, т. е. относительно точки A_1 :

$$x_1 = x - x_0 = 0,00 - (-1,20) = +1,20 \text{ м};$$

$$y_1 = y - y_0 = 0,00 - 0,00 = 0,00.$$

После составления расчетной схемы с расположением оси y параллельно направлению действия сил тяжести необходимо определить координаты точек приложения этих сил при наклоне

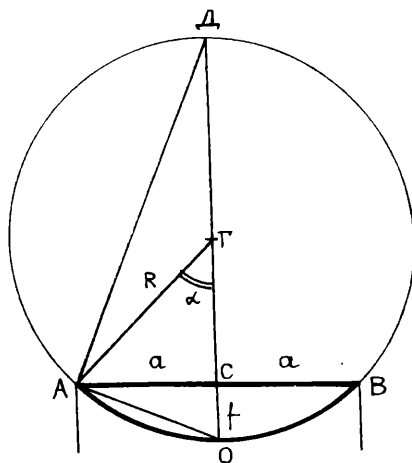
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА ПЕРЕКАТЫВАНИЯ СТАНКА
И МАКСИМАЛЬНОГО УГЛА ПОВОРОТА

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ :

$OD = 2R$
 $AG = R$
 $\angle AГО = \alpha$
 $AB = 2a = 2,40 \text{ м}$
 $OC = f = 0,20 \text{ м}$

ОПРЕДЕЛИТЬ :

$R, \alpha, h, \ell.$



РЕШЕНИЕ :

Из прямоугольного треугольника OAD составляем

соотношение: $\frac{DC}{AC} = \frac{OC}{OC}; \quad \frac{2R-f}{a} = \frac{a}{f};$

$(2R-f) \cdot f - a^2; \quad 2Rf - f^2 = a^2;$

$R = \frac{a^2 + f^2}{2f} = \frac{1,2^2 + 0,2^2}{2 \cdot 0,2} = \frac{1,40 + 0,04}{0,4};$

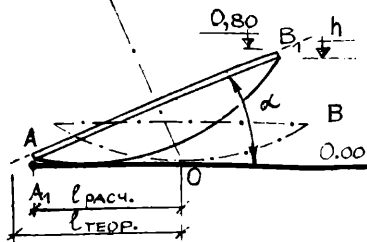
$R = 3,70 \text{ м.}$

Угол поворота определим, рассматривая
треугольник AGC :

$R \cos \alpha = R - f; \quad \cos \alpha = \frac{R-f}{R} = \frac{3,7-0,2}{3,7} = 0,9460;$

$R \sin \alpha = a; \quad \sin \alpha = \frac{a}{R} = \frac{1,2}{3,7} = 0,3243; \quad \alpha = 18^\circ 55'$

$\text{tg } \alpha = 0,3428; \quad h = 2 \cdot a \cdot \sin \alpha = 2 \cdot 1,2 \cdot 0,3243 = 0,77 \sim 0,8 \text{ м};$



ФАКТИЧЕСКАЯ ДЛИНА ПЕРЕКАТЫВАНИЯ

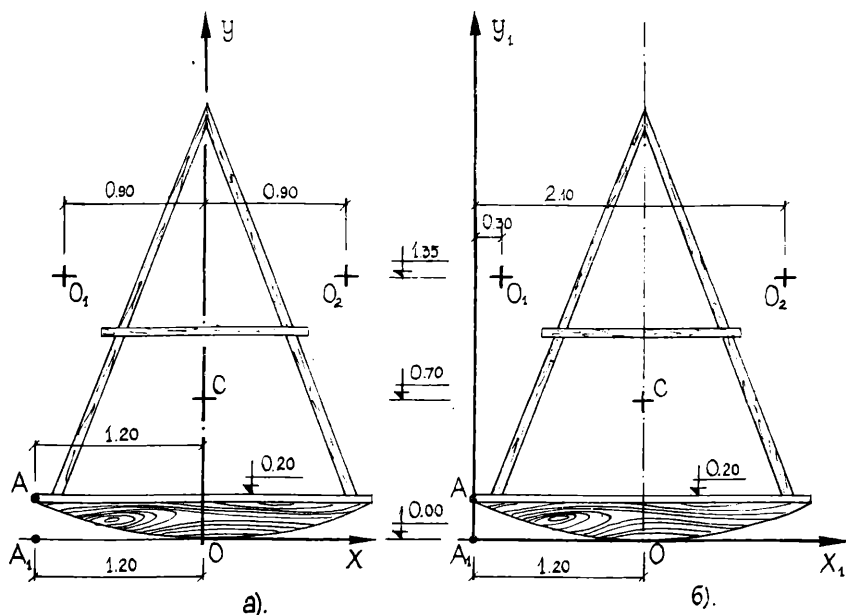
$\ell_T = \frac{\pi R \alpha^\circ}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 3,7 \cdot 19^\circ}{180^\circ} =$

$= 1,226 \text{ м.}$ ПРИНЯТА РАСЧЕТНАЯ
ДЛИНА ПЕРЕКАТЫВАНИЯ

$\ell_{\text{РАСЧ}} = 1,2 \text{ м}$

Рис. 22

РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ (II положение, при $\alpha = 0^\circ$)



№№ точек	НАИМЕНОВАНИЕ ТОЧЕК (ЦТ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ)	ВЕС ЭЛЕМЕНТА ДАН	НАЧАЛО КООРДИНАТ						ГОРИЗОНТАЛЬН ИМПУЛЬС ПРИНЯТ O_2 ОТ ВЕЛИЧИНЫ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СИЛ.
			В ТОЧКЕ O			В ТОЧКЕ A_1			
			X	Y	Z	X_1	Y_1	Z_1	
1	Точка O	—	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	—	
2	Точка C - ЦТ КОНСТРУКЦ	180	0.00	0.70	0.00	1.20	0.70	—	
3	Точка A_1	—	-1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	Точка O_1 (4 ЧЕЛ.)	4×100	-0.90	1.35	0.00	0.30	1.35	—	
5	Точка O_2 (2 ЧЕЛ.)	2×100	+0.90	1.35	0.00	2.10	1.35	—	

II ПОЛОЖЕНИЕ - НАСТИЛ КАЧАЮЩЕГОСЯ СТАНКА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ, БАШМАКИ ОТОДВИНУТЫ, СЛЕВА (т. O_1) СТОЯТ 4 АКТЕРА, СПРАВА (т. O_2) - 2 АКТЕРА. НАЧАЛО КООРДИНАТ НА СХЕМЕ а) В ТОЧКЕ O ; НА СХЕМЕ б) В ТОЧКЕ A_1 .

Рис. 23

станка (см. рис. 24). Этот пересчет координат при повороте системы координат на один и тот же угол α уже выполнялся в примере на рис. 17 и рассматривался в главе II. Все эти расчеты приведены на рис. 24.

Для театральной практики, избегающей большого количества вычислений, можно также рекомендовать графические приемы определения координат точек приложения сил при повороте или наклоне осей.

Расчетную схему, изображенную на рис. 23, составляют в определенном масштабе на листе миллиметровки; масштабы рекомендуются следующие: М 1 : 50, М 1 : 25, М 1 : 20, М 1 : 10; затем из намеченной точки опрокидывания транспортиром откладывают нужный угол поворота осей α ; на отдельную кальку переснимают масштабную расчетную схему, т. е. создают дубль. При полном совмещении дубля и основного чертежа в точку опрокидывания вкалывают булавку или тонкий гвоздик (ось поворота) и поворачивают кальку до нужного угла; в этом положении кальку закрепляют кнопками и из точек приложения сил проводят горизонталь и вертикали до пересечения с осями координат, измеряют расстояния от точки поворота до проекции соответствующих точек и получают необходимые размеры плеч для вычисления удерживающих и опрокидывающих моментов сил.

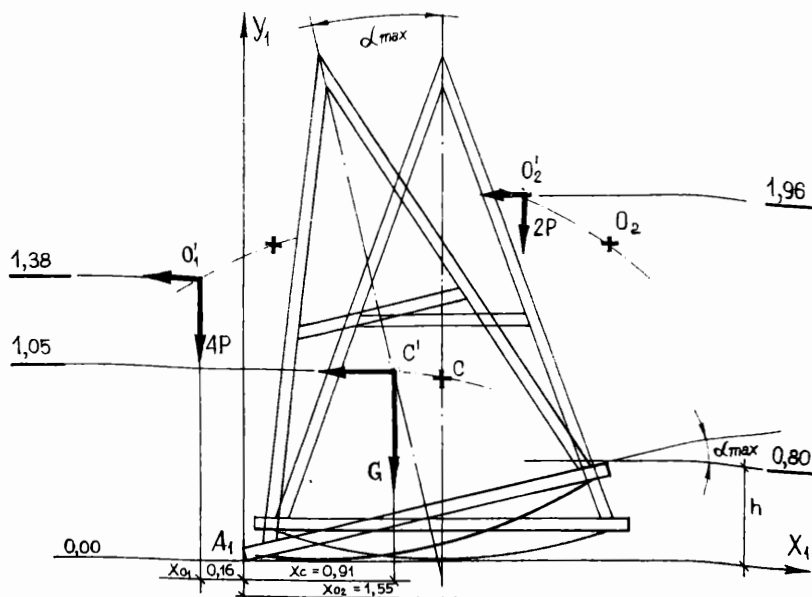
Графический способ очень прост, нагляден и дает при аккуратном выполнении вполне надежные результаты. Аналитический способ расчета, возможно, даже излишне точен для такого вида расчетов, но обладает высокой степенью доказательности и возможностями для поиска оптимальных решений.

Из приведенных выше расчетов качающегося станка видно, что даже при самых невыгодных условиях загрузки и максимальном наклоне его устойчивость обеспечивается. Однако артисты и персонал должны быть проинструктированы о недопустимости большой односторонней нагрузки на станок и его активного раскачивания. Желательно также в моменты схода актеров с качающегося станка сбоку подстраховывать его или после закрытия занавеса немедленно устанавливать башмаки. По смыслу пьесы и замыслу режиссера требуется спокойное и мерное покачивание. Судя по репетициям, угол отклонения от вертикали не превышает 10—12°. Исходя из изложенного выше, станок может быть допущен к эксплуатации.

Рассмотрим еще одну конструкцию качающегося станка.

В спектакле Лен. гос. акад. большого драматического театра им. М. Горького «Три мешка сорной пшеницы» для создания сценического эффекта «движение грузовика по размытой дороге» использовался станок-фурка «Грузовик», принципиальная конструкция которого ясна из рис. 25.

В отличие от предыдущего примера, где покачивание было возможно только в одной плоскости, декорация «Грузовик» могла покачиваться в любые стороны в зависимости от направления



№ п/п	НАИМ. ТОЧЕК	КООРДИН. ТОЧЕК ПРИ НАКЛОНЕ α°		ПРИМЕЧАНИЯ, РАСЧЕТЫ ПО ФОРМУЛЕ ПОВОРОТА ОСЕЙ НА УГОЛ α°
		X_i	Y_i	
1	A_1	0,00	0,00	НАЧАЛО КООРДИНАТ. ПРИ ПОВОРОТЕ НА $\alpha = 18^\circ 55'$ $\text{Sin}\alpha = 0,3243$; $\text{Cos}\alpha = 0,9460$; $Z \text{ ВСЕХ } (\dots) = 0,00$;
2	C	0,91	1,05	$X_c = X_1 \text{Cos}\alpha - Y_1 \text{Sin}\alpha = 1,20 \cdot 0,9460 - 0,7 \cdot 0,3243 = 1,14 - 0,23 = 0,91$; $Y_c = X_1 \text{Sin}\alpha + Y_1 \text{Cos}\alpha = 1,20 \cdot 0,3243 + 0,7 \cdot 0,9460 = 0,39 + 0,66 = 1,05$;
3	O_1	-0,16	1,38	$X_{O_1} = 0,3 \cdot 0,9460 - 1,35 \cdot 0,3243 = 0,28 - 0,44 = -0,16$; $Y_{O_1} = 0,3 \cdot 0,3243 + 1,35 \cdot 0,9460 = 0,10 + 1,28 = 1,38$;
4	O_2	1,55	1,96	$X_{O_2} = 2,1 \cdot 0,9460 - 1,35 \cdot 0,3243 = 1,99 - 0,44 = 1,55$; $Y_{O_2} = 2,1 \cdot 0,3243 + 1,35 \cdot 0,9460 = 0,68 + 1,28 = 1,96$;

ФАКТИЧЕСКИЙ (РАБОЧИЙ) КОЭФФИЦИЕНТ УСТОЙЧИВОСТИ СТАНКА В НАКЛОННОМ ПОЛОЖЕНИИ СОСТАВЛЯЕТ

$$K_{\text{раб.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} = \frac{474}{290} = 1,63 < [K] = 2,$$

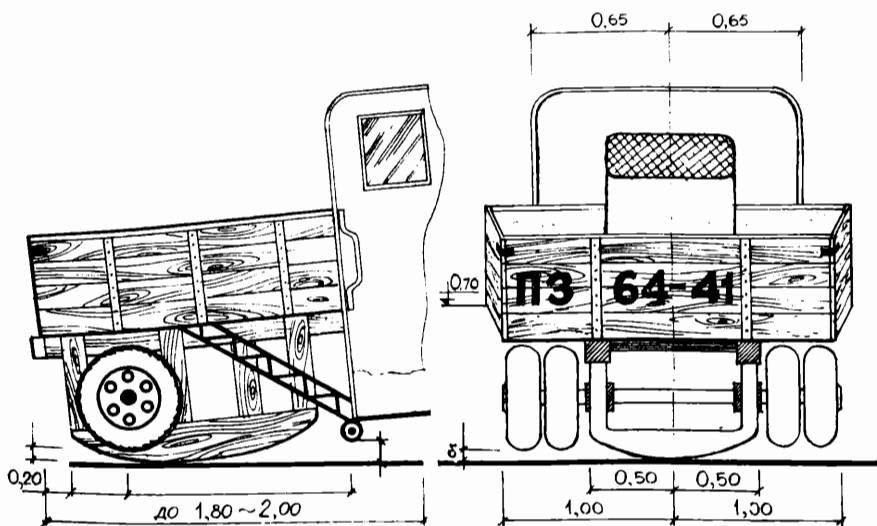
ГДЕ $M_{\text{удерж.}} = G \cdot 0,91 + 2P \cdot 1,55 = 180 \cdot 0,91 + 200 \cdot 1,55 = 163,8 + 310,0 = 473,8 \approx 474 \text{ ДАНМ}$;

$$M_{\text{опр.}} = 0,2G \cdot 1,05 + 0,2 \cdot 2P \cdot 1,96 + 4P \cdot 0,16 + 0,2 \cdot 4P \cdot 1,38 = 0,2 \cdot 180 \cdot 1,05 + 0,2 \cdot 200 \cdot 1,96 + 4 \cdot 100 \cdot 0,16 + 0,2 \cdot 400 \cdot 1,38 = 37,80 + 78,40 + 64,0 + 110,40 = 290,60 \approx 290 \text{ ДАНМ}.$$

ПРИ РАВНОМЕРНОЙ НАГРУЗКЕ НАСТИЛА (ПО 4 ЧЕЛ. С КАЖДОЙ СТОРОНЫ)

$$K_{\text{раб.}} = \frac{M_{\text{удерж.}}}{M_{\text{опр.}}} = \frac{784}{369} = 2,12 \geq [K] = 2,0$$

Рис. 24



Использование декорации в спектакле:

1. В кузове у заднего борта располагаются три артиста.
2. Рабочий сцены, раскачивающий грузовик, размещается в «кабине» после входа артистов через брезентовый задник в кабине.
3. Отверстие в полу кузова закрывается бутфорцией «Груженные мешки и ящики».
4. Зарядка фурки «Грузовик» производится за прикрытием основного станка «Дорога». Фурка подается к зрителю «начало дороги» — поворотом кольца шириной до 2,0 м при вырубленном свете.
5. Покачивание фурки «Грузовик» начинается с момента начала движения кольца.

Рис. 25

усилий рабочего, так как низ конструкции, выполненный из взаимопересекающихся брусьев, образовывал объемный эллипсоидный сектор.

Ясно, что вся методика определения устойчивости, подробно рассмотренная в предыдущем примере, полностью подходит и к этому случаю, усложняясь тем, что декорацию на опрокидывание нужно проверять не в одной плоскости, а в двух (продольной и поперечной), а вполне возможно, что даже и в трех плоскостях, например, в косо́й плоскости, т. е. в плоскости, расположенной под углом к осям Ox и Oz . Ведь по сути дела такая декорация, подобно ваньке-встаньке или кукле-неваляйке, имеет почти свободную траекторию движения, конечно, при контакте основания с планшетом. В отличие от игрушек, где положение ЦТ неизменно, внутри «Грузовика» размещаются три актера, рабочий, да и сама конструкция имеет солидный вес, а, следовательно, во время ее раскачивания возникают динамические силы, силы инерции... Актеры, обыгрывая декорацию, встают, перемещаются, входят и выходят, т. е. изменяют положения ЦТ системы. Кроме того, начало и конец эффекта проходят в темноте, а продолжается вся «поездка» не более 1,5—2 минут. Все эти факторы необходимо учитывать при составлении расчетных схем и разработке инструкций по безопасности при использовании таких декораций.

Еще сложнее, но во много раз интереснее конструирование декораций к новым спектаклям. Рассмотрим примеры создания декораций, где расчеты на устойчивость сыграли решающую роль.

На рис. 26 показана декорация «Леса у стен монастыря...», предложенная художником А. Фрейсбергсом для постановки «Бориса Годунова» А. С. Пушкина в Лен. гос. театре юных зрителей. По замыслу художника, декорация, отдаленно напоминающая строительные леса, должна была располагаться вдоль белых боковых порталов и, наряду с планшетом сцены, активно обыгрываться актерами, выходящими на настилы станка из этих боковых порталов.

Художественный образ спектакля достигал многозначного обобщения. Ведь леса, установленные у «старинного монастыря», символизировали труд и материальные затраты живущего поколения по сохранению древних стен — «этих немых свидетелей прошлого», да и сами стены, как бы под влиянием этой заботы, оживали, вспоминая о судьбах предков в сложные моменты нашей истории. Более того, в кульминационный момент спектакля, когда противоборствующие стороны переходят от слов и угроз к открытым военным действиям, статичные, массивные «леса» обоих порталов вдруг начинают двигаться, устремляясь друг на друга. По замыслу режиссера и художника, этот эффект резкого и бескомпромиссного движения огромных масс фурок с большим числом статистов, подчинившихся этому движению, был весьма необходим именно в детском театре.

Однако планировка Театра юных зрителей (см. рис. 27) представляла для этих шестиметровых декораций только 80—85 см, чтобы установить фурку и обеспечить ее проход вдоль порталов.

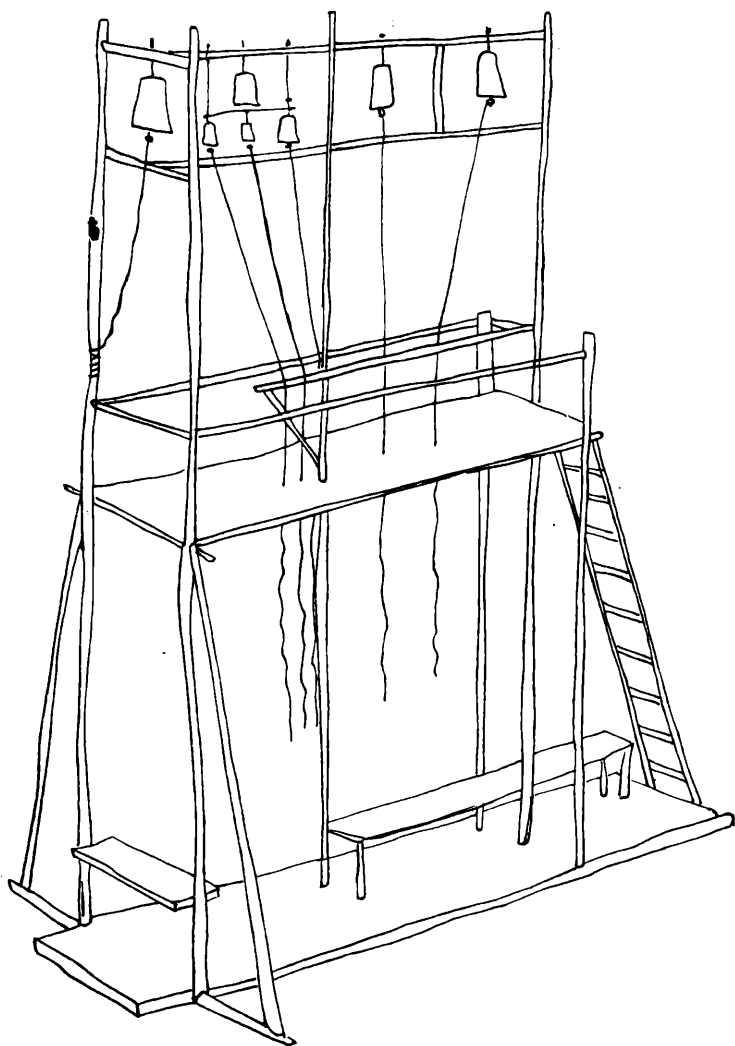
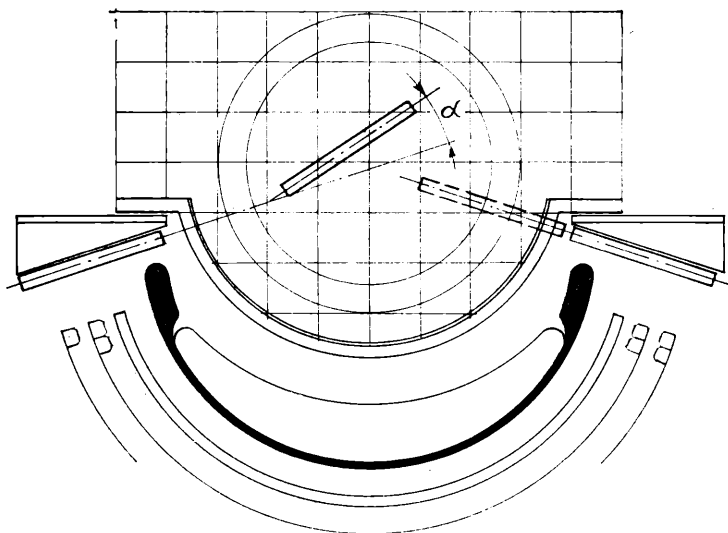


Рис. 26

Проведенные расчеты устойчивости фурки показали, что устройство легкой верхней части станка, загрузка дополнительными грузами (рассматривался даже вариант утяжеления основания баком с водой, расположенным под нижним настилом станка), короче говоря, целый ряд мероприятий не смогли обеспечить не-



Спектакль „Борис Годунов“. А.С.Пушкин. ЛенТЮЗ.
 Планировка сценического эффекта „Бой на лесах“ – битва.

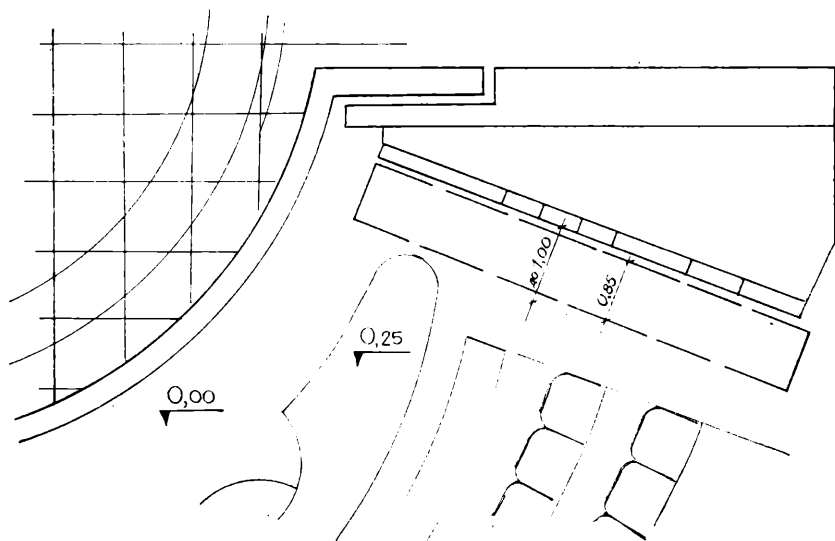


Рис. 27

обходимую самостоятельную устойчивость высокой фурки с такой динамикой. Понижение ее высоты не отвечало эстетическим требованиям, задачам спектакля, что и привело к отказу от «движущихся лесов» и применению фурки другого типа, которая, в зависимости от разворота и места на сцене, становилась монастырской кельей, коновязью, частью корчмы на границе литовской, сеновалом, наблюдательным пунктом во время сражения..., и, конечно, тоже подвергалась расчетам на устойчивость и была использована в спектакле «Борис Годунов».

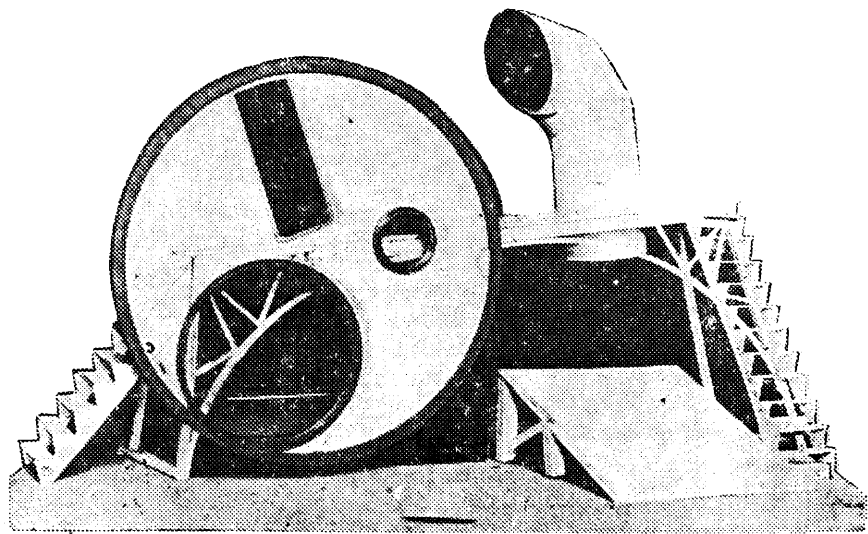


Рис. 28

Но арифметика, проверяя замыслы художника, не всегда их отвергает, скорее наоборот, в большинстве случаев помогает реализации задуманного, что и доказывается на следующем примере.

Рассмотрим фотографию макета спектакля (см. рис. 28), предложенного художником для постановки в небольшом театре. Декоративное оформление несложно и состоит из станка высотой до 2 м с двумя лестницами, декоративной трубы, небольшого пандуса-выстилки и вращающегося круга с тремя вырезами. Этот круг, диаметром 3,6 м, закрепленный сбоку под настилом станка, является основным динамическим элементом спектакля. По замыслу художника, круг с вырезами необходимо было сконструировать так, чтобы он «застыл» в том положении, в которое его поставит актер, входя в «дверь» — прямоугольный вырез, — и оставался неподвижным, пока другой актер не захотел бы обыграть другое отверстие — «большое окно богатого особняка» или «киллюминатор на пароходе», и опять круг должен оставаться не-

подвижным в том положении, в которое его поставит актер легким движением руки.

Понятно, что осуществить замысел художника можно, если для конструкции круга найти положение безразличного равновесия, т. е. совместить ось вращения и ЦТ конструкции.

Конструктивно круг можно выполнить на каркасе из деревянных брусков или труб, к которому прикрепить тонкую фанеру, оклеенную тканью и расписанную по эскизу художника. При конструировании каркаса нужно еще учесть устройство «склада внутрь» для удобства перевозки декорации (габарит $1,9+3,6$ м позволит гастролировать на любой сценической площадке).

Ход расчетов по определению ЦТ конструкции и приемы определения совмещения оси вращения круга с его ЦТ подробно рассмотрены в Приложении VIII, которое оформлено в виде пояснительной записки «Технологические предложения на конструктивную разработку декорации».

Хотелось бы обратить внимание на обилие информационного материала, которое появляется в результате комплексной проектной проработки замысла художника или режиссера-постановщика. Действительно, расчетами выяснено, что замысел художника выполним, и для его реализации потребуется $45 \div 50$ пог. м трубы диаметром 20×18 мм, вес каркаса составит около 20 даН, требуется 5 листов четырехмиллиметровой фанеры размером $1,5 \times 1,5$ м, причем из 11 м² непосредственно в конструкцию пойдет $6,1$ м², вес фанеры составит 17 даН, потребуется 15 пог. м ткани шириной по 0,8 м, стальная полоса, прутки на скобы, три деревянных бруска и т. д.

Кроме того, изготовленный круг необходимо будет отбалансировать, и вес баланса на краю круга должен быть в пределах $1,5-2,0$ даН.

При перевозках конструкции весом до $40 \div 45$ даН ее габариты ДШВ составят $3,6 \times 0,3 \times 2,8$ м.

Полученные сведения создают возможность для четкой работы не только постановочной части театра, но и всех других служб, участвующих в выпуске спектакля — отделов снабжения, экономического, мастерских и т. п.

Хочется еще раз напомнить и о требуемой точности расчетов, особенно таких, как координаты ЦТ конструкции, вес, площади и т. п., и сослаться на воспоминания знаменитого математика и кораблестроителя, академика А. Н. Крылова, который еще в конце XIX в. писал: «Яставляю как принцип, что вычисление должно производиться с той степенью точности, которая необходима для практики, причем всякая неверная цифра составляет ошибку, а всякая лишняя цифра половину ошибки»¹. Нужно помнить, что работнику художественно-постановочной части поручено с помощью расчетов, прикидок реализовать художественные задачи, и что он не счетовод и не бухгалтер. Это — другие специальности.

Теоретические предпосылки по нахождению ЦТ любой театральной конструкции, методические указания по расчету ЦТ и устойчивости декораций, а также практические приемы, продемонстрированные для различных условий эксплуатации, на мой взгляд, являются теми необходимыми элементами «штабной культуры» в работе художественно-постановочных частей театров, владея которыми можно смело прогнозировать самые сложные декорации, начиная с самой ранней стадии их возникновения до их сдачи в эксплуатацию, избегая серьезных просчетов и, как следствие этого, бесконечных переделок.

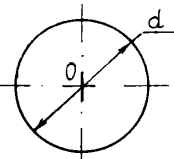
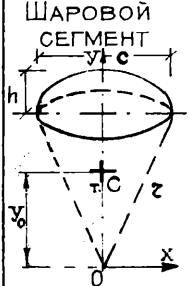
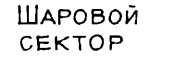
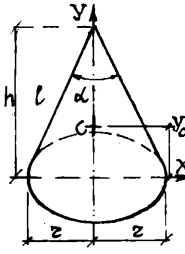
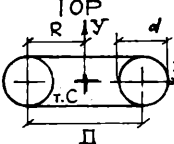
1. Воспоминания относятся к 1891—92 гг. См. *Крылов А. Н.* Воспоминания и очерки. М., 1949. С. 120.

ПРИЛОЖЕНИЯ



ПРИЛОЖЕНИЕ I

ЦЕНТРЫ ТЯЖЕСТИ, ОБЪЕМЫ И ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛ.

№№ п/п	ТЕЛО	ОБЪЕМ V	ПОВЕРХНОСТЬ F БОКОВАЯ ПОВЕРХ- НОСТЬ M	РАССТОЯНИЕ ДО ЦЕНТРА ТЯ- ЖЕСТИ x_0, y_0
1	ШАР 	$V = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$ $\approx 0,52d^3$	$F = \pi \cdot d^2$ $\approx 3,14d^2$	Точка O - ЦЕНТР
2	ШАРОВОЙ СЕКМЕНТ 	$V = \pi h^2 x$ $x(z - \frac{h}{3})$	$M = 2\pi \cdot z \cdot h =$ $= \frac{\pi}{4} (c^2 + 4h^2);$	$x_0 = 0;$ $y_0 = \frac{3}{4} \frac{(2z-h)^2}{(3z-h)}$
3	ШАРОВОЙ СЕКТОР 	$V = \frac{2}{3} \pi z^2 h$	$F = \frac{\pi z}{2} (4h + c)$	$x_0 = 0;$ $y_0 = \frac{3}{4} (z - \frac{h}{2})$
4	КОНУС 	$V = \frac{1}{3} \pi \cdot h \cdot z^2 =$ $= \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\alpha = \frac{360^\circ}{l} \times \frac{D}{2};$ $M_{\text{бок}} = \frac{\pi D}{2} \times l;$ $F_{\text{осн}} = \frac{\pi D^2}{4};$ $F_{\text{полн}} = F_{\text{осн}} + M =$ $= \frac{\pi D}{2} (\frac{D}{2} + l)$	$x_0 = 0;$ $y_0 = \frac{1}{4} h$
5	ТОР 	$V = \frac{\pi^2 D d^2}{4}$ $\approx 2,47 D d^2$	$F = \pi^2 D d =$ $\approx 9,87 \cdot D \cdot d;$	$x_0 = 0;$ $y_0 = 0$

ПРИЛОЖЕНИЕ I (ПРОДОЛЖЕН.)

ПЛОЩАДИ И ЦЕНТРЫ ТЯЖЕСТИ
ФИГУР ПРОСТЕЙШЕЙ ФОРМЫ:

№г/п/п	НАИМЕНОВАНИЕ	СХЕМА	ПЛОЩАДЬ	ПОЛОЖЕНИЕ ЦТ
1	ПАРАЛЛЕЛОГРАММ		$F = ah$	C - ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ДИАГОНАЛЕЙ $y_c = \frac{h}{2}$
2	ТРЕУГОЛЬНИК		$F = \frac{1}{2} ah$	$x_c = \frac{1}{3} (x_1 + x_2 + x_3)$ x_1, x_2, x_3 - КООРДИНАТЫ ВЕРШ О, А, В $y_c = \frac{1}{3} h$ Т.С. - ПЕРЕСЕЧЕНИЕ МЕДИАН
3	КРУГОВОЙ СЕКТОР		$F = \frac{1}{2} R \cdot l$ $F = \alpha R^2$ $b = 2R \sin \alpha$ $l_{AB} = 0,017 R \alpha$	$x_c = 0$ $y_c = \frac{2R \sin \alpha}{3\alpha} = \frac{R^2 b}{3F} = 38,2 \frac{R \sin \alpha}{\alpha}$
4	ПОЛУКРУГ		$F = \frac{\pi D^2}{8} = \approx 0,393 D^2$	$x_c = 0$ $y_c = \frac{4R}{3\pi} = 0,424 R \approx 0,212 D$
5	КРУГОВОЙ СЕГМЕНТ		$F = \frac{R^2}{2} (2\alpha - \sin 2\alpha)$ $\alpha = \frac{\pi \alpha^\circ}{180^\circ}$ $b = 2R \sin \alpha$	$x_c = 0$ $y_c = \frac{4R \sin^3 \alpha}{3(2\alpha - \sin 2\alpha)} = \frac{b^3}{12F}$
6	ДУГА ОКРУЖНОСТИ		ДУГА \widehat{ADB} $l_{AB} = \frac{\pi D \alpha^\circ}{360^\circ} =$ ХОРДА АВ $l_{AB} = 2R \sin \alpha$ СТРЕЛА FD $f = R(1 - \cos \alpha^\circ)$	$x_c = 0$ $y_c = R \frac{\sin \alpha}{\alpha}$ Для ПОЛУКРУЖНОСТИ $y_c = 0,636 R$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ КОНСТРУКЦИЙ

I ОБЩИЙ СЛУЧАЙ

РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА

№№ эл. п/п	ВЕС ЭЛЕМЕНТОВ G_i , ДАН	КОординАТЫ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ В М			$G_i X_i$	$G_i Y_i$	$G_i Z_i$	ПРИМЕЧАНИЯ (РАСЧЕТ КООрДИНАТ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ)
		X_i	Y_i	Z_i				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	G_1	X_1	Y_1	Z_1	$G_1 X_1$	$G_1 Y_1$	$G_1 Z_1$	$X_1 =$; $Y_1 =$; $Z_1 =$;
2	G_2	X_2	Y_2	Z_2	$G_2 X_2$	$G_2 Y_2$	$G_2 Z_2$	$X_2 =$; $Y_2 =$; $Z_2 =$;
...
n	G_n	X_n	Y_n	Z_n	$G_n X_n$	$G_n Y_n$	$G_n Z_n$	$X_n =$; $Y_n =$; $Z_n =$;
	$G = \sum G_i$	-	-	-	$\sum G_i X_i$	$\sum G_i Y_i$	$\sum G_i Z_i$	- - -
$X_c = \frac{\sum G_i X_i}{G} = \frac{G_1 X_1 + G_2 X_2 + \dots + G_n X_n}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} ; \quad Y_c = \frac{\sum G_i Y_i}{G} ; \quad Z_c = \frac{\sum G_i Z_i}{G} ;$								

X_c, Y_c, Z_c - координаты ЦТ всей конструкции

$\sum G_i X_i, \sum G_i Y_i, \sum G_i Z_i$ - алгебраическая сумма произведений веса элемента на соответствующую координату ЦТ этого же элемента

$G = \sum G_i = G_1 + G_2 + \dots + G_n$ - вес всей конструкции

II ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ

а. Однородный объем (плотность $\rho = const$)

$$X_c = \frac{\sum V_i X_i}{V} ; \quad Y_c = \frac{\sum V_i Y_i}{V} ; \quad Z_c = \frac{\sum V_i Z_i}{V} ; \quad \text{где } V = V_1 + V_2 + \dots + V_n = \sum V_i$$

б. Плоские конструкции

(составные сечения, поверхности с вырезами)

$$X_c = \frac{S_y}{F} = \frac{\sum F_i X_i}{F} ; \quad \text{где } S_x, S_y - \text{статические моменты площади всей фигуры относительно осей } X \text{ и } Y, \text{ в см}^3$$

$$Y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{\sum F_i Y_i}{F} ; \quad F = \sum F_i - \text{площадь всей фигуры в см}^2 (\sum F_i = F_1 + F_2 + \dots + F_n)$$

в. Линейные конструкции

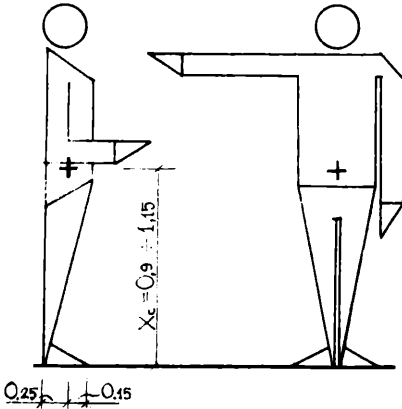
(бруски, стержни, трубы)

РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА

№№ эл. п/п	Длина элементов L_i , М	КОординАТЫ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ В М			$L_i X_i$	$L_i Y_i$	$L_i Z_i$	ПРИМЕЧАНИЯ (РАСЧЕТ КООрДИНАТ ЦТ ЭЛЕМЕНТОВ)
		X_i	Y_i	Z_i				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	L_1	X_1	Y_1	Z_1	$L_1 X_1$	$L_1 Y_1$	$L_1 Z_1$	$X_1 =$; $Y_1 =$; $Z_1 =$;
2	L_2	X_2	Y_2	Z_2	$L_2 X_2$	$L_2 Y_2$	$L_2 Z_2$	$X_2 =$; $Y_2 =$; $Z_2 =$;
...
n	L_n	X_n	Y_n	Z_n	$L_n X_n$	$L_n Y_n$	$L_n Z_n$	$X_n =$; $Y_n =$; $Z_n =$;
	$L = \sum L_i$	-	-	-	$\sum L_i X_i$	$\sum L_i Y_i$	$\sum L_i Z_i$	- - -
$X_c = \frac{\sum L_i X_i}{L} = \frac{L_1 X_1 + L_2 X_2 + \dots + L_n X_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} ; \quad Y_c = \frac{\sum L_i Y_i}{L} ; \quad Z_c = \frac{\sum L_i Z_i}{L}$								

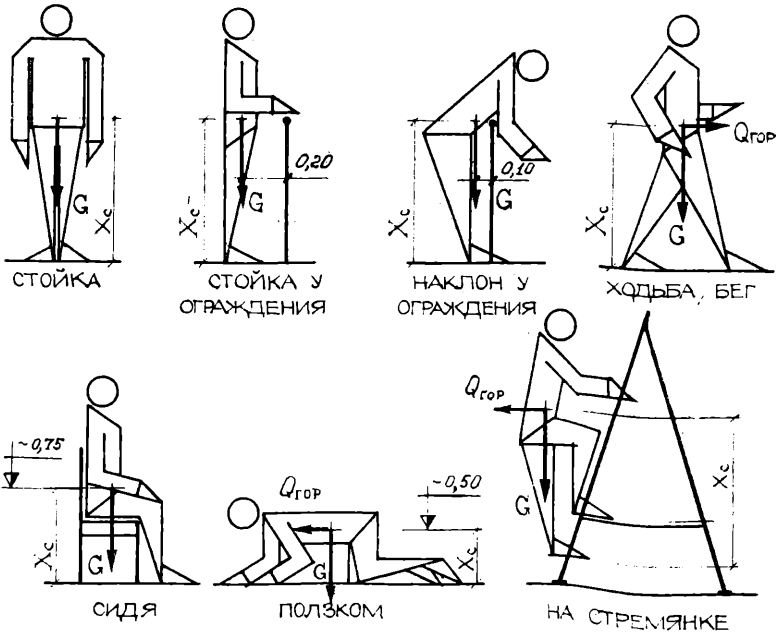
ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ АКТЁРА
ПРИ ОБЫГРЫВАНИИ ДЕКОРАЦИЙ

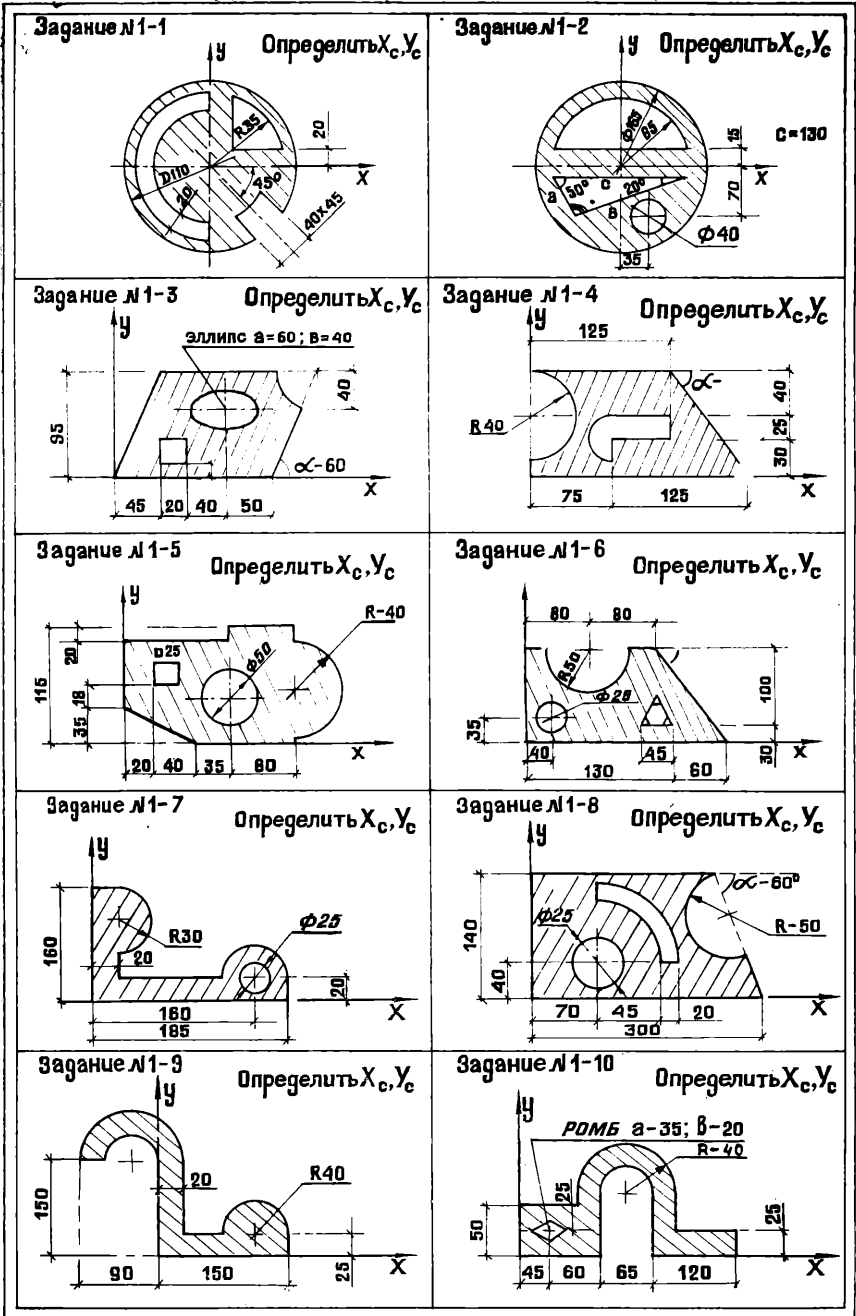
ОСНОВНЫЕ РАСЧЁТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:



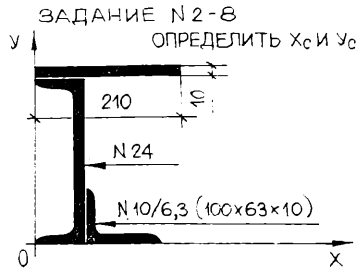
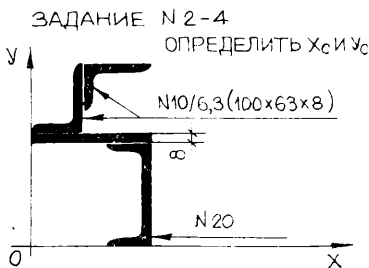
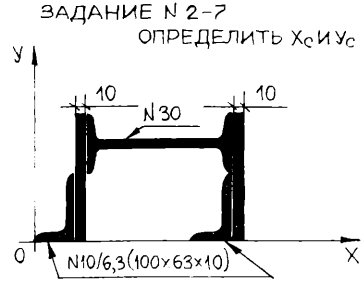
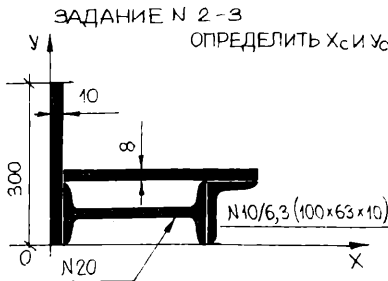
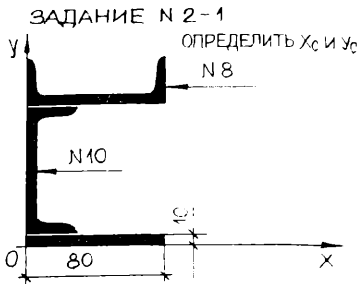
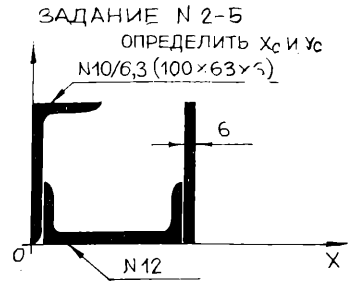
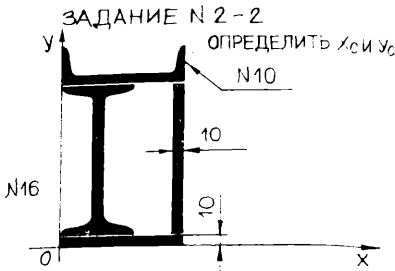
Рост	— 180 см
Ширина в плечах	— 60 см.
Толщина туловища	— 40 см.
Высота центра тяжести	— 100-115 см
Масса	— 80 кг
Величина горизонтального импульса:	
- АКТЁР СТОИТ НЕПОДВИЖНО НА НАСТИЛЕ ИЛИ У ОГРАЖДЕНИЯ	—
- УМЕРЕННАЯ ХОДЬБА	0,10 р
- СПОКОЙНЫЙ БЕГ	0,15 р
- АКТИВНАЯ ЖЕСТИКУЛЯЦИЯ	0,15 р
- ПРИСЕДАНИЯ	0,15 р
- ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПОРУ, ТАНЦЫ	0,2 р
	И БОЛЕЕ

ХАРАКТЕРНЫЕ ПОЗЫ АКТЁРОВ

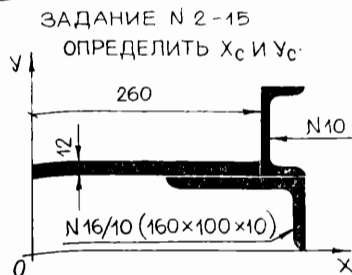
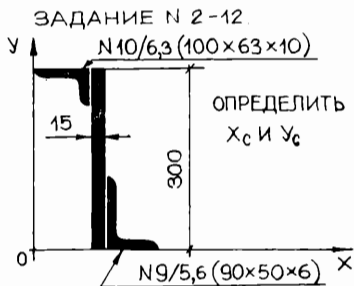
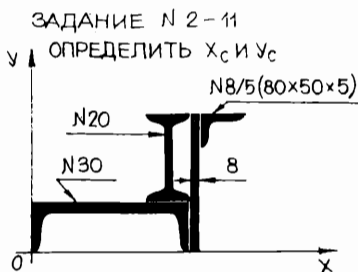
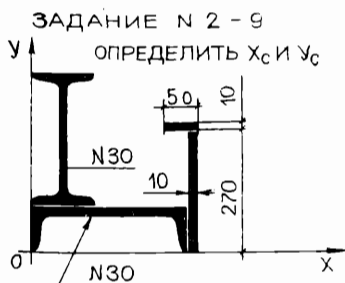




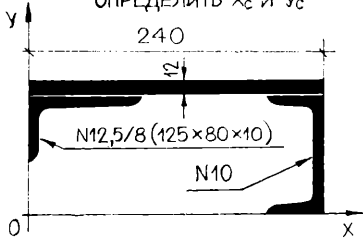
ЗАДАНИЕ 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ ФИГУРЫ С ВЫРЕЗАМИ



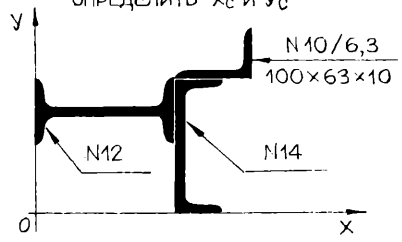
**ЗАДАНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ СЕЧЕНИЯ,
СОСТАВЛЕННОГО ИЗ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ**



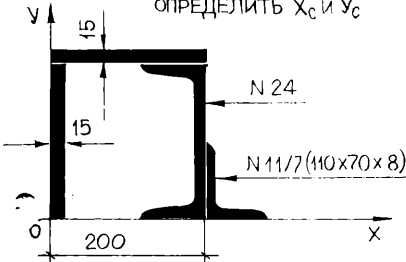
ЗАДАНИЕ N 2-17
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



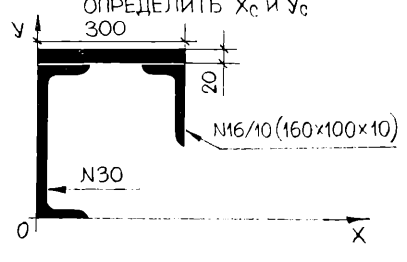
ЗАДАНИЕ N 2-18
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



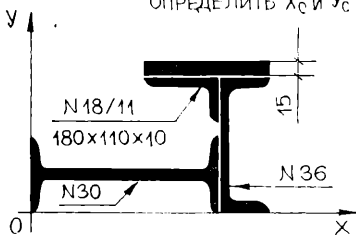
ЗАДАНИЕ N 2-19
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



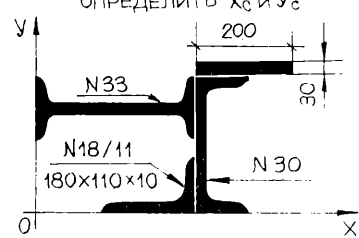
ЗАДАНИЕ N 2-20
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



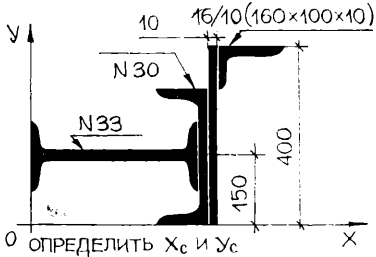
ЗАДАНИЕ N 2-21
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



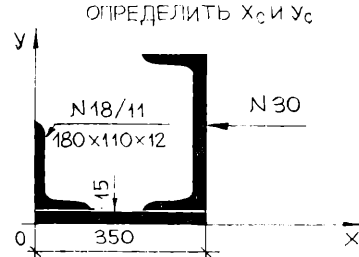
ЗАДАНИЕ N 2-22
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c

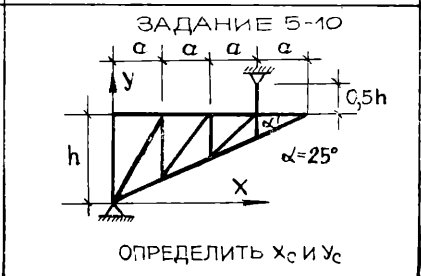
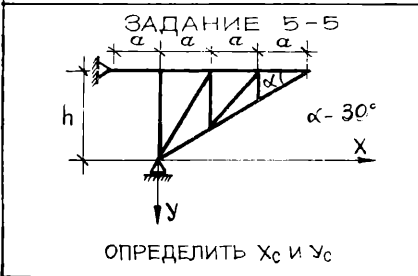
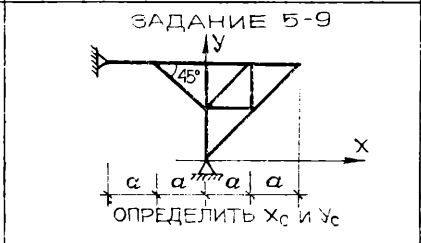
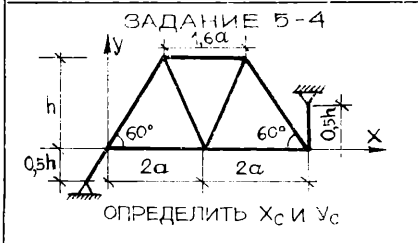
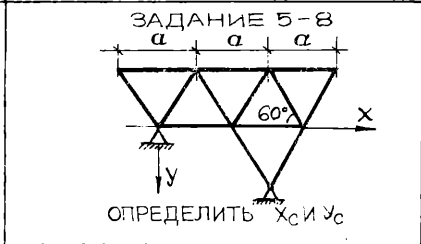
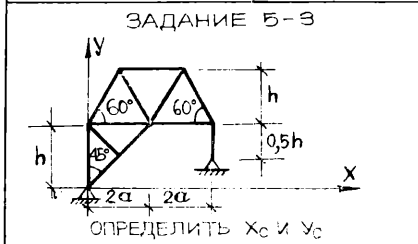
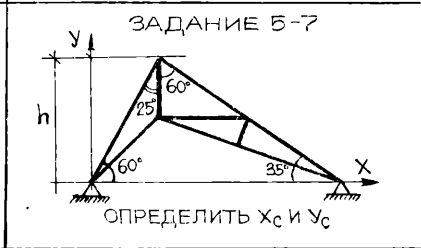
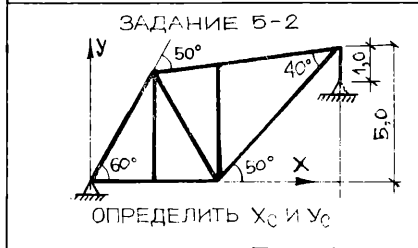
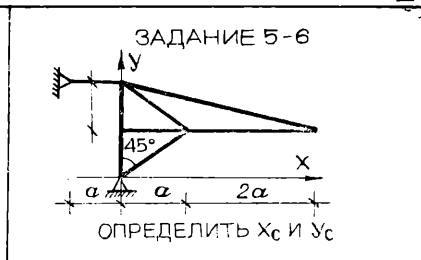
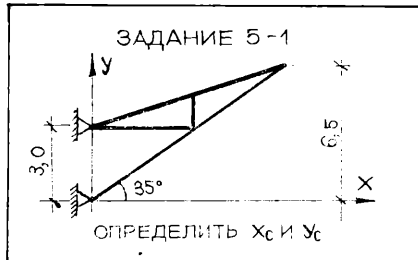


ЗАДАНИЕ N 2-23
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c



ЗАДАНИЕ N 2-24
ОПРЕДЕЛИТЬ X_c И Y_c





ЗАДАНИЕ 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ КОСУГОЛЬНЫХ ФЕРМ ИЗ ТРУБ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ ТЕАТРАЛЬНЫХ ДЕКОРАЦИЙ ОПЫТНЫМ ПУТЕМ

Приложение VI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ ТЕАТРАЛЬНЫХ ДЕКОРАЦИЙ ОПЫТНЫМ ПУТЕМ

В театральной практике нередко возникает необходимость определения ЦТ для декораций, выполненных из неоднородных материалов. Например, сочетание дерева, фанеры, черных и цветных металлов или декораций, сочетающих сложные геометрические формы, (как, например, стенки, ворота, ограды, арки) имеющие большое количество криволинейных элементов. В этих случаях аналитические и графические способы нахождения ЦТ декораций являются весьма трудоемкими и тогда удобнее и гораздо точнее положение ЦТ можно определить опытным путем.

Для определения ЦТ опытным путем необходимо иметь кусочек мела и обычный отвес - шпагат или тонкий трос с небольшим грузом на конце. Работа по нахождению ЦТ для театральных декораций может происходить следующим образом:

Вначале к штанкете, опущенному вниз, прикрепляют отвес и к отвесу в точке „А“ (рис. VI-1) закрепляют декорацию. Точка А на декорации фиксируется мелом. Затем отвес вместе с декорацией поднимается. Естественно, что ЦТ займет наиболее низкое из всех возможных положений, т.е. расположится вдоль линии отвеса на одной вертикали с точкой А по линии А-А₁. Эту линию необходимо зафиксировать на декорации. Первоначально возможно мелом отметить положение точки А₁, а затем, опустив декорацию, на планшете „отбить“ на декорации намеленным шнурком линию А-А₁.

Затем ту же операцию продлевают, закрепив декорацию на отвесе в точке „В“ (рис. VI-2). Точка пересечения линий АА₁ и ВВ₁ является ЦТ декорации. Однако по двум подвешиваниям нельзя судить о точности полученного результата ввиду весьма различных

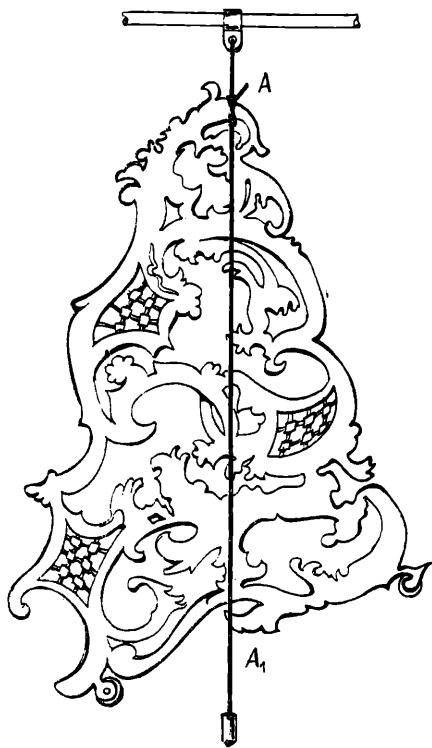


рис. VI - 1

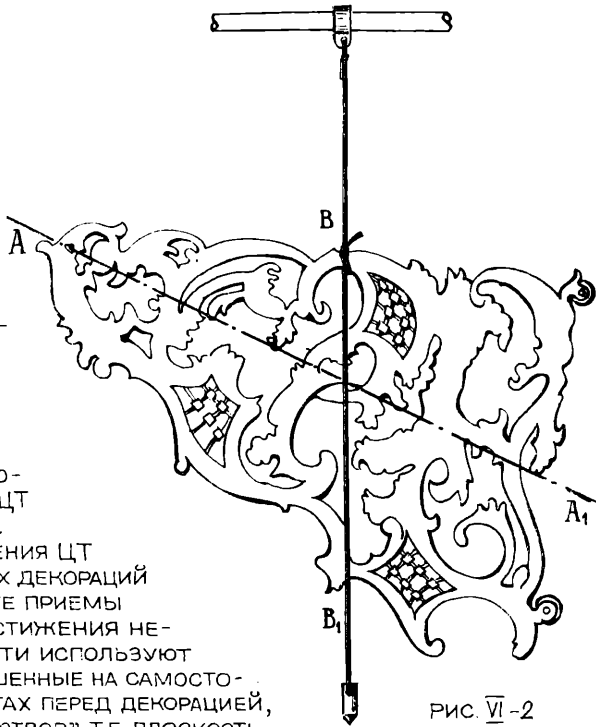
практических обстоятельств, в том числе и случайных ошибок. Для контроля полученного результата необходимо провести еще и третье, контрольное подвешивание декорации.

При третьем подвешивании линия EE_1 , как правило, не пересекается с линиями AA_1 и BB_1 в одной точке, а образуют треугольник abc , таким образом ЦТ данной декорации лежит в пределах полученного треугольника. Если размеры треугольника получились значительными, то следует произвести еще одно подвешивание при новом положении декорации (например, линия DD_1) и затем выбрать те три линии, которые дадут наименьший треугольник (рис. VI-3).

В тех случаях, когда определяется ЦТ в полых декорациях типа шара, сферических поверхностей рекомендуется линии AA_1 ; BB_1 ; EE_1 ; DD_1 соединять шнурами или резинками, наглядно указывающими положение ЦТ таких декораций.

Для определения ЦТ крупных объемных декораций используются те же приемы работы, но для достижения необходимой точности используют два отвеса, подвешенные на самостоятельных штанкетах перед декорацией, которые образуют „створ“, т.е. плоскость сечения, проецируемую на декорацию. В тех случаях, когда на планшете нанесена краской ось сцены весьма удобно отвесы располагать точно над этой осью.

Добавляя грузы, например мешочки с песком, можно регулировать положение ЦТ декорации, т.е. понижать, повышать, отосить в сторону центр тяжести. Такая „балансировка“ особенно важна для кинетических, движущихся декораций и при создании сценических эффектов.



Приложение VI (продолжение)

ЦТ ДЕКОРАЦИИ
- ТОЧКА С
 $x_c = a = 0,40 \text{ М}$
 $y_c = h = 1,80 \text{ М}$

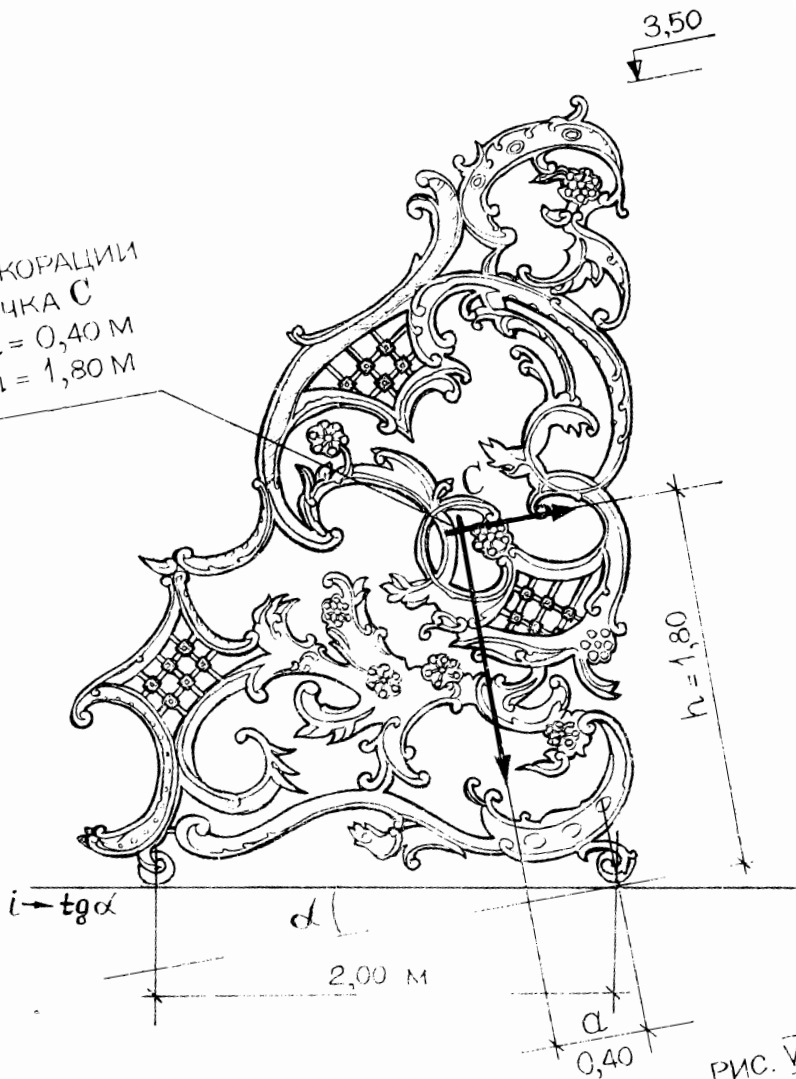
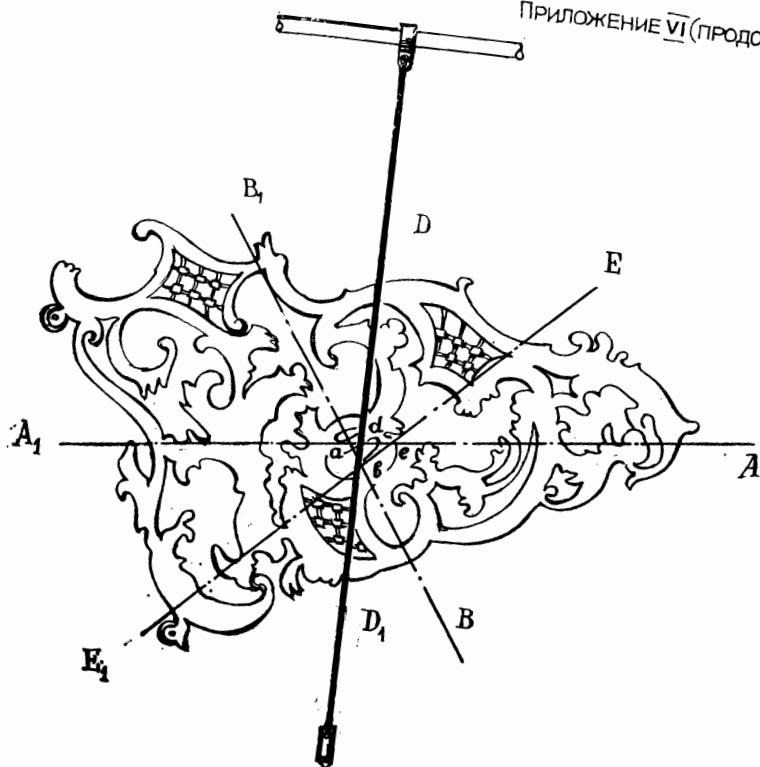


Рис. VI-3

ПРИЛОЖЕНИЕ VI (ПРОДОЛЖЕНИЕ)



ПРИЛОЖЕНИЕ VII

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ УГЛОВ ДО 15°, НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ В РАСЧЕТАХ ТЕАТРАЛЬНЫХ ДЕКОРАЦИЙ

i, 1/n	α°	tg α	sin α	cos α
—	0°30'00"	0,008727	0,008727	0,999962
—	1°00'00"	0,017455	0,017452	0,999848
0,02	1°08'45"	0,020000	0,020000	0,999800
—	1°30'00"	0,026186	0,026177	0,999657
0,03	1°43'08"	0,030000	0,029996	0,999550
—	2°00'00"	0,034921	0,034900	0,999391
0,04	2°17'30"	0,040019	0,039986	0,999200
0,05	2°51'30"	0,050026	0,049964	0,998751
—	3°00'00"	0,052408	0,052336	0,998630
0,06	3°26'09"	0,060044	0,059936	0,998202
—	4°00'00"	0,069927	0,069756	0,997564
0,07	4°00'20"	0,070024	0,069853	0,997557
0,08	4°34'30"	0,080019	0,079764	0,996814
—	5°00'00"	0,087489	0,087156	0,996195
0,09	5°08'40"	0,090020	0,089667	0,995972
1/10	5°42'40"	0,100009	0,099513	0,995036
—	6°00'00"	0,105104	0,104528	0,994522
1/9	6°20'25"	0,111113	0,110433	0,993884
—	7°00'00"	0,122785	0,121869	0,992546
1/8	7°07'30"	0,125000	0,124034	0,992278
0,13	7°24'30"	0,130025	0,128940	0,991652
—	8°00'00"	0,140541	0,139173	0,990268
1/7	8°07'48"	0,142857	0,141429	0,989950
0,15	8°31'52"	0,150000	0,148347	0,988936
—	9°00'00"	0,158384	0,156434	0,987688
0,16	9°05'25"	0,160000	0,157991	0,987441
1/6	9°27'31"	0,166667	0,164335	0,986406
0,17	9°38'53"	0,170000	0,167615	0,985853
—	10°00'00"	0,176327	0,173648	0,984808
0,18	10°12'20"	0,180029	0,177180	0,984178
0,19	10°45'30"	0,190007	0,186667	0,982423
—	11°00'00"	0,194380	0,190809	0,981627
1/5	11°18'40"	0,200021	0,196136	0,980577
—	12°00'00"	0,212557	0,207915	0,978148
—	13°00'00"	0,230868	0,224951	0,974370
—	14°00'00"	0,249328	0,241922	0,970296
1/4	14°02'19"	0,250000	0,242575	0,970013
—	15°00'00"	0,267949	0,258819	0,965926

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ
НА КОНСТРУКТИВНУЮ РАЗРАБОТКУ ДЕКОРАЦИИ
СПЕКТАКЛЯ _____
ТЕАТРА _____

Исходные данные: 1. МАКЕТ художника .

2. ГАБАРИТНЫЕ РАЗМЕРЫ КРУГА $D_1 = 3,60$ м
с тремя отверстиями: $D_2 = 1,65$ м ; $D_3 = 0,70$ м и прямоуголь-
ного отверстия $1,30 \times 0,50$ м.

Особые условия: 1. Круг поворачивается актерами по ходу
действия. Для достижения кругом безразличного равновесия
проверить возможность совмещения оси вращения круга
(точка O_1) с ЦТ конструкции.

2. Предельные габариты декораций не
должны превышать $Д \times Ш \times В = 4,0 \times 2,20 \times 0,80$ м.

3. Изготовление декораций намечено в
мастерских театра с применением недефицитных материалов .

Решение: 1. С макета или габаритных чертежей художника
снимаем размеры и вычерчиваем заданную фигуру в масштабе
или составляем схему . (Рис. VIII -1)

2. Ориентируем сечение и проводим оси координат.
Начало координат принимаем в центре круга (точка O_1).

3. Разбиваем плоское сечение на отдельные фигуры,
центры тяжести которых заранее известны.

4. Определяем ЦТ всей фигуры (см. таблицу).

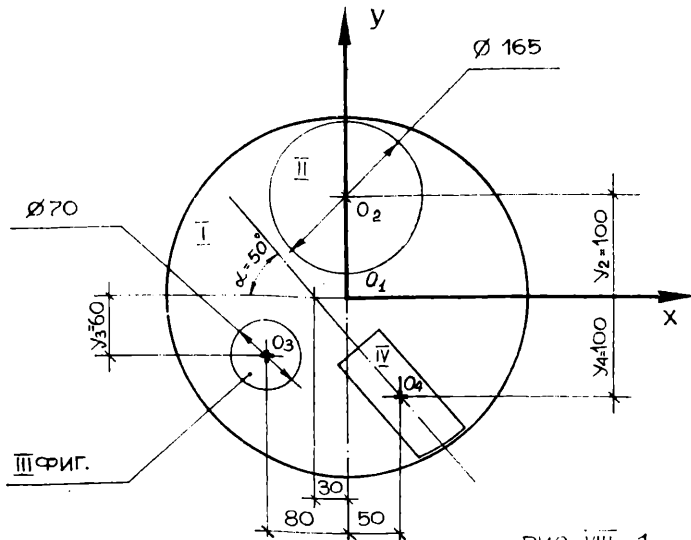
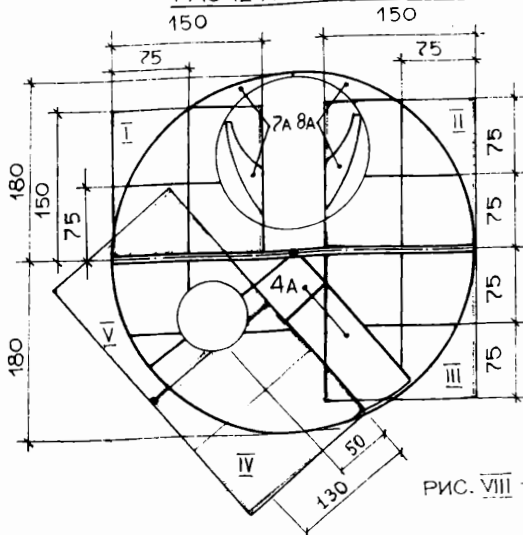


Рис. VIII -1

№№ ФИГ.	ПЛОЩАДЬ ФИГУР	КООРДИНАТЫ ЦТ ФИГУР		СТАТИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ ФИГ.		ПРИМЕЧАНИЯ, РАСЧЕТЫ
		F_i	x_i	y_i	$S_y = x_i \cdot F_i$	
п/п	м ²	м	м	м ³		
1	10,20	0,00	0,00	--	--	$F_1 = 0,785 \cdot D_1^2 = 0,785 \cdot 3,6^2 =$ $= 0,785 \cdot 12,96 = 10,20 ;$ $x_1 = 0,00 ; y_1 = 0,00$
2	-2,14	0,00	1,00	--	-2,14	$F_2 = 0,785 \cdot D_2^2 = 0,785 \cdot 1,65^2 =$ $= 0,785 \cdot 2,72 = 2,14 ;$ $x_2 = 0,00 ; y_2 = 1,00$
3	-0,38	-0,80	-0,60	0,30	0,23	$F_3 = 0,785 \cdot D_3^2 = 0,785 \cdot 0,7^2 =$ $= 0,785 \cdot 0,49 = 0,38 ;$ $x_3 = 0,80 ; y_3 = 0,60 ;$
4	-0,65	0,50	-1,00	-0,33	0,65	$F_4 = B_4 \cdot H_4 = 0,5 \cdot 1,30 =$ $= 0,65 ;$ $x_4 = 0,50 ; y_4 = -1,00 ;$
$F = +6,03$	--	--	--	-0,03	-1,26	$F = 10,2 - 2,14 - 0,38 - 0,65 =$ $= +6,03 ;$
$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{-0,03}{6,03} = 0,005 \text{ м}; \quad y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{-1,26}{6,03} = -0,21 \text{ м};$						

5. РАЗРАБАТЫВАЕМ РАЦИОНАЛЬНУЮ СХЕМУ РАСКРОЯ ЛИСТОВ 3×4 мм ФАНЕРЫ, НАМЕЧАЕМ СТЫКИ ЛИСТОВ. (РИС VIII-2)

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА РАСКРОЯ (размеры в см)



Общая потребность на изделие - 5 листов 1,5 м × 1,5 м;
 При площади круга без отверстий 10,2 м², расход 5 листов - 11,25 м².
 Потери - 10%.
 Вес фанеры на круг с учетом вырезов ~ 17 кг.
 По справочным данным:
 Масса 1 м² 4-х мм фанеры в сухом состоянии 2,75 ÷ 3,0 кг.
 Масса 1 листа 1,5 × 1,5 м при t = 4 мм 5,2 ÷ 6,8 кг.
 Объем - 0,01 м³/лист.

РИС. VIII - 2

6. НАМЕЧАЕМ КОНСТРУКЦИЮ КАРКАСА ИЗ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДИА-
МЕТРОМ 20 x 18 мм (ВОЗМОЖЕН ВАРИАНТ ИЗ ДЕРЕВЯННЫХ БРУС-
КОВ 3,5 x 7,5 см и ДР. ВАРИАНТЫ). ПРИНИМАЕМ МАКСИМАЛЬНЫЙ ПРО-
ЛЕТ ДЛЯ 4x мм ФАНЕРЫ НЕ МЕНЕЕ 1/2 ШИРИНЫ ЛИСТА - 0,75 м И
ЗАВЕРШАЕМ КОНСТРУИРОВАНИЕ КАРКАСА СО СЛЕДУЮЩИМИ ТЕХНИ-
ЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЮ:

- 1). НА „СКЛАДЕ ВНУТРИ” ПРИВАРИТЬ ПО МЕСТУ 4 НЕРАЗЪЕМНЫЕ ПЕТЛИ, ОБЕСПЕЧИВ ЗАЗОР МЕЖДУ ПЛОСКОСТЯМИ НЕ МЕНЕЕ 20 мм.
- 2). В МЕСТАХ СТЫКОВКИ ЛИСТОВ ФАНЕРЫ МЕЖДУ СОБОЙ И ВНЕШ-
НИМ КОНТУРОМ ЛИСТОВ НА ТРУБЫ „ЗАПОДЛИЦО” ПРИВАРИТЬ УШКИ ИЗ
СТАЛЬНОЙ ПОЛОСЫ 15x30 мм, ТОЛЩИНОЙ 2-3 мм С ОТВЕРСТИЯМИ
2,5-3,5 мм ПОД ЗАКЛЕПКИ. В СРЕДНЕЙ ЧАСТИ ЛИСТЫ ЗАКРЕПЛЯЮТСЯ
ЗАКЛЕПКАМИ ЧЕРЕЗ ТРУБЫ.
- 3). С НЕВИДИМОЙ ЗРИТЕЛЮ СТОРОНЫ НА КАРКАС ПРИВАРИТЬ ПО
МЕСТУ В 3x РЯДАХ ПО 4 СКОБЫ В КАЖДОМ ДЛЯ ПРОПУСКА РАСШИВНЫХ
БРУСКОВ. БРУСКИ ДОЛЖНЫ ПРОХОДИТЬ ВНЕ ЗОНЫ ОТВЕРСТИЙ.
- 4). ПЕРЕД ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ФАНЕРЫ КАРКАС ДОЛЖЕН БЫТЬ ОКРАШЕН
В СЕРЫЙ ЦВЕТ.

7. ОПРЕДЕЛЯЕМ ЦТ КАРКАСА. ДЛЯ УДОБСТВА РАСЧЕТОВ, ОПРЕДЕ-
ЛЕНИЕ ЦТ КАРКАСА ПРОВЕДЕМ РАЗДЕЛЬНО ДЛЯ I-ОЙ „ВЕРХНЕЙ” ЧАСТИ
И II-ОЙ „НИЖНЕЙ” ЧАСТИ. (РИС. VIII-3, VIII-4)

ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ КАРКАСА ИМЕЕТ ОСЬ СИММЕТРИИ И, СЛЕДОВАТЕЛЬНО,
НЕОБХОДИМО НАЙТИ ТОЛЬКО Y_{C1} , ПРИ ЭТОМ ДЛЯ I ЭЛЕМЕНТА ЦТ ПОЛУ-
ОКРУЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ $X_I = 0,00$; $Y_I = 0,636 R = 0,636 \cdot 1,80 = 1,21$ м;
ДЛЯ НИЖНЕЙ ЧАСТИ КАРКАСА НЕОБХОДИМО ОПРЕДЕЛИТЬ ОБЕ КООР-
ДИНАТЫ. ПОЛОЖЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ КАРКАСА БЕЗ УЧЕТА СКОБ, ЛА-
ПОК, ПЕТЕЛЬ И Т.П. ЛЕГКО ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ,
ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ТАБЛИЦАХ 2, 3.

$$X_C = \frac{S_y^I + S_y^{II}}{L_I + L_{II}} = \frac{-1,67}{20,45 + 23,64} = -0,04 \text{ м};$$

$$Y_C = \frac{S_x^I + S_x^{II}}{L_I + L_{II}} = \frac{16,80 + (-17,92)}{20,45 + 23,64} = \frac{-1,12}{44,09} = -0,03 \text{ м};$$

I ВЕРХНЯЯ ЧАСТЬ КАРКАСА.

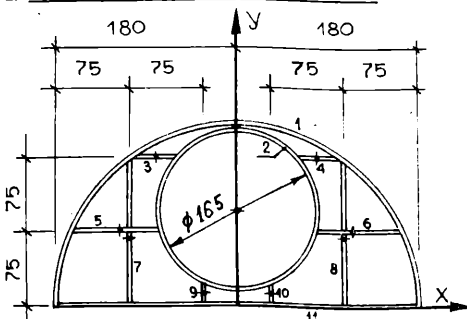


РИС. VIII - 3

ТАБЛ. 2

№№ эл. Члн	L_i , м	Y_i , м	$S_x = Y_i L_i$
1	5,65	1,21	6,84
2	5,18	1,00	5,18
3	0,40	1,50	0,60
4	0,40	1,50	0,60
5	0,88	0,75	0,66
6	0,88	0,75	0,66
7	1,45	0,75	1,09
8	1,45	0,75	1,09
9	0,28	0,14	0,04
10	0,28	0,14	0,04
11	3,60	0,00	0,00
$L_I = 20,45$		-	16,80
$Y_{IC} = \frac{16,80}{20,45} = 0,82$ м;			
$X_{IC} = 0,00$ м;			

II Нижняя часть каркаса.

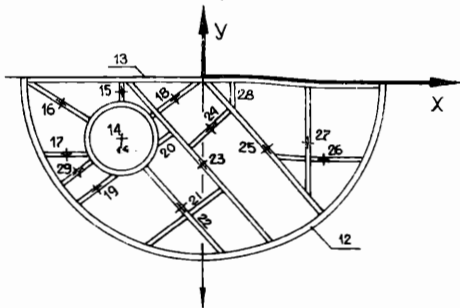


РИС. VIII-4

ТАБЛ. 3

ННЭЛ. п/п	$L_i, \text{м}$	$X_i, \text{м}$	$Y_i, \text{м}$	$S_y = X_i \cdot L_i$	$S_x = Y_i \cdot L_i$
12	5,65	0,00	-1,21	0,00	-6,84
13	3,60	0,00	-0,00	0,00	0,00
14	2,20	-0,80	-0,60	-1,76	-1,32
15	0,20	-0,80	-0,10	-0,16	-0,02
16	0,75	-1,45	-0,25	-1,09	-0,19
17	0,46	-1,40	-0,70	-0,64	-0,32
18	0,56	-0,30	-0,20	-0,17	-0,11
19	0,54	-1,00	-1,15	-0,54	-0,62
20	0,26	-0,32	-0,56	-0,08	-0,15
21	1,10	-0,22	-1,28	-0,24	-1,41
22	1,16	-0,16	-1,35	-0,19	-1,57
23	2,08	+0,08	-0,92	+0,17	-1,91
24	0,50	+0,10	-0,45	+0,05	-0,23
25	1,75	+0,60	-0,70	+1,05	-1,23
26	0,97	+1,04	-0,75	+1,01	-0,73
27	1,16	+1,05	-0,60	+1,22	-0,70
28	0,30	+0,30	-0,18	+0,09	-0,05
29	0,40	-0,90	-1,30	-0,36	-0,52
$L_{II} = 23,64$		-	-	-1,67	-17,92
$X_{IIc} = \frac{-1,67}{23,64} = -0,07 \text{ м};$		$Y_{IIc} = \frac{-17,92}{23,64} = -0,76 \text{ м};$			

8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦТ КОНСТРУКЦИИ КРУГА НЕ ПРЕДСТАВИТ ЗАТРУДНЕНИЙ, ЕСЛИ ПРИНЯТЬ, ЧТО КАРКАС ИЗГОТОВЛИВАЕТСЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 20x18 мм. ТОГДА, ПРИ МАССЕ 1 ПОГ. М ТРУБЫ 0,47 кг и РАСХОДЕ ТРУБ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАРКАСА 44,1 ПОГ. М, ОБЩИЙ ВЕС КАРКАСА СОСТАВИТ 44,1 x 0,47 = 20,73 кгс. ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ КОНСТРУКЦИИ КРУГА:

$$X_c = \frac{G_{\text{Ф}} \cdot X_{\text{Ф}} + G_{\text{К}} \cdot X_{\text{К}}}{G_{\text{Ф}} + G_{\text{К}}} = \frac{17,0 \cdot (-0,005) + 20,73 \cdot 0,04}{17,0 + 20,73} = \frac{-0,085 + 0,829}{37,73} =$$

$$X_c = \frac{0,744}{37,73} = 0,020 \text{ м};$$

$$Y_c = \frac{G_{\text{ф}} \cdot Y_{\text{ф}} + G_{\text{к}} \cdot Y_{\text{к}}}{G_{\text{ф}} + G_{\text{к}}} = \frac{17,0 \cdot (-0,21) + 20,73 \cdot 0,03}{17,0 + 20,73} = \frac{-3,57 + 0,622}{37,73} =$$

$$= \frac{-2,95}{37,73} = -0,078 \text{ м};$$

Из приведенного расчета видно, что ЦТ круга отстоит от геометрического центра круга точки O_1 на 8,05 см и расположен под углом от вертикальной оси $14^\circ 20'$

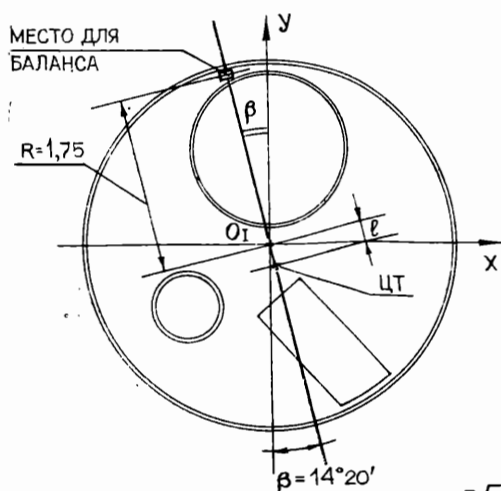
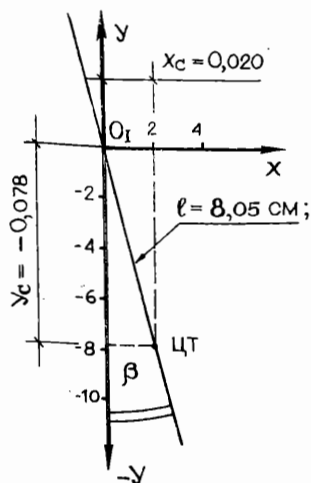


РИС. VIII - 5



$$l = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2} = \sqrt{2,0^2 + 7,8^2} = \sqrt{4,0 + 60,84} =$$

$$= \sqrt{64,84} = 8,05 \text{ см};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{X_c}{Y_c} = \frac{2,0}{7,8} = 0,2564; \quad \beta = 14^\circ 20';$$

$$\operatorname{Sin} \beta = 0,2479;$$

$$\operatorname{Cos} \beta = 0,9688;$$

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БАЛАНСА И ЕГО ВЕСА. (Рис. VIII-5)

Для совмещения оси O_1 с ЦТ конструкции необходимо в конструкцию ввести „баланс”, т.е. такой груз, который бы ЦТ конструкции привел в точку O_1 . Отложив транспортиром угол $\beta = 14^\circ 20'$, убеждаемся, что линия пересечет большое отверстие и для размещения баланса остается расстояние в пределах от 1,80 до 1,70 м.

Принимаем расчетное плечо для баланса 1,75 м. Тогда вес баланса, при котором ЦТ конструкции совпадет с точкой O_1 составит

$$Q \times R = G \times l;$$

$$Q_{\text{бал}} = G \times \frac{e}{R} = 37,73 \times \frac{8,05}{175} = 1,74 \text{ ДАН,}$$

ГДЕ $Q_{\text{бал}}$ – ВЕС БАЛАНСА, ДАН;

G – ВЕС КОНСТРУКЦИИ КРУГА, ДАН;

e – РАССТОЯНИЕ ОТ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ДО ЦТ КОНСТРУКЦИИ;

R – РАССТОЯНИЕ ОТ ОСИ ВРАЩЕНИЯ ДО ЦЕНТРА БАЛАНСА;

Из расчета видно, что грузом до 2,0 дан при плече 1,75 м можно будет отбалансировать круг и создать безразличное равновесие. Работы по балансировке должны выполняться после изготовления всей конструкции, так как в расчетах не учтен (да в этом и нет необходимости) вес различных мелких изделий (лапок, скоб, брусков, ткани, клея и т.п.)

На основании проделанной проектной проработки можно определить расход основных материалов, подсчитать стоимость их приобретения и изготовления, решить вопросы проката спектакля и проч.

Кроме того, определив опорные реакции оси, на которой вращается круг, можно определить его воздействие на станок.

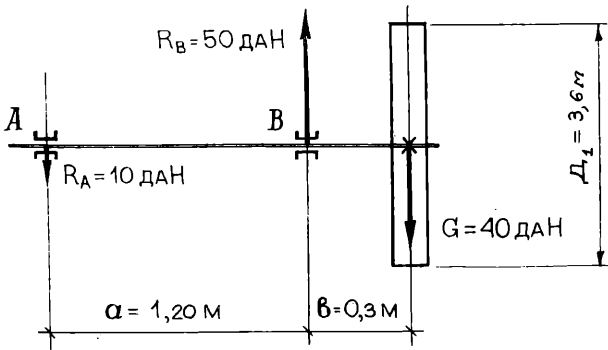


РИС. VIII - 6

$$R_A = G \frac{b}{a} = 40 \cdot \frac{0,3}{1,2} = -10 \text{ ДАН;}$$

$$R_B = G \frac{(a+b)}{a} = 40 \cdot \frac{1,2+0,3}{1,2} = 40 \cdot 1,25 = 50 \text{ ДАН.}$$

Проектные проработки должны комплексно охватывать все наиболее сложные вопросы конструирования театральных декораций.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава I. Теоретические основы определения центров тяжести различных фигур и тел	
§ 1. Понятие о центре параллельных сил	4
§ 2. Определение координат центра параллельных сил	6
§ 3. Понятие о центре тяжести тела. Определение центра тяжести твердых тел, составленных из разнородных и однородных материалов	7
Глава II. Устойчивость театральные декораций	
§ 1. Понятие об устойчивости равновесия тел	22
§ 2. Обеспечение устойчивости конструкций, имеющих точечную опору, ось вращения или опирающихся на плоскость	23
§ 3. Расчет устойчивости театральные декораций, расположенных на горизонтальной плоскости	28
§ 4. Расчеты устойчивости театральные декораций, расположенных на наклонной плоскости	32
Глава III. Примеры расчета устойчивости театральные декораций	36
Приложения	
Приложение I. Центры тяжести фигур и тел	61
Приложение II. Центры тяжести актера при обыгрывании декораций	64
Приложение III. Задание 1 — Определение центра тяжести фигуры с вырезами	65
Приложение IV. Задание 2 — Определение центра тяжести сечения, составленного из прокатных профилей	66
Приложение V. Задание 3 — Определение центра тяжести косоугольных ферм из труб	69
Приложение VI. Определение центра тяжести театральные декораций опытным путем	70
Приложение VII. Тригонометрические функции углов до 15° , наиболее часто встречающихся в расчетах театральные декораций	74
Приложение VIII. Методика конструктивной разработки движущейся декорации (расчет сценэфекта)	75

ВОЛОДАР ЯКОВЛЕВИЧ РЫВИН
Устойчивость театральных декораций
Учебное пособие

Редактор *Е. Хваленская*

Сдано в набор 22.05.87. Подписано в печать 25.12.87. М-15074. Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная». Высокая печать. Объем 5 уч.-изд. л. Тираж 1000 экз. ТП 1987, поз. 88. Заказ № 1253.
Цена 70 коп.

Ленинградский государственный институт театра, музыки и кинематографии
им. Н. К. Черкасова.
Ленинград, 191028. Моховая, 34

ПО-3 Ленуприздата.
191104, Ленинград, Литейный, 55

ДЛЯ ЗАМЕТОК
