

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**

29/15/10

**Одобрено кафедрой
«Железнодорожный путь,
машины и оборудование»**

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ МАШИН

**Руководство к выполнению
лабораторных работ
для студентов IV курса
специальности**

**190205.65 ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ,
ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

2-е издание

Москва — 2012

Составитель — канд. техн. наук, доц. В.С. Маляр

Рецензент — канд. техн. наук, доц. Е.П. Шеблыкин

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Выполнение лабораторных работ позволит студентам более глубоко изучить теоретическую часть курса, закрепить знания и приобрести некоторые навыки, необходимые при проведении научно-исследовательских работ.

Лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя. Перед проведением каждого занятия преподаватель инструктирует студентов о правилах техники безопасности и охраны труда, которые они обязаны выполнять при проведении данной работы.

Лабораторные работы выполняют группы состоящие из двух-трех человек. На некоторых установках и стендах допускается работа двух групп одновременно.

Каждый студент работает на строго закрепленным за ним месте. Переставлять приборы с одного рабочего места на другое без разрешения преподавателя запрещается.

Включать станки, приборы и другое оборудование можно только после подробного ознакомления с их устройством и с разрешения преподавателя.

При выполнении работы следует придерживаться последовательности, указанной в описании лабораторной работы.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

при проведении лабораторных работ

Перед началом цикла лабораторных работ студенты должны ознакомиться с настоящими правилами, противопожарными правилами и требованиями данной лаборатории.

1. Лабораторную работу надо выполнять только на исправном стенде (установке).
2. На одном стенде одновременно должны работать не менее двух человек.
3. Перед началом работы на стенде необходимо убедиться, что все выключатели стенда находятся в положении «Выключено».
4. Перед началом работы путем осмотра необходимо убедиться в надежном закреплении испытуемых узлов и агрегатов (генератор, прерыватель-распределитель и др.) и наличии защитных экранов. Об обнаруженных неисправностях или нарушении правил техники безопасности следует сообщить преподавателю или лаборанту.
5. Категорически запрещается включать стенд без разрешения преподавателя.
6. При проведении лабораторных работ на стенде все переключения и регулировки должен осуществлять один человек и только одной рукой. Вторая рука должна быть свободна и не касаться аппаратуры стенда.
7. Студентам запрещается производить какие-либо переключения и регулировки на стенде, не предусмотренные описанием лабораторной работы.
8. В случае неисправности электрического оборудования стенда, а также при появлении дыма, искрения или запаха перегретой изоляции необходимо немедленно обесточить стенд. О всех неисправностях следует сообщить преподавателю или лаборанту.
9. Во время проведения лабораторных работ запрещается отходить от машин и приборов, включенных в сеть.

Лабораторная работа № 1

Построение физической модели механической колебательной системы

Задание

Уяснить общие принципы работы типовой механической колебательной системы, ознакомиться с устройством демонстрационной модели и указать назначение ее составных частей.

Методические указания

Принять, что в данном случае колебательная механическая система (рис. 1) имеет одну степень свободы, где груз массой M , закрепленный на пружине с жесткостью C , под действием возмущающей силы $F = F_0 \sin \omega t$, колеблется в вязкой среде, сила сопротивления которой пропорциональна скорости перемещения груза.

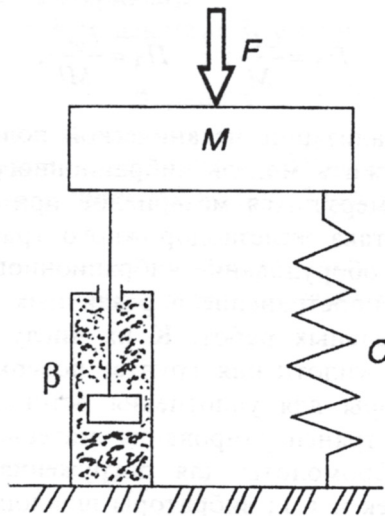


Рис. 1. Схема механической колебательной системы

Математическое описание процесса движения груза относительно начала координат, выбранного в точке статического равновесия O , имеет вид

$$M \frac{d^2 l}{dt^2} + \beta \frac{dl}{dt} + Cl = F_0 \sin \omega t,$$

где M — масса системы, кг;

l — характерный линейный размер (перемещения центра масс относительно начала координат, выбранного в точке статического равновесия системы), м;

t — время, с;

β — коэффициент сопротивления вязкой среды (коэффициент демпфирования), Нс/м;

F_0 — амплитудная величина возмущающей силы, Н;

ω — частота колебаний возмущающей силы, Гц.

Порядок определения критериев подобия для данного процесса рассмотрен в [3], а сами критерии имеют вид:

$$\Pi_1 = \frac{\beta t}{M}; \quad \Pi_2 = \frac{Cl^2}{M}; \quad \Pi_3 = \frac{F_0 t^2}{Ml}; \quad \Pi_4 = \omega t.$$

Примером реализации механической колебательной системы может служить модель вибрационного оборудования для рыхления смерзшихся материалов при их выгрузке из подвижного состава железнодорожного транспорта.

Аналогичное оборудование вибрационного типа получило широкое распространение в различных средствах механизации строительных работ. К их числу можно отнести виброкатки для уплотнения грунта; поверхностные и глубинные вибраторы для уплотнения бетона; вибрационные конвейеры для транспортирования материалов; вибропогружатели и вибромолоты для погружения в грунт свай, шпунта, оболочек и т.п.; вибраторы шпалоподбивочных машин для уплотнения балласта при ремонте и содержании пути.

Наибольшее распространение в таких машинах получили инерционные вибраторы, в которых возмущающая сила создается при вращении неуравновешенной массы (дебаланса), соединенной с валом двигателя. Для получения возмущающей силы, направленной вдоль некоторой оси (например, $X-X$), применяют два спаренных вибратора с симметрично расположенными дебалансами, имеющие одинаковые массы, которые вращаются с одинаковыми угловыми скоростями навстречу друг другу. В этом случае составляющие центробежных сил, направленные в противоположные стороны, взаимно уравниваются, а направленные в одну сторону — суммируются, изменяясь от нуля до максимального (амплитудного) значения.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Ознакомиться с устройством модели и назначением ее составных частей.
2. Подготовить модель к работе в режиме холостого хода (без рыхления материала).
3. Привести модель в действие и уяснить принцип ее работы.
4. Подготовить модель к работе в рабочем режиме (при рыхлении материала).
5. Привести модель в действие и убедиться в целесообразности создания и применения подобных физических моделей.
6. Составить отчет по лабораторной работе (принципиальная схема модели с указанием составных частей и их назначения).

Схема модели.

Основные части модели и их назначение.

Выводы:

Оборудование и материалы.

1. Модели: рабочего оборудования — 2 шт.,
полувагона — 1 шт.
2. Насыпной материал — 5 дцм³.
3. Плакаты, схемы — 3 шт.

Работу выполнил студент _____

Учебный шифр _____

« » _____ 200__ г.

Лабораторная работа № 2

Исследование моделей рабочих органов машин на стенде «Грунтовой лоток»

Задание

На стенде «Грунтовой лоток» исследовать зависимость усилия на перемещение модели рабочего органа машины (отвал, ковш, зуб рыхлителя, плуг, каток) при взаимодействии со средой.

Методические указания

1. Ознакомится с назначением и принципом действия машины заданного типа.
2. Уяснит конструкцию и условия работы рабочего органа, процесс его взаимодействия со средой, а также физические свойства и характеристики среды.
3. Изучить устройство основных частей стенда (лоток, тензометрическая тележка, приводная станция, приборы управления стендом, измерительная аппаратура), порядок включения приборов и правила безопасной эксплуатации.
4. Подготовить план проведения исследований с заданной моделью рабочего органа, где отразить серии опытов с изменяющимися параметрами рабочего органа (например, угол установки отвала или толщина стружки грунта и т.п.) и различными свойствами среды (например, плотность или влажность грунта). Согласовать план с преподавателем и заполнить табл. 1.
5. Подготовить и при необходимости оттарировать измерительную аппаратуру стенда.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Подготовить стенд к работе с моделью рабочего органа в режиме холостого хода (без нагрузки) и провести (с разрешения преподавателя) пробное включение.

Принципиальная схема стенда.

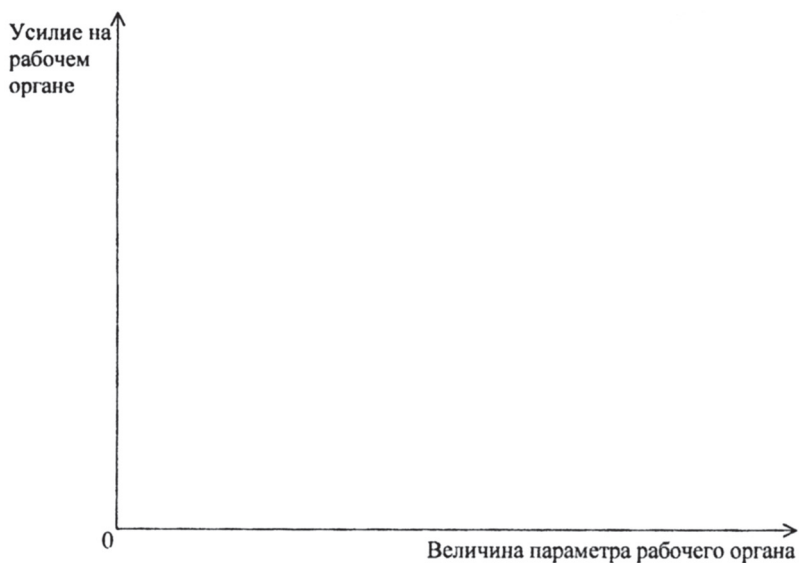
Основные части стенда: 1 — лоток; 2 — тензометрическая тележка; 3 — модель рабочего органа; 4 — приводная станция (лебедка); 5 — тензодатчик; 6 — рабочая среда.

Таблица 1

Показатели параметров рабочего органа и свойств среды

Рабочий орган Среда			

2. Подготовить стенд к работе в рабочем режиме (по плану исследований) и провести серию опытов последовательно изменяя параметр рабочего органа, но без изменения свойства среды. Результаты измерений поместить в таблицу 1. Аналогично выполнить третью серию опытов. Далее провести вторую серию опытов при тех же параметрах рабочего органа, но с другими свойствами среды. Результаты измерений также поместить в таблицу 1.
3. Выключить оборудование стенда и оформить отчет по лабораторной работе. Отчет должен содержать принципиальную схему стенда с указанием основных частей и графики с результатами экспериментов.



Выводы:

Оборудование и материалы.

1. Стенд «Грунтовый лоток» с измерительной аппаратурой — 1.
2. Модели рабочих органов машин — комплект.
3. Плакаты и схемы — 2.

Работу выполнил студент _____

Учебный шифр _____

« » _____ 200__ г.

Лабораторная работа № 3

Моделирование и прогнозирование параметров рабочих органов конструктивно подобных машин

Задание 1

Для прогнозирования технических характеристик проектируемых одноковшовых пневмоколесных погрузчиков общего назначения требуется установить зависимость конструктивных размеров их рабочего оборудования от величины главного параметра погрузчика.

Методические указания

Одноковшовые пневмоколесные погрузчики общего назначения (далее погрузчики) составляют семейство конструктивно подобных машин. Они работают в подобных условиях и выполняют аналогичные технологические процессы.

Главным параметром погрузчика является вместимость ковша.

Предположим, что рабочие органы погрузчиков — ковши, имеют параметры, достаточно точно отвечающие условиям геометрического подобия, а имеющиеся погрешности в размерах носят случайный характер.

На основании второго следствия из основных теорем подобия [1; 3] следует определить параметры прогнозируемого оборудования через параметры эталонного оборудования с введением поправочного коэффициента, компенсирующего погрешность от не соблюдения подобия.

Для этого, используя данные технических характеристик известных погрузчиков (табл. 2) надо вычислить для каждого из них значения критериев геометрического подобия по формуле

$$\Pi_i = \frac{V_i}{B_i^3},$$

где Π_i — критерий геометрического подобия ковша i -го погрузчика;
 V_i — вместимость ковша i -го погрузчика, м³;
 B_i — ширина захвата ковша i -го погрузчика, м.

Результаты вычислений поместить в табл. 2.

Величину критерия геометрического подобия эталонного погрузчика находим по формуле

$$\Pi_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i}{n},$$

где Π_3 — критерий геометрического подобия эталонного погрузчика,
 n — количество погрузчиков.

Далее надо определить ожидаемую по условию подобия ширину захвата ковша каждого погрузчика исходя из его вместимости и величины критерия подобия ковша эталонного погрузчика

$$B_{ni} = \sqrt[3]{\frac{V_i}{\Pi_3}},$$

где B_{ni} — ожидаемая (прогнозируемая) ширина захвата ковша i -го погрузчика, м.

Результаты поместить в таблицу 2.

Для оценки расхождения прогнозируемой ширины ковша с фактической надо вычислить абсолютные и относительные погрешности при прогнозировании ширины ковша по формулам

$$\Delta B_{ni} = B_i - B_{ni}; \quad \delta = \frac{\Delta B_{ni}}{B_i} 100\%,$$

где ΔB_{ni} — абсолютная погрешность, м;
 δ — относительная погрешность, %.

Таблица 2

Показатель	Обозначение	Марки погрузчиков							
		ТО-15	ТО-6А	ТО-6Б	ТО-17	ТО-30	ТО-18	ТО-11	ТО-8
Вместимость ковша, m^3	V_i	0,4	0,8	1	1	1,1	1,5	2	3
Ширина захвата ковша, м	B_i	1,8	2,3	2,33	2,3	2,4	2,44	2,8	3,15
Критерий геометрического подобия	Π_i								
Критерий подобия эталонного погрузчика	Π_z								
Прогнозируемая ширина захвата ковша, м	B_{ni}								
Абсолютная погрешность прогнозирования ширины захвата ковша, %	ΔB_{ni}								
Относительная погрешность прогнозирования ширины захвата ковша, м	δ								

Полученные результаты также поместить в таблицу 2.

Используя полученное численное значение критерия подобия эталонного погрузчика (Π_3), выражение для расчета прогнозируемой ширины ковша ($B_{\text{п}}$) следует представить в виде

$$B_{\text{п}} = \sqrt[3]{\frac{V}{\Pi_3}} = A \sqrt[3]{V}, \quad \text{где } A = \sqrt[3]{\frac{1}{\Pi_3}}$$

или с учетом предельных погрешностей

$$B_{\text{п}} = \left[\left(1 - \frac{\delta}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \right] A \sqrt[3]{V},$$

а после учета численных значений δ и A получить математическую модель прогнозируемого параметра.

Все вышеуказанные вычисления могут быть выполнены в автоматическом режиме на компьютере по программе «Прогноз».

Задание 2

На примере физической модели ковша погрузчика проверить эффективность прогнозирования параметров рабочих органов конструктивно подобных машин.

Порядок выполнения задания

1. С помощью мерной емкости полностью заполнить модель ковша сыпучим материалом (песок, опилки и т.п.) и установить его вместимость.
2. По вместимости ковша рассчитать его прогнозируемую ширину и сопоставить ее с фактическим размером модели ковша.
3. Оценить достоверность прогнозирования (абсолютная и относительная погрешность).

Выводы:

Оборудование и материалы.

1. Компьютер с программой «Прогноз».
2. Модель ковша погрузчика — 1 шт.
3. Мерные емкости — 3 шт.
4. Схема, плакат — 2 шт.

Работу выполнил студент _____

Учебный шифр _____

« » _____ 200 ____ г.

Лабораторная работа № 4

Имитационное моделирование рабочих процессов машин

Задание

Методом имитационного моделирования рабочего процесса козлового крана выявить данные для определения его технической производительности.

Содержание

1. С целью выявления особенностей работы крана по принятому технологическому процессу следует имитировать (воспроизвести) его рабочие операции путем выполнения необходимых манипуляций с моделями крана, грузозахватных устройств, подвижного состава и контейнеров.
2. Установить состав, последовательность, содержание и особенности выполнения операций рабочего цикла, а также показатели необходимые для расчета их продолжительности. Результаты отразить в табл. 3.

Методические указания

В качестве типового варианта работы козлового крана принять технологический процесс выгрузки контейнеров из подвижного состава на склад.

При выполнении лабораторной работы следует иметь в виду, что техническая производительность крана при выгрузке (погрузке) контейнеров зависит от продолжительности его рабочего цикла и измеряется числом контейнеро-операций в час.

Продолжительность цикла включает затраты времени на захват (строповку) и освобождение (отцепку) груза, рабочие движения по перемещению груза или грузозахватного устройства (ГЗУ) с учетом совмещения движений во времени, а также операции по наведению ГЗУ и позиционного груза

Таблица 3

Вид операции	Используемый механизм крана	Время операции
Выгрузка контейнера на склад		
Наведение ГЗУ и захват контейнера	Спредер	$t_n + t_3$
Подъем контейнера	Лебедка грузовой тележки	$t_1 = \frac{l_1}{V_1^{\wedge}}$
		$t_2 =$
		$t_3 =$
		$t_4 =$
		$t_n + t_o$
Передвижение крана и ГЗУ в исходное положение		
Подъем ГЗУ	Лебедка грузовой тележки	$t_5 = \frac{l_5}{V_5^{\wedge}}$
		$t_6 =$
		$t_7 =$
		$t_8 =$
Продолжительность цикла		
$t_{\text{ц}} = t_n + t_3 + \frac{l_1}{V_1^{\wedge}} +$		

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{з}} + t_{\text{о}} + t_{\text{н}} + \varphi \sum_{i=1}^n t_i,$$

где $t_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла, с;
 $t_{\text{з}}$ — время захвата (строповки) груза, с;
 $t_{\text{о}}$ — время освобождения (отцепки) груза, с;
 $t_{\text{н}}$ — время наведения и позиционирования, с;
 t_i — время выполнения i -ой операции по перемещению груза и ГЗУ, с;
 $(i = 1, 2, 3, \dots, n)$
 n — количество операций по перемещению груза и ГЗУ;
 φ — коэффициент совмещения операций перемещения груза и ГЗУ во времени.

При определении продолжительности отдельных операций и всего цикла, скорости перемещений выбирают в соответствии с техническими данными кранов и с учетом обеспечения точной и плавной установки груза (ГЗУ) в заданном месте без дополнительных остановок и реверсирования механизмов передвижения.

Расстояния перемещений устанавливают исходя из принятой схемы погрузки (выгрузки) груза, взаимного расположения ГЗУ и мест захвата (строповки) и установки груза (рис. 2).

При горизонтальном перемещении груза (ГЗУ) должен быть обеспечен просвет не менее 0,5 м над находящимися на его пути предметами, конструкциями и т.п.

Для кранов с автоматизированными ГЗУ время захвата, наводки, позиционирования и освобождения груза принимают в соответствии с их техническими характеристиками.

При наличии необходимых данных, определение суммарной продолжительности всех операций по перемещению груза к месту установки и возвращению ГЗУ в исходное положение затруднений не вызывает, однако при этом не учитывается возможное сокращение продолжительности цикла за счет совмещения по времени некоторых операций.

Для козловых кранов допускается совмещение работы не более двух механизмов, например одновременный подъем

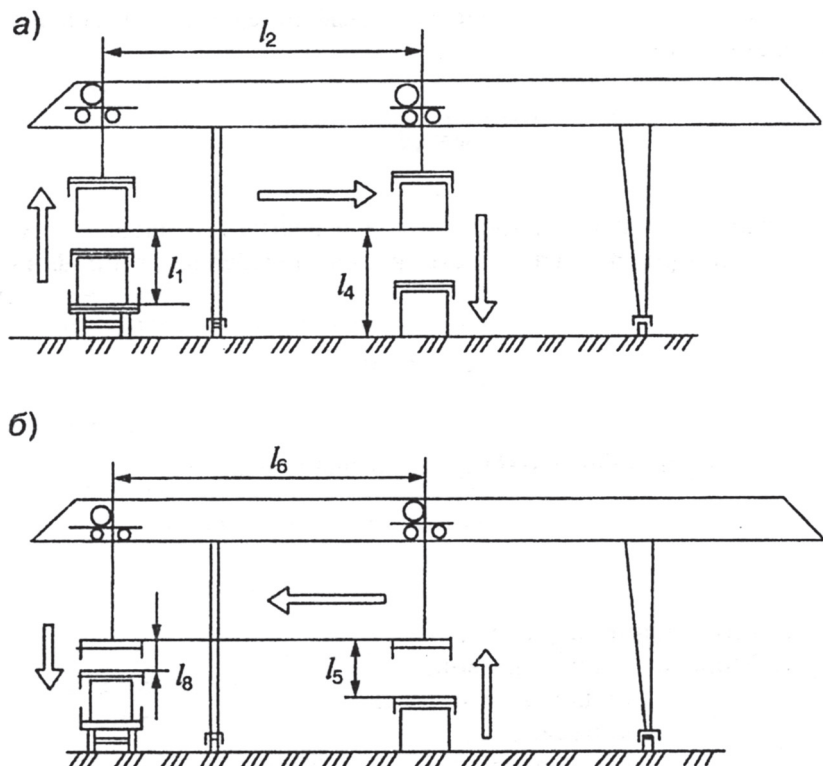


Рис. 2. Схема работы козлового крана при выгрузке контейнеров: а — перемещение контейнера на участках длиной l_1 , l_2 , l_3 (передвижение крана не показано), l_4 ; б — перемещение ГЗУ на участках длиной l_5 , l_6 , l_7 (передвижение крана не показано), l_8

груза и передвижение тележки или передвижение тележки и крана.

Для определения времени цикла с учетом совмещения отдельных операций, может быть использован коэффициент совмещения операций.

Отношение времени работы механизмов крана при совмещении операций t_c к суммарной продолжительности

этих операций $\sum t_i$ называется коэффициентом совмещения операций, т.е.

$$\varphi = \frac{t_c}{\sum t_i}.$$

Если продолжительность цикла известна, то часовая техническая производительность крана определяется по формуле

$$П_r = \frac{3600}{t_q},$$

где $П_r$ — количество контейнеро-операций за один час.

Оборудование и материалы.

1. Модели: кран козловой;
подвижной состав;
контейнеры;
грузозахватные устройства.
2. Схема, плакат — комплект.

Работу выполнил студент _____

Учебный шифр _____

« » _____ 200 ____ г.

Лабораторная работа № 5

Графоаналитическое моделирование рабочих процессов машин

Задание

Для оценки эффективности проектируемого козлового крана необходимо определить оптимальные режимы работы его механизмов при грузовой переработке контейнеров на железнодорожном транспорте.

Для решения задачи требуется построить математическую (графоаналитическую) модель технологического процесса работы крана; по заданным характеристикам и условиям работы крана определить продолжительность рабочего цикла и часовую техническую производительность.

Методические указания

1. Общие условия построения математической модели и описание рабочего цикла крана могут быть приняты по данным лабораторной работы № 4. При этом более детально следует рассмотреть типовой процесс рабочей операции крана выделив в нем участки разгона груза (или ГЗУ), установившегося движения и торможения.
2. Принять, что процесс перемещения груза (ГЗУ) в i -ой операции характеризуется тем, что на участке разгона груза (ГЗУ) l_{ip} движение происходит с постоянным (средним) ускорением a_{ip} в течении времени t_{ip} , необходимого для достижения скорости установившегося движения V_{iy} ; на участке установившегося движения l_{iy} перемещение происходит с постоянной скоростью V_{iy} в течении времени t_{iy} ; на участке торможения l_{it} движение осуществляется с постоянным (средним) замедлением a_{it} в течение времени t_{it} , необходимого для полной остановки груза (ГЗУ), а общее время процесса перемещения t_i составляет $t_i = t_{ip} + t_{iy} + t_{it}$ (рис. 3).

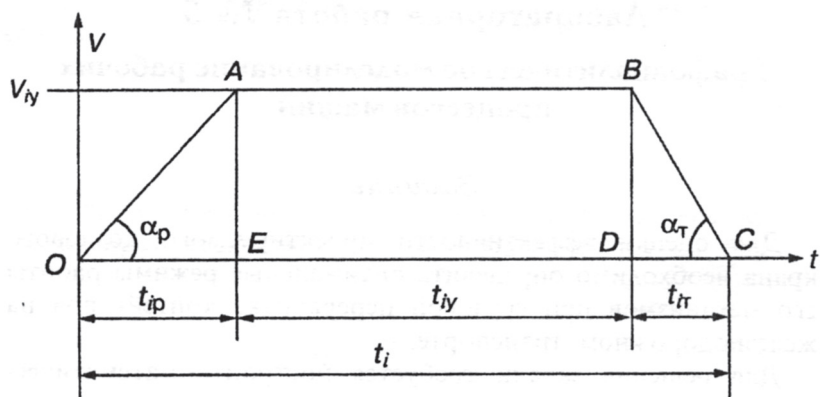


Рис. 3. Графоаналитическая модель i -ой операции перемещения груза

3. Учтём, что графическая модель операции (рис. 3) отражает в масштабе следующие параметры:

- время перемещения на участках разгона (t_{ip}), установившегося движения (t_{iy}), торможения (t_{it}) и на всем пути (t_i);
- ускорение на участке разгона ($\operatorname{tg} a_p \sim a_p$);
- замедление на участке торможения ($\operatorname{tg} a_t \sim a_t$);
- скорость на участках разгона ($0 \leq V_{ip} \leq V_{iy}$), установившегося движения ($V_{iy} = \text{const}$) и торможения ($V_{iy} \geq V_{it} \geq 0$);
- длину участков разгона (площадь фиг. $OAE \sim l_{ip}$), установившегося движения (площадь фиг. $ABDE \sim l_{iy}$), торможения (площадь фиг. $BCD \sim l_{it}$) и всего пути перемещения (площадь фиг. $OABC \sim l_i$).

Расстояния и продолжительности перемещений на указанных участках и на всем пути могут быть определены по формулам, указанным в табл. 4.

4. Для определения времени цикла c с учетом совмещения отдельных операций, может быть использована графоаналитическая модель цикла (циклограмма), метод построения которой показан на рис. 4.

Таблица 4

Участки	Длина	Время
Разгона	$l_{ip} = \frac{V_{iy} t_{ip}}{2}$	$t_{ip} = \frac{V_{iy}}{a_{ip}}$
Торможения	$l_{it} = \frac{V_{iy} t_{it}}{2}$	$t_{it} = \frac{V_{iy}}{a_{it}}$
Установившегося движения	$l_{iy} = l_i - (l_{ip} + l_{it})$ $l_{iy} = l_i - \frac{V_{iy}(t_{ip} + t_{it})}{2}$	$t_{iy} = \frac{l_i - \frac{t_{ip} + t_{it}}{2}}{V_{iy}}$
Весь путь перемещения	$l_i = l_{iy} + l_{ip} + l_{it}$	$t_i = t_{iy} + t_{ip} + t_{it}$ $t_i = \frac{l_i - \frac{t_{ip} + t_{it}}{2}}{V_{iy}}$ $t_i = \frac{l_i}{V_{iy}} + \frac{V_{iy}(a_{ip} + a_{it})}{2a_{ip}a_{it}}$

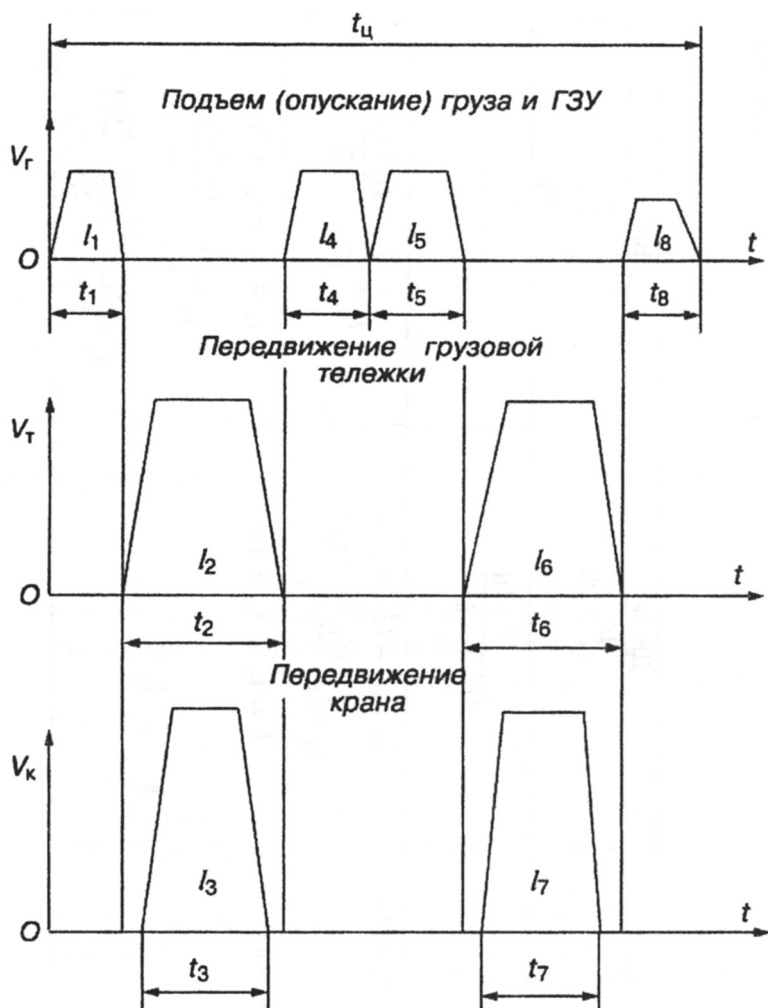


Рис. 4. Графоаналитическая модель (циклограмма) работы механизмов козлового крана с учетом совмещения отдельных операций

Каждая строчка циклограммы представляет график изменения скорости перемещения груза (ГЗУ) при помощи соответствующего механизма крана.

По ординатам в масштабе отложены значения скорости в м/с, а по абсциссам — время в секундах.

Исходные данные для расчета продолжительности операций принять по табл. 5 и 6.

При рассмотрении других исходных данных следует руководствоваться помещенными в таблице 7 предельно допустимыми значениями скорости и ускорения (по условиям точности установки груза (ГЗУ) в заданном месте).

На основании выполненных расчетов определить продолжительность рабочего цикла, в том числе при совмещении операций.

Все необходимые расчеты могут быть выполнены и представлены графически в автоматическом режиме на компьютере по программе «Цикл».

Таблица 5

Скорости и ускорения механизмов крана

Механизм	Скорость передвижения, м/с	Ускорение, м/с ²	
		разгона	торможения
Подъема груза	0,195	0,065	0,20
Передвижения тележки	0,983	0,335	0,25
Передвижения крана	1,050	0,20	0,15

Таблица 6

Расстояния перемещений груза (ГЗУ)

$l_1 = h_k + h_6 = 2,44 + 0,5 = 2,94$ м	h_k — высота контейнера, h_6 — зазор безопасности
$l_2 = l_6 = l_k + \frac{l_n}{2} = 3,5 + \frac{25}{2} = 16$ м	l_k — вылет консоли крана, l_n — пролет крана
$l_3 = l_7 = 9,5$ м принято	
$l_4 = l_1 = h_{пл} = 2,94 + 1,4 = 4,34$ м	$h_{пл}$ — высота платформы
$l_5 = l_4 - h_k = 4,34 - 2,44 = 1,9$ м	
$l_8 = h_6 = 0,5$ м	

Таблица 7

Предельно допустимые скорости и ускорения (по условиям точности установки груза или ГЗУ)

Показатель	Операции		
	Перегрузка навалочных грузов, в том числе с помощью грейфера	Перегрузка штучных грузов	Сборочные и технологические операции, работа с легкоповреждаемыми грузами
Механизм подъема груза			
Скорость, м/с, при двигателе:			
– короткозамкнутом	–	0,133...0,21	0,083...0,133
– фазном	0,33...0,50	0,266...0,333	0,21...0,166
Ускорение (замедление), м/с ²	Ограничения отсутствуют	0,15	0,0175
Механизм передвижения тележки			
Скорость, м/с, при двигателе:			
– короткозамкнутом	–	0,33...0,533	0,266...0,333
– фазном	–	0,833...1,333	0,333...0,533
Ускорение (замедление), м/с ²	Ограничения отсутствуют	0,333	0,10
Механизм передвижения крана			
Скорость, м/с, при двигателе:			
– короткозамкнутом	–	0,333...0,533	0,266...0,533
– фазном	–	0,833...1,666	0,533...0,666
Ускорение (замедление), м/с ²	Ограничения отсутствуют	0,20	0,10

Оборудование и материалы.
Компьютер и программа «Цикл».
Схемы 2 шт.

Работу выполнил студент _____
Учебный шифр _____
« » _____ 200__ г.

Лабораторная работа № 6

Моделирование рабочих процессов у которых функциональные связи параметров неизвестны

Задание № 1

Методом моделирования предполагается установить время полного опорожнения бака (сосуда), проектируемого для накопления запаса воды.

Требуется определить метод и условия моделирования, параметры модели и формулы пересчета результатов моделирования на реальный (натурный) процесс.

Далее провести эксперименты на моделях, рассчитать время опорожнения проектируемого бака и оценить эффективность и достоверность моделирования.

Методические указания

При моделировании рекомендуется:

1. Рассмотреть процесс опорожнения открытого сосуда, имеющего постоянную площадь поперечного сечения, при истечении жидкости (воды) в атмосферу через отверстие в дне сосуда.

2. Принять, что время опорожнения сосуда зависит от начального объема жидкости, высоты уровня над отверстием истечения, площади отверстия истечения, ускорения свободного падения. Форма отверстия не оказывает существенного влияния на время опорожнения сосуда.

3. В дополнение к исходным данным можно принять, что сосуд имеет форму открытого вертикального цилиндра с круглым отверстием в дне (рис. 5).

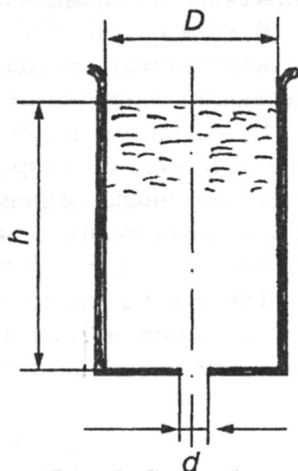


Рис. 5. Схема бака

Метод и условия моделирования

Из условия задачи известно, что время истечения есть функция следующих параметров

$$t = f(v, h, s, g),$$

где t — время истечения жидкости, с;

V — первоначальный объем жидкости в сосуде, м^3 ;

S — площадь отверстия истечения, м^2 ;

g — ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

h — уровень жидкости в сосуде, м.

Однако сведения о функциональных связях между параметрами и о влиянии плотности и вязкости воды на процесс ее истечения в данном случае отсутствуют.

В этих условиях возможно и целесообразно применение только физического метода моделирования. При моделировании надо использовать ту же жидкость, что и в натуре то есть воду, а исследования проводить не менее, чем на двух физических моделях, выполненных в разных масштабах.

В данной лабораторной работе для осуществления физического моделирования должны быть соблюдены условия геометрического и кинематического подобия природы и модели.

В этом случае для определения критериев подобия следует использовать метод анализа размерностей величин, определяющих протекание процесса [3].

Необходимое и достаточное число критериев подобия, в соответствии со второй теоремой подобия, определяем по разности числа величин, определяющих процесс ($n = 5$) и числа физических величин, имеющих независимые размерности ($m = 2$), т.е. $k = n - m = 5 - 2 = 3$.

Так как размерности всех физических величин известны, то, составив из них три ($k = 3$) безразмерных комплекса, получим необходимые критерии подобия

$$\Pi_1 = \frac{V}{h^3}; \quad \Pi_2 = \frac{S}{h^2}; \quad \Pi_3 = \frac{gt^2}{n}$$

и индикаторы подобия

$$И_1 = \frac{K_V}{K_h^3} = 1 \quad \text{или} \quad K_h = \sqrt[3]{K_V};$$

$$И_2 = \frac{K_d}{K_h} = 1 \quad \text{или} \quad K_h = K_d;$$

$$И_3 = \frac{K_g K_t^2}{K_h} = 1 \quad \text{или} \quad K_h = K_g K_t^2.$$

Приняв $K_g = 1$, получим для последнего выражения

$$K_h = K_t^2.$$

В таком случае имеем следующее условие:

$K_h = K_d = K_t^2 = \sqrt[3]{K_V}$, которое позволяет определить параметры модели и формулу для пересчета результатов моделирования на натуру.

$$t_H = t_M \sqrt{K_h} = t_M \sqrt{K_d} = t_M \sqrt[6]{K_V},$$

где t_M — время опорожнения модели, полученное опытным путем, с;
 t_H — время опорожнения проектируемого бака, с.

Варианты параметров баков и заданных масштабов геометрического подобия моделей указаны в таблице 8.

Таблица 8

Вариант	Объект	Масштаб подобия K_h	Диаметр бака D , мм	Диаметр отверстия d , мм	Высота уровня h , мм	Время опорожнения t , с	Критерий подобия $\Pi = \frac{t^2}{d}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Бак	1	3000	150	7000		
	Модель	25					
2	Бак	1	3000	150	7000		
	Модель	50					
3	Бак	1	3000	200	7000		
	Модель	25					
4	Бак	1	120	6	280		
	Модель	2					

Порядок выполнения задания № 1

1. Вычислить параметры модели и поместить их в табл. 8 (гр. 4, 5, 6).
 2. Проверить соответствие расчетных параметров моделей с фактическими. Подготовить модели к эксперименту.
 3. При помощи секундомера установить время полного опорожнения модели и записать его в табл. 8. (гр. 7).
 4. Вычислить время опорожнения проектируемого бака (натуры) и записать его в табл. 8 (гр. 7).
 5. Вычислить величину критерия подобия для натуре и модели. Результаты поместить в табл. 8 (гр. 8).
 6. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы о достоверности физического моделирования.
- Выводы:

Задание № 2

Для проектируемого бака (вариант 1) уточнить размер донного отверстия с целью обеспечения полного опорожнения за время, указанное в проектном задании. Требуемое время опорожнения бака принять 6 мин.

Порядок выполнения задания № 2

1. Используя зависимость времени опорожнения бака от размера донного отверстия и результатов моделирования (вариант 1) составить формулу для уточнения размера отверстия

$$d_{\text{ну}} = d_{\text{н}} \sqrt{\frac{t_{\text{н}}}{t_{\text{ну}}}}$$

2. Вычислить уточненный диаметр донного отверстия

$$d_{\text{ну}} = 150 \sqrt{\frac{\quad}{360}} =$$

3. Определить диаметр донного отверстия модели, выполненной в масштабе подобия $K_h = 25$

$$d_{\text{м}} = \frac{d_{\text{н}}}{K_h} = \frac{\quad}{25} = \quad.$$

4. Рассмотреть результаты моделирования на модели с уточненным диаметром отверстия (вариант 3) и сделать выводы о возможности физического моделирования устанавливать параметры натуры (проекта), обеспечивающие заданный процесс.

Выводы:

Задание № 3

Оценить достоверность полученных результатов физического моделирования.

Порядок выполнения задания № 3

Наиболее объективную оценку по заданному вопросу можно получить при сравнении расчетного времени опорожнения проектируемого объекта с фактическим сроком, полученным опытным путем на реальном натурном объекте.

В лабораторной работе с этой целью надо рассмотреть вариант № 4, где в качестве проектируемого бака и его модели могут быть приняты, ранее использованные модели вариантов № 1 и № 2, соответственно, так как их размеры совпадают.

Тогда расчетное время опорожнения проектируемого бака по варианту № 4 надо определить по формуле

$$t_{\text{нр}} = t_{\text{м}} \sqrt{K_h},$$

где $t_{\text{нр}}$ — расчетное время опорожнения проектируемого бака (вариант № 4), с;

$t_{\text{м}}$ — время опорожнения модели (вариант № 2) полученное опытным путем, с;

K_h — масштаб подобия ($K_h = 2$).

Фактическое время опорожнения бака принять по опыт-
ным данным модели варианта № 1 ($t_{\text{нф}} =$).

Оценку достоверности результатов моделирования мож-
но определить по величине абсолютной и относительной
ошибки.

$$\Delta t = t_{\text{нф}} - t_{\text{нр}},$$
$$\delta = \frac{t_{\text{нф}} - t_{\text{нр}}}{t_{\text{нф}}} 100\%,$$

где Δt — абсолютная ошибка, с;

δ — относительная ошибка, %.

Выводы:

Оборудование и материалы

1. Емкости для воды 3 шт.
2. Секундомер — 3 шт.
3. Штангенциркуль — 3 шт.
4. Линейка мерная — 3 шт.
5. Модели сосуда — 3 шт.

Работу выполнил студент _____

Учебный шифр _____

« » _____ 200 ____ г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Космин В.В. Основы научных исследований: Уч. пос. — М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. — 271 с.

2. Моделирование систем: Учеб. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. — 5-е изд., стер. — М.: Высшая школа, 2007. — 343 с.

Дополнительная

3. Баловнев В.И. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия машин с многофазными средами: Уч. пос. — М.: МАДИ (ТУ), 2000. — 62 с.

4. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Уч. пос. для студ. высш. учеб. заведений. 2-е изд. перераб. — М.: Машиностроение, 1994.

ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ МАШИН

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями

Редактор *Г.В. Тимченко*

Компьютерная верстка *Н.Ф. Цыганова*

Тип. зак. 266
Подписано в печать 9.04.12
Усл. печ. л. 2,25

Гарнитура NewtonC

Тираж 100 экз.
Ризография
Формат 60×90_{1/16}

Редакционный отдел
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати
Информационно-методического управления РОАТ,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2