

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

---

---

**Кафедра механизации животноводства  
и электрификации сельскохозяйственного производства**

# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ИХ РЕШЕНИЮ**

**Для студентов-заочников специальности  
1-74 06 01 – техническое обеспечение процессов  
сельскохозяйственного производства**

**Горки 2006**

Одобрено методической комиссией инженерного факультета заочного отделения  
25.01.2005.

Составили: И.А. ГАЙШУН, И. В. ДУБЕНЬ.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Выполнение контрольной работы .....	4
Задача 1 .....	6
Задача 2 .....	46
Задача 3 .....	50
Задача 4 .....	51
Задача 5 .....	54
2. Примеры решения задач .....	102
Литература .....	115

УДК 637.15: 658.562.012.12 (072)

**Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий:**  
Контрольные задания и методические указания по их решению / Бело-  
русская государственная сельскохозяйственная академия; Сост.  
И. А. Г а й ш у н, И. В. Д у б е н ь . Горки, 2006. 116 с.

Изложен порядок выполнения контрольной работы при изучении дисциплины «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» студентами инженерного факультета заочного отделения. Приведены варианты исходных данных, методические рекомендации по выполнению контрольной работы и примеры решения задач.

Для студентов-заочников специальности 1-74 06 01 – техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства.

Таблиц 18. Рисунков 10. Библиогр. 16.

Рецензенты: А. В. КУЗЬМИЦКИЙ, доктор техн. наук, А. К. ТРУБИЛОВ, канд. техн. наук, доцент.

©Составление. И. А. Гайшун, И. В. Дубень, 2006  
© Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2006

## ВВЕДЕНИЕ

Электрификация сельского хозяйства – одна из составных частей развития материально-технической базы агропромышленного комплекса. Она является одним из важнейших факторов повышения производительности труда в сельскохозяйственном производстве, улучшения условий работы на предприятиях АПК и культурно-бытового обслуживания сельского населения.

Значение электрификации сельскохозяйственного производства и ее объективная необходимость определяются соответствующими задачами по повышению производительности труда и снижению себестоимости продукции сельского хозяйства. Рост производительности труда требует более широкого внедрения электропривода и оснащения его средствами автоматизации, а также применения электрической энергии в самых разнообразных технологических процессах и машинах, средствах организации и управления сельскохозяйственным производством.

Дисциплина «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» имеет весьма существенное значение при подготовке инженера-механика сельскохозяйственного профиля, так как электропривод механизмов, машин и агрегатов позволяет повысить производительность труда и снизить себестоимость продукции сельского хозяйства. Студент должен уметь производить необходимые расчеты, выбирать целесообразный тип электропривода и средства автоматизации для конкретных рабочих органов и установок, уметь определять экономическую эффективность принятого технического решения.

Цель данной дисциплины – научить студента грамотному применению и эксплуатации современного электрооборудования в различных отраслях сельского хозяйства; ознакомить с основополагающими вопросами электропривода, его свойствами и характеристиками, режимами работы, аппаратурой управления и защиты; обучить приемам эффективного применения электрической энергии, правилам эксплуатации электрооборудования и электробезопасности.

В результате изучения дисциплины студент должен: понимать значение электрификации для повышения эффективности сельскохозяйственного производства; знать технологические основы электрификации сельскохозяйственного производства; знать устройство, принцип дей-

ствия, основные характеристики и методы выбора электрооборудования; ориентироваться в принципиальных электрических схемах; уметь выбирать и налаживать электрооборудование; знать правила эксплуатации электрифицированных установок и техники безопасности.

Настоящие методические указания к выполнению контрольных работ и заданий по ним составлены в соответствии с программой курса «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» для студентов-заочников специальности 1-74 06 01 – техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства.

## **1. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Учебным планом для студентов-заочников по курсу «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» предусмотрено выполнение одной контрольной работы по основам электропривода и применения электрической энергии в сельскохозяйственном производстве. Задаaniem предусматривается выполнение пяти контрольных задач. Кроме того, каждая контрольная работа разбита на варианты.

Задаение каждому студенту выдается индивидуально (табл. 1) в соответствии с первой буквой его фамилии, последней и предпоследней цифрами в номере зачетной книжки. Если, например, номер зачетной книжки оканчивается цифрой 6, а фамилия начинается с буквы К, то следует выполнить 47-й вариант контрольной работы. Кроме того, в 4-й задаче вариант исходных данных определяется и по предпоследней цифре номера зачетной книжки.

Работа, выполненная не по своему варианту, не рецензируется. Зачтенная контрольная работа сдается экзаменатору на экзамене, в противном случае студент к экзамену не допускается.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие правила:

1. В работе должны быть приведены условия задачи соответствующего варианта с указанием года выпуска методических указаний.

2. Выполнение каждого задания должно сопровождаться краткими объяснениями, необходимыми обоснованиями и подробными вычислениями.

3. Задачу следует решить сначала в общем виде (формулы в буквенных выражениях), и только затем, после необходимых преобразований, подставлять соответствующие числовые значения.

4. При вычислении каждого значения нужно пояснить словами, какая величина определяется.

Таблица 1. Номера вариантов задач контрольной работы

Первая буква фамилии студента	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
А	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Б	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
В	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Г	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Д	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Е	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ж	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
З	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
И	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
К	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Л	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
М	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Н	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
О	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
П	41	42	43	44	45	46	47	43	49	50
Р	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
С	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Т	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
У	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Ф	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Х	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ц, Ч	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ш, Щ	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Э, Ю	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Я	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

5. Размерность всех заданных в условиях задач величин и полученных результатов необходимо указать в соответствии с системой СИ.

6. Электрические схемы должны быть вычерчены согласно установленным правилам (ГОСТ 2.702–75; 2.705–70; 2.722–68; 2.723–74; 2.728–74; 2.730–73; 2.710–81 «Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах»).

7. Графический материал желательно выполнять на миллиметровой бумаге.

8. Контрольная работа должна быть написана разборчивым почерком с ясным изображением букв и цифр текста, формул и числовых выкладок.

9. В конце работы необходимо привести перечень использованной литературы, указать дату выполнения работы и подписать ее.

Чтобы получить полное представление по рассматриваемому вопросу, перед выполнением контрольного задания студент должен изучить соответствующую литературу, а также решить упражнения и задачи, приведенные в учебниках. Основные моменты решения задач в дополнение к рекомендуемой литературе приводятся ниже в методических рекомендациях.

**Примечание.** С методикой решения задачи отсутствующего варианта, не приведенного в данных методических указаниях, можно ознакомиться по учебному материалу, находящемуся на кафедре механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства.

### Задача 1

Выполнить расчет электрифицированной производственной установки, содержащей трехфазный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель типа АИ или АИР и устанавливаемой на одном из участков сельскохозяйственного производства. Подобрать и записать тип и параметры электродвигателя.

Наименование производственной установки (вариант) определяется по первой букве фамилии и последней цифре номера зачетной книжки студента (табл. 2). Исходные данные к расчету соответствует предпоследней цифре номера зачетной книжки.

**Методические рекомендации по решению задачи 1.** При предварительном выборе электродвигателей для привода некоторых основных специфических сельскохозяйственных машин с одним основным рабочим органом можно пользоваться приведенными ниже аналитическими или эмпирическими формулами для расчета мощности. Рассчитанное значение необходимо округлить до ближайшей большей стандартной мощности электродвигателя по следующей шкале: 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,0; 2,2; 2,8; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 11,0; 15,0; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 100 кВт. Для выбора электродвигателя мощностью от 1,1 до 22 кВт включительно можно воспользоваться данными табл. 3.

Обязательно следует привести ссылку на источник информации, содержащий характеристику используемого двигателя.

Недостающие исходные данные по каждой задаче студент принимает самостоятельно исходя из условий практического использования электрифицированной производственной установки.

Т а б л и ц а 2 Исходные данные к задаче 1

Вариант	Наименование электрифицированной производственной установки и расчетный параметр	Значение параметра (по предпоследней цифре зачетной книжки)				
		0...1	2...3	4...5	6...7	8...9
1	2	3	4	5	6	7
1	Молотилка (длина барабана $l$ , м)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	Зерноочистительная машина (масса решетчатого стана $m$ , кг)	100	150	200	250	300
3	Гриер зерноочистительной машины (подача $Q$ , кг/ч)	100	200	300	400	500
4	Спиральный транспортер для зерна (подача $Q$ , т/ч)	1	2	3	4	5
5	Пневмотранспортер для зерна и зернопродуктов (подача $Q$ , т/ч)	1	2	3	4	5
6	Металлический транспортер для зерна (подача $Q$ , т/ч)	1	3	5	7,5	10
7	Передвижной скребковый транспортер для зерна с открытыми скребками (подача $Q$ , т/ч)	1	3	5	7,5	10
8	Горизонтальный скребковый транспортер для зерна с погруженными скребками (подача $Q$ , т/ч)	1	3	5	7,5	10
9	Винтовой транспортер (шнек) для зерна (подача $Q$ , т/ч)	1	3	5	7,5	10
10	Инерционный транспортер для зерна (подача $Q$ , т/ч)	1	3	5	7,5	10
11	Передвижной ленточный транспортер для зерна (подача $Q$ , т/ч)	2	5	10	15	20
12	Ковшовый элеватор (нория) для зерна (подача $Q$ , т/ч)	2	5	10	15	20
13	Щеточная машина для очистки поверхности зерна (производительность $Q$ , т/ч)	2	5	10	15	20
14	Жерновой постав с вертикальной осью (производительность $Q$ , т/ч)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
15	Жерновая мельница с горизонтальной осью (производительность $Q$ , т/ч)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
16	Молотковая дробилка зерна (производительность Q, т/ч)	0,5	1	2	3	5
17	Силомощисосебка (высота горловины h, м)	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
18	Измельчитель кормов (вид корма и производительность Q, т/ч)	Солома 0,5	Сено 0,8	Зел. масса 1,5	Зел. масса 2,5	Корне- плоды 3,5
19	Пневмотранспортер с вентилятором- щаблялкой для измельченных кормов (подача Q, т/ч)	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
20	Пастоприготовитель шнековый (подача Q, т/ч)	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0
21	Картофелесортировка (подача Q, т/ч)	5	7,5	10	15	25
22	Барабанная корнеклубнейка (подача Q, т/ч)	5	7,5	10	12	15
23	Винтовая (шнековая) корнеклубнейка (подача Q, т/ч)	5	7,5	10	12	15
24	Кутачковая корнеклубнейка (подача Q, т/ч)	5	7,5	10	12	15
25	Центробежная корнеклубнейка (подача Q, т/ч)	5	7,5	10	12	15
26	Корнеклубнерезка (подача Q, т/ч)	1	2	3	4	5
27	Мойка-корнерезка (подача Q, т/ч)	1	2	3	4	5
28	Лопастный смеситель кормов (диаметр крыльчатки D, м)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
29	Барабанный дозатор кормов (подача Q, т/ч)	1	2	3	4	5
30	Ленточный дозатор кормов (подача Q, т/ч)	1	2	3	4	5
31	Шнековый дозатор кормов (подача Q, т/ч)	1	2	3	4	5
32	Тарельчатый дозатор кормов (подача Q, т/ч)	0,1	0,3	0,6	0,8	1,0
33	Шнековый смеситель кормов (емкость смесителя V <sub>см</sub> , м <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5
34	Цепочно-скребковый кормораздатчик (логолове КРС)	40	80	100	150	200
35	Цепной раздатчик комбикормов для птиц (длина короба L, м)	10	20	30	40	50
36	Ленточно-траповый кормораздатчик для птиц (длина транспортера L, м)	10	20	30	40	50
37	Кормораздатчик колебательного типа для птиц (длина желоба L, м)	3	6	10	15	20

1	2	3	4	5	6	7
38	Яйцесборный транспортер (число кур в)	10000	12000	15000	20000	30000
39	Центробежный насос для подачи воды (поголовье коров)	50	100	200	400	800
40	Ротационный лопастный вакуум-насос (поголовье КРС)	10	25	50	100	200
41	Молочный сепаратор (молокоочиститель) (угловая скорость барабана $\omega$ , $c^{-1}$ )	6000	7000	7500	8000	9000
42	Маслоизготовитель бочечный (емкость бочки $V$ , $m^3$ )	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
43	Молочный насос (подача $Q$ , $m^3/h$ )	3	4,5	6	8	10
44	Вентилятор сельскохозяйственной установки (поголовье КРС)	10	25	50	100	200
45	Укрепленная навозоуборочная установка (поголовье КРС)	50	100	120	150	180
46	Многоскреперная установка для транспортировки навоза (длина транспортера $L$ , м)	40	50	70	80	100
47	Цепочно-скрепковый навозоуборочный транспортер (поголовье КРС)	10	25	50	75	100
48	Индорама (число подз. шт.)	6	8	10	12	14
49	Сторожальный станок для древесины (частота вращения вала $n$ , об/мин)	1500	2000	2500	3000	3600
50	Кран-балка (грузоподъемность $G$ , кг)	200	300	400	600	800

Таблица 3. Технические характеристики асинхронных электродвигателей

1	2	3	4	5	6	7
Вариант	Тип электро-двигателя	Номинальная мощность на валу двигателя $P_n$ , кВт	Частота вращения при номинальной нагрузке $n_n$ , об/мин	Кратность пускового тока $k = I_p / I_n$	Перегрузочная способность $\mu_k = M_{кр} / M_{ндв}$	Кратность пускового момента $\mu_0 = M_p / M_{ндв}$
1	АИР71В2	1,1	2805	6,0	2,2	2,1
2	АИР80А4	1,1	1395	5,5	2,2	2,2
3	АИР80В6	1,1	920	4,5	2,2	2,0
4	АИР90LВ8	1,1	705	4,0	2,0	1,4
5	АИР80А4	1,5	2850	7,0	2,2	2,1
6	АИР80В4	1,5	1395	5,5	2,2	2,2
7	АИР90L6	1,5	925	6,0	2,2	2,0
8	АИР100L8	1,5	694	3,6	2,1	1,9
9	АИР80В2	2,2	2850	7,0	2,2	2,0
10	АИР90L4	2,2	1395	6,5	2,2	2,0
11	АИР100L6	2,2	945	6,0	2,2	2,0
~12	АИМ112МА8	2,2	712	5,0	2,2	1,9
13	АИР90L2	3,0	2850	7,0	2,2	2,0
14	АИР100S4	3,0	1410	7,0	2,2	2,0
15	АИМ112МА6	3,0	945	5,1	2,8	2,0
16	АИМ112МВ8	3,0	716	4,9	2,4	1,9
17	АИР100S2	4,0	2850	7,5	2,2	2,0
18	АИР100L4	4,0	1410	7,0	2,2	2,0
19	4АИ12МВ6	4,0	954	6,0	2,2	2,0
20	4АМР132S8	4,0	710	4,9	2,4	1,9
21	4А100L2	5,5	2856	7,5	2,2	2,0
22	АИУ112М4	5,5	1440	7,0	2,8	2,3
23	4А132S6	5,5	960	7,0	2,2	2,0
24	АИУ132М8	5,5	710	4,9	2,4	1,8
25	4А112М2	7,5	2874	7,5	2,2	2,0

8	9	10	11	12	13	14	15
КПД при номинальной нагрузке $\eta_n$	Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$	Номинальный момент рабочей машины $M_{ндв}$ , Н·м	Номинальная частота вращения рабочей машины $n_n$ , об/мин	Коэффициент полезного действия передачи $\eta_{пер}$	Теплоемкость двигателя $C$ , Дж/°С	Теплоотдача двигателя при нагреве $A_{нагр}$ , Дж/(с·°С)	Теплоотдача двигателя при охлаждении $A_{охл}$ , Дж/(с·°С)
79,0	0,83	10,22	935	0,91	3995	3,25	1,30
75,0	0,81	20,33	465	0,90	5075	4,03	1,61
74,0	0,74	21,24	460	0,93	5305	4,11	1,64
77,0	0,72	39,78	235	0,89	4715	3,57	1,43
81,0	0,85	9,25	1425	0,92	5280	3,91	1,56
78,0	0,83	28,03	465	0,91	6280	4,55	1,82
76,0	0,72	68,91	185	0,89	7015	5,04	2,01
74,0	0,73	8,93	1388	0,87	8340	5,79	2,32
83,0	0,87	13,86	1425	0,94	7200	4,90	1,96
81,0	0,83	41,12	465	0,91	8325	5,55	2,22
81,0	0,74	60,03	315	0,90	8775	5,73	2,29
75,0	0,70	12,98	1424	0,88	12040	7,72	3,09
84,5	0,88	18,49	1425	0,92	10340	6,05	2,42
82,0	0,83	36,98	705	0,91	12190	7,00	2,80
80,0	0,79	81,86	315	0,90	13830	7,81	3,12
77,2	0,71	17,80	1432	0,89	16275	9,04	3,62
87,0	0,88	13,40	2850	1,00	12950	6,64	2,65
85,0	0,84	50,40	705	0,93	15190	7,67	3,07
82,0	0,81	75,30	477	0,94	21525	10,73	4,28
84,0	0,70	23,70	1420	0,88	16190	7,94	3,17
87,5	0,91	18,40	2856	1,00	20485	9,35	3,74
87,0	0,84	67,10	720	0,92	17885	8,06	3,22
85,0	0,80	99,60	480	0,91	27300	12,13	4,85
84,5	0,70	140,60	355	0,95	22120	9,70	3,88
87,5	0,88	46,90	1437	0,94	31750	13,06	5,22

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7
Вариант	Тип электро-двигателя	Номинальная мощность на валу двигателя $P_n$ , кВт	Частота вращения при номинальной нагрузке $n_n$ , об/мин	Кратность пускового тока $k = I_p / I_n$	Перегрузочная способность $\mu_k = M_{кр} / M_{ндв}$	Кратность пускового момента $\mu_0 = M_p / M_{ндв}$
26	ДИМР132S4	7,5	1450	7,0	3,1	2,3
27	4A132M6	7,5	960	7,0	2,2	2,0
28	ДИМР160S8	7,5	730	5,5	2,8	2,2
29	ДИУР132M2	11,0	2910	7,0	2,8	2,0
30	4A132M4	11,0	1443	7,5	2,2	2,0
31	4A160S6	11,0	976	6,0	2,0	1,2
32	ДИМР160M8	11,0	730	5,0	2,2	2,0
33	ДИМР160S2	15,0	2922	6,5	2,4	2,1
34	ДИМ160S4	15,0	1462	6,8	2,5	2,2
35	4AP160M6	15,0	974	7,5	2,2	2,0
36	ДИМ180M8	15,0	731	6,0	2,2	2,1
37	ДИМР160M2	18,5	2922	7,0	2,8	2,5
38	4AP160M4	18,5	1460	7,5	2,2	2,0
39	ДИМ180M6	18,5	975	5,7	2,3	2,0
40	ДИМР200M8	18,5	731	5,0	2,2	2,1
41	4A180S2	22,0	2925	7,5	2,2	1,4
42	4AP180S4	22,0	1470	7,5	2,2	2,0
43	ДИМР200M6	22,0	980	6,0	2,4	2,2
44	ДИМ200L2	22,0	731	5,0	2,2	2,1
45	4AM180M2	30,0	2925	7,0	2,2	1,3
46	4AP180M4	30,0	1470	7,5	2,2	2,0
47	ДИМР200L6	30,0	980	5,7	2,4	2,2
48	ДИМР225M2	30,0	731	5,5	2,2	2,1
49	ДИС200L B6	22,0	980	6,0	2,2	2,2
50	ДИС225M8	22,0	731	6,0	2,4	1,8

8	9	10	11	12	13	14	15
КПД при номинальной нагрузке $\eta_n$	Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_n$	Номинальный момент рабочей машины $M_{сн}$ , Н·м	Номинальная частота вращения рабочей машины $n_{нм}$ , об/мин	Коэффициент полезного действия передачи $\eta_{пер}$	Теплоемкость двигателя $C$ , Дж/°С	Теплоотдача двигателя при нагреве $A_{нагр}$ , Дж/(с·°С)	Теплоотдача двигателя при охлаждении $A_{охл}$ , Дж/(с·°С)
89,3	0,85	89,90	725	0,91	20855	8,48	3,39
85,5	0,81	262,60	240	0,88	38160	15,32	6,13
85,0	0,70	98,10	730	1,00	31765	12,60	5,04
88,5	0,87	96,40	970	0,89	34645	13,00	5,20
87,5	0,87	196,60	481	0,90	50510	18,70	7,48
86,0	0,86	204,50	488	0,95	61110	22,38	8,95
86,0	0,72	64,08	1460	0,89	45760	16,58	6,63
89,5	0,88	97,20	1461	0,93	52255	17,95	7,18
90,0	0,85	97,90	1462	1,00	51040	17,36	6,94
87,0	0,87	276,50	487	0,94	79250	26,68	10,67
87,0	0,72	195,90	731	1,00	70780	23,59	9,44
90,5	0,88	111,20	1461	0,92	58820	18,67	7,47
89,5	0,91	225,10	730	0,93	84170	26,47	10,59
89,5	0,83	788,20	195	0,87	75730	23,59	9,44
89,5	0,80	105,10	1462	0,87	68275	21,07	8,43
88,5	0,91	316,00	585	0,88	121140	35,73	14,29
89,7	0,91	271,60	735	0,95	101640	29,72	11,89
91,0	0,84	390,20	490	0,91	73595	21,33	8,53
89,5	0,81	126,50	1462	0,88	93560	26,88	10,75
90,0	0,91	273,30	975	0,93	140700	38,76	15,50
90,1	0,91	358,60	735	0,92	148950	40,69	16,28
91,5	0,85	555,50	490	0,95	102830	27,86	11,14
91,0	0,81	391,90	731	1,00	108210	29,09	11,63
91,0	0,85	754,60	245	0,88	68240	19,78	7,91
89,8	0,80	127,90	1462	0,89	77645	22,31	8,92

### 1. Молотилка. Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{L \cdot d \cdot z}{0,762 \eta_{\text{п}}},$$

где  $L$  – длина барабана молотилки, м ( $L = 1,2 \dots 1,5$  м);

$d$  – диаметр барабана молотилки, м ( $0,6 \dots 0,7$  м);

$z$  – число бил ( $z = 7 \dots 11$ );

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи (для ременной –  $0,85 \dots 0,9$ ; клиноременной –  $0,97 \dots 0,98$ ; зубчатой –  $0,98$ ; при непосредственном соединении с помощью муфты –  $1,0$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

2. *Зерноочистительная машина*. Мощность электродвигателя для привода основного рабочего органа – плоских качающихся решет стан-на зерноочистительной машины, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_3 \cdot m \cdot j_0^2}{657,5 \pi \cdot \eta_{\text{п}}},$$

где  $k_3 = 1,2 \dots 1,5$  – коэффициент запаса;

$m$  – масса решетного стана, кг ( $m = 100 \dots 300$  кг);

$j_0$  – ускорение решета,  $\text{м/с}^2$  ( $j_0 = 15 \dots 30$   $\text{м/с}^2$ );

$\pi$  – число колебаний решета в минуту,  $\text{мин}^{-1}$  (качающимися решетам сообщают обычно  $\pi = 500$   $\text{мин}^{-1}$ );

$\eta_{\text{п}} = 0,6 \dots 0,7$  – к.п.д. передаточного механизма.

Если прочие рабочие органы решетного стана (шетки, шнек и др.) имеют привод от этого же электродвигателя, то расчетную мощность для привода решет следует увеличить в  $1,25 \dots 1,75$  раза.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

3. *Цилиндрический триер зерноочистительной машины* предназначен для разделения подаваемого зернового материала на фракции. Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{уд}} \cdot Q \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $P_{\text{уд}} = 0,2 \dots 0,6$  – удельная мощность, Вт / (кг·ч);

$Q$  – подача триера или блока триеров, кг/ч;

$\eta_{\text{п}} = 0,8 \dots 0,9$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 750$  об/мин.

**4. Спиральный транспортер для зерна.** Мощность электродвигателя для привода односпирального транспортера, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{Q(q \cdot L \pm H)}{367 \eta_n},$$

где  $Q$  – подача транспортера, т/ч;

$q = 10 \dots 30$  Н/м – коэффициент сопротивления перемещению материала, зависящий от конструктивных параметров транспортера, частоты вращения спирали и скорости перемещаемого материала;

$L = 6 \dots 10$  м – длина трассы, м;

$H$  – высота подъема (опускания) материала, м ( $H = 3 \dots 5$  м);

$k_3 = 1,3 \dots 1,5$  – коэффициент запаса;

$\eta_n$  – к.п.д. передачи от электродвигателя к спирали (зависит от вида передачи).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**5. Пневмотранспортер для транспортировки зерна и зернопродуктов.** Различают следующие виды пневмотранспортеров: всасывающие (перемещают материал из нескольких точек в одну), нагнетательные (обеспечивают подачу из одной точки в несколько) и пневмотранспортеры смешанного типа. Материал может перемещаться по трубопроводам, минуя вентилятор, или через рабочее колесо вентилятора (пневмотранспортеры типа эксгаустеров).

Если транспортируемый материал не проходит через вентилятор, то расход воздуха, м<sup>3</sup>/с

$$Q_B = \frac{Q}{k_M \cdot \rho_B},$$

где  $Q$  – требуемая подача зернового материала, кг/с;

$k_M$  – коэффициент массовой концентрации смеси,  $k_M = 5 \dots 10$  кг/кг;

$\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> (при повышенных давлениях в системе  $\rho_B = 1,6 \dots 2,0$  кг/м<sup>3</sup>, при разрежении  $\rho_B = 0,8 \dots 0,95$  кг/м<sup>3</sup>).

Мощность на привод электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{Q_v \cdot H_0 \cdot 10^{-3}}{\eta_{вент} \cdot \eta_n},$$

где  $H_0$  – перепад давлений с учетом динамического давления для чистого воздуха, потерь давления на прямолинейном участке и на подъем материала, на местных сопротивлениях и в разгрузочном устройстве (циклоне), а также возможного подсоса воздуха. Па ( $H_0 = 10 \cdot 10^3$  Па);

$\eta_{вент}$  – к.п.д. вентилятора (для вентиляторов большей подачи  $\eta_{вент} = 0,4 \dots 0,6$ );

$\eta_n$  – к.п.д. передачи (при непосредственном соединении  $\eta_n = 1$ ).

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**6. Метательный транспортер.** Предназначен для перебрасывания материала (зерна) на расстояние до 18...20 м со скоростью до 18 м/с. Мощность электродвигателя для привода транспортера, кВт

$$P_{дв} = \frac{Q \cdot k \cdot g^2 \cdot 10^{-3}}{2 \eta_n},$$

где  $Q$  – подача транспортера, кг/с;

$k = 1,5 \dots 2,0$  – коэффициент, учитывающий сопротивление передаточного механизма;

$g$  – начальная скорость метания продукта, м/с ( $g = 15 \dots 18$  м/с);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**7. Передвижной скребковый транспортер для зерна с открытыми скребками.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{9,81 k_1 \cdot Q (L k_2 + H) \cdot 10^{-3}}{\eta_n},$$

где  $k_1 = 1,2 \dots 1,5$  – коэффициент, учитывающий сопротивления при пуске;

$Q$  – подача транспортера, кг/с;

$L = 3 \dots 8$  м – длина горизонтальной проекции транспортера (дальность транспортирования);

$k_2$  – коэффициент сопротивления движению, зависящий от особенностей транспортирующих рабочих органов и подачи (для крючковой скользящей цепи  $k_2 = 2,6 \dots 3,0$ );

$H = 1 \dots 3$  м – высота подъема материала, м;

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 750$  об/мин.

**8. Горизонтальный скребковый транспортер для зерна с погруженными скребками.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{L(P_1 Q + P_2 \vartheta)}{\eta_n},$$

где  $L$  – длина транспортера,  $L = 10 \dots 50$  м;

$P_1$  – мощность, необходимая на перемещение продукта при подаче  $1$  т/ч на расстояние  $1$  м в горизонтальном направлении, кВт·ч/(м·т). Для зерна  $P_1 = 0,0027$  кВт·ч/(м·т);

$Q$  – подача транспортера, т/ч;

$P_2$  – мощность, необходимая на перемещение тягового органа (цепи со скребками) длиной  $1$  м по горизонтали со скоростью  $1$  м/с, кВт/(м<sup>2</sup>·с). Для зерна  $P_2 = 0,08$  кВт/(м<sup>2</sup>·с);

$\vartheta = 0,4 \dots 1,0$  м/с – скорость транспортирования материала;

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 750$  об/мин.

**9. Винтовой транспортер (шнек) для зерна.** При перемещении сыпучих и им подобных материалов в горизонтальном, наклонном и даже в вертикальном направлениях винт, вращающийся с угловой скоростью  $114 \dots 410$  с<sup>-1</sup>, перемещает массу от загрузочного окна до выгрузного люка.

Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{9,81 k \cdot Q (qL + H) \cdot 10^{-3}}{\eta_n},$$

где  $Q$  – подача транспортера, кг/с;

$k$  – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления при пуске ( $k = 1,2 \dots 1,5$ );

$L$  – длина транспортера, м ( $L = 6 \dots 10$  м);

$H$  – высота подъема материала, м ( $H = 3 \dots 5$  м);

$q$  – коэффициент сопротивления перемещению 1 кг материала на 1 м длины транспортера, кг/м (для зерна и зернопродуктов  $q = 1,20 \dots 1,85$  кг/м);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 750$  об/мин.

**10. Инерционный транспортер для зерна.** Представляет собой желоб, совершающий возвратно-поступательные колебания под действием приводного механизма, благодаря чему продукт передвигается по нему. Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_1 \cdot Q \cdot L}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $P_1$  – мощность, необходимая для перемещения продукта при подаче 1 т/ч на расстояние 1 м по горизонтали, кВт·ч/(м · т). Для зерна  $P_1 = 0,03$  кВт·ч/(м · т);

$Q$  – подача транспортера, т/ч;

$L$  – дальность транспортирования, м ( $L = 1 \dots 10$  м);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**11. Передвижной ленточный транспортер для зерна.** Мощность электродвигателя передвижного ленточного транспортера, имеющего небольшую длину ленты (до 5...7 м между центрами барабанов), кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_1 k_2 k_3 L_1 \vartheta + 15 \cdot 10^{-5} Q L_2 + 27 \cdot 10^{-4} Q H}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий конструкцию подшипников (для опор скольжения  $k_1 = 1,25$ ; для опор качения  $k_1 = 1,0$ );

$k_2 = 0,03$  В – коэффициент, учитывающий ширину ленты В;

В – ширина ленты, м (принимается  $B = 0,8$  м);

$k_3$  – коэффициент, зависящий от длины ленты транспортера ( $k_3 = 1,25$  при  $L < 15$  м);

$L_1$  – длина горизонтальной проекции транспортера (дальность транспортирования), м ( $L_1 = 8 \dots 14$  м);

$L_2$  – длина транспортера, м ( $L_2 = 8 \dots 20$  м);

$Q$  – подача транспортера, т/ч;

$H$  – высота подачи материала, м ( $H = 1 \dots 5$  м);

$\vartheta$  – скорость ленты, м/с ( $\vartheta = 1,2 \dots 4$  м/с);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

При выборе значений  $L_1$ ,  $L_2$  и  $H$  следует использовать соотношение

$$L_2^2 = L_1^2 + H^2.$$

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**12. Ковшовый элеватор (нория) для зерна.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{9,81Q_{\text{н}}}{\eta_{\text{нор}} \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $Q_{\text{н}}$  – подача нории, кг/с;

$H$  – высота подъема материала, м ( $H = 5 \dots 10$  м);

$\eta_{\text{нор}}$  – к.п.д. нории, учитывающий сопротивление в подшипниках, изгиб ленты и энергозатраты на зачерпывание продукта ковшами ( $\eta_{\text{нор}} = 0,5 \dots 0,7$  для вертикального и  $\eta_{\text{нор}} = 0,3 \dots 0,4$  для наклонного перемещения при  $Q \leq 20$  т/ч и  $H < 20$  м).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**13. Щеточные машины для очистки поверхности зерна.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = P_{\text{уд}} \cdot Q / \eta_{\text{п}},$$

где  $P_{\text{уд}} = 0,7 \dots 0,9$  кВт·ч/т – удельный расход энергии;

$Q$  – подача, т/ч;

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**14. Жерновой постав с вертикальной осью.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_1 k_2 Q \cdot \pi n D \cdot 10^{-3}}{60 \eta_{\text{п}}},$$

где  $Q$  – подача зерна, кг/с;

$D$  – диаметр жернова, м ( $D = 0,9 \dots 1,4$  м);

$k_1$  – коэффициент, зависящий от диаметра жернова,  $\text{Н} \cdot \text{с} / \text{кг}$  (при

$D = 0,9 \dots 1,4$  м принимают  $k_1 = 2 \dots 4$   $\text{Н} \cdot \text{с} / \text{кг}$ );

$k_2 = 1,1 \dots 1,5$  – коэффициент запаса;

$n = 300 \dots 600$  об/мин – частота вращения жернова;

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 500$  об/мин.

**15. Жерновой постав с вертикальной осью.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_1 k_2 Q \cdot \pi n D \cdot 10^{-3}}{60 \eta_{\text{п}}},$$

где  $Q$  – подача, кг/с;

$D$  – диаметр жернова, м ( $D = 0,5 \dots 0,8$  м);

$k_1$  – коэффициент, зависящий от диаметра жернова, Н · с / кг (при  $D = 0,5 \dots 0,8$  м принимают  $k_1 = 1,1 \dots 1,3$  Н·с/кг, меньшие значения относятся к жерновам с большим диаметром);

$k_2 = 1,1 \dots 1,5$  – коэффициент запаса;

$n = 300 \dots 600$  об/мин – частота вращения жернова;

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 500$  об/мин.

**16. Молотковая дробилка зерна.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_1 Q A_{\text{изм}}}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $k_1$  – коэффициент, учитывающий потери на холостом ходу, расход энергии на циркуляцию материала в камере и вентиляцию ( $k_1 = 1,15 \dots 1,2$ );

$Q$  – производительность дробилки, кг/с;

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи;

$A_{\text{изм}}$  – удельная энергия на измельчение материала, кДж/кг:

$$A_{\text{изм}} = k_2 k_3 [k_4 \lg \lambda^3 + k_5 (\lambda - 1)],$$

$k_2$  – коэффициент, учитывающий отклонение влажности зерна от базисной влажности (14%):

$$k_2 = 1 + k_6 (W - 14),$$

$k_6$  – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства зерна ( $k_6 = 0,06 \dots 0,075$ );

$W$  – относительная влажность зерна, %;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий неоднородность материала и принцип воздействия рабочих органов дробилки на материал;

$k_4$  – коэффициент, характеризующий работу на деформацию зерна до начала текучести, кДж/кг;

$\lambda$  – степень измельчения зерна – отношение средних размеров  $D_3$  кусков исходного материала к среднему размеру  $d$  частиц продукта измельчения ( $d = 1 \dots 1,5$  мм);

$k_5$  – коэффициент, характеризующий работу на измельчение корма от предела текучести до разрушения (образуются новые поверхности при измельчении), кДж/кг.

Значения  $D_3$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  и  $k_5$  приведены в табл. 4.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

Таблица 4. Характеристика фуражного зерна

Культура	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	$D_3$ , мм	Коэффициенты		
			$k_3$	$k_4$ , кДж/кг	$k_5$ , кДж/кг
Ячмень	1300	4,2	$1,20 \pm 0,30$	8,50	7,50
Овес (без пленок)	1350	3,7	$5,00 \pm 1,50$	2,34	1,96
Рожь	1280	3,3	$1,45 \pm 0,35$	8,40	6,40
Пшеница	1360	–	–	4,60	8,15
Горох	1360	–	–	10,70	3,66

**17. Соломосилосорезка.** Представляет собой измельчитель грубых кормов с дисковым режущим аппаратом. Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{P_{рез} + P_{под} + P_{х.х}}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $P_{рез}$  – мощность, расходуемая на резание корма, Вт;

$P_{под}$  – мощность, расходуемая на привод механизма подачи, Вт;

$P_{х.х}$  – мощность холостого хода машины, Вт;

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

Указанные оставляющие мощности принимают из соотношения  $P_{рез} : P_{под} : P_{х.х} = 3 : 1 : 1$ . Следовательно, потребная мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{5}{3} P_{рез} = \frac{k a b q \omega}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k = 2 \dots 8$  – число ножей (принимается четным из соображений балансировки);

$a$  – высота горловины, м ( $a = 0,1 \dots 0,3$  м);

$b$  – ширина горловины, м ( $b = 0,25 \dots 0,45$  м);

$q$  – удельное давление резания материала на единицу длины лезвия, Н/м ( $q = 3500 \dots 5000$  Н/м при значениях угла скольжения  $\tau = 24 \dots 30^\circ$ );

$\omega$  – частота вращения ножей,  $c^{-1}$  ( $\omega = 0,35 \dots 0,45$   $c^{-1}$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**18. Измельчитель кормов.** Мощность электродвигателя на привод измельчителя с барабанным режущим аппаратом, кВт

$$P_{дв} = \frac{k_{хх} Q A_{изм}}{\eta_n},$$

где  $k_{хх} = 1,15 \dots 1,2$  – коэффициент, учитывающий потери холостого хода;

$Q$  – подача измельчаемого материала, т/ч;

$A_{изм}$  – удельные энергозатраты на измельчение корма, кВт·ч/т (для корнеплодов  $A_{изм} = 1,2 \dots 1,3$  кВт·ч/т, для зеленой массы и сочных кормов  $A_{изм} = 1,7 \dots 6,5$  кВт·ч/т, для соломы и сена  $A_{изм} = 5,2 \dots 8,0$  кВт·ч/т);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**19. Пневмотранспортер с вентилятором-швырялкой для измельченных кормов** представляет собой вентилятор, у которого весь погружаемый материал проходит через рабочее колесо. Необходимая мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{P_{уд} Q H}{\eta_n},$$

где  $P_{уд} = 0,15 \dots 0,37$  кВт·с/(м·кг) – удельная мощность;

$Q$  – подача вентилятора-швырялки, кг/с;

$H$  – высота транспортирования ( $H = 15 \dots 30$  м);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**20. Пастоприготовитель шнековый для силоса и травы.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{P_{п} + P_{изм} + P_{х,х}}{\eta_{п}}$$

где  $P_{п}$  – мощность, расходуемая на работу прессующего шнека, кВт;  
 $P_{изм}$  – мощность, расходуемая на процесс измельчения, кВт;  
 $P_{х,х}$  – мощность холостого хода пастоизготовителя, кВт.  
 Составляющие мощности, кВт

$$P_{п} = A_{п} Q \cdot 10^{-3};$$

$$P_{изм} = A_{изм} S_{р} \cdot 10^{-3};$$

$$P_{х,х} = k_{х,х} (P_{п} + P_{изм}),$$

где  $A_{п}$  – удельный расход энергии на подвод к ножам и уплотнение измельчаемой массы, кДж/кг;

$A_{изм}$  – удельный расход энергии на перерезание корма ( $A_{изм} = 7,2 \dots 28,8$  кДж/м<sup>2</sup>);

$S_{р}$  – удельная площадь поверхности раздела ( $S_{р} = 0,9 \dots 1,0$  м<sup>2</sup>/кг);

$Q$  – подача, кг/с;

$k$  – коэффициент холостого хода ( $k = 0,10 \dots 0,15$ ).

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 750$  об/мин.

**21. Картофелесортировка.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = A \cdot Q / \eta_{п}$$

где  $A$  – удельные затраты электроэнергии, кВт·ч/т (табл. 5);

$Q$  – подача, т/ч;

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

Т а б л и ц а 5. Удельные затраты электроэнергии для сортировок

Подача, т/ч	Тип сортировки			
	грохотная	транспортная	родиковая	барабанная
2,5	0,40	0,50	0,63	0,46
5,0	0,22	0,28	0,37	0,21
7,5	0,18	0,17	0,22	0,16
10	0,15	0,12	0,16	0,13
15	0,13	0,11	0,15	0,11

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**22. Барабанная корнеклубнеймойка.** Мощность электродвигателя определяем по эмпирической формуле (кВт):

$$P_{дв} = \frac{0,0045n + 0,2Q}{\eta_{п}},$$

где  $n$  – частота вращения барабана ( $n = 1900 \dots 2100$  об/мин);

$Q$  – подача, т/ч;

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**23. Винтовая (шнековая) корнеклубнеймойка.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{(P_1 + P_2)i + P_3 + P_4}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $P_1$  – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления трения корнеклубнеплодов о корпус шнека и на их подъем по наклону, кВт;

$P_2$  – мощность, расходуемая на преодоление сил трения корнеклубнеплодов о витки шнека, кВт;

$i = 1,1 \dots 1,2$  – коэффициент, учитывающий потери мощности на перемешивание;

$P_3$  – мощность, расходуемая на преодоление сопротивления в упорном подшипнике шнека, кВт;

$P_4$  – мощность, необходимая для преодоления сопротивления трения в радиальных подшипниках, кВт.

Отдельные составляющие мощности электродвигателя, кВт

$$P_1 = 9,81Q(f_1L_0 + H) \cdot 10^{-3};$$

$$P_2 = 9,81f_2Q \frac{\pi D_2}{S} (f_1L_0 + H) \cdot 10^{-3};$$

$$P_3 = 9,81f_3Q \frac{\pi D_1}{S} (f_1L_0 + H + \frac{m_0}{m_M}) \cdot 10^{-3};$$

$$P_4 = 9,81q_0L_0f_4 \cdot \pi d_4 \omega \cdot 10^{-3};$$

где  $Q$  – подача, кг/с;

$f_1 \dots f_4$  – коэффициенты трения соответственно материала по желобу, материала по шнеку, в упорном и радиальных подшипниках ( $f_1 = 0,3 \dots 0,6$ ;  $f_2 = 0,4 \dots 0,7$ ;  $f_3 = f_4 = 0,010 \dots 0,015$ );

$L_0$  – дальность горизонтального перемещения корнеплодов ( $L_0 = 6 \dots 10$  м);

$H$  – высота подъема, м ( $H = 1 \dots 3$  м);

$D_2$  – внешний диаметр шнека, м ( $D_2 = 0,3$  м);

$D_1 = (0,2 \dots 0,35) D_2$  – диаметр вала шнека, м;

$S$  – шаг винта шнека, м ( $S = 0,20 \dots 0,25$  м);

$m_0$  – масса вращающихся частей, приходящаяся на 1 м длины шнека мойки ( $m_0 = 3 \dots 5$  кг/м);

$m_M$  – масса обрабатываемого материала, приходящаяся на 1 м длины желоба ( $m_M = 6,7 \dots 12,3$  кг/м);

$d_{ц}$  – диаметр цапфы вала, м ( $d_{ц} = 0,06$  м);

$\omega$  – угловая скорость шнека,  $c^{-1}$  ( $\omega = 35 \dots 40$   $c^{-1}$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**24. Куличковая корнеклубнемойка.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{q Q l}{\eta_{п}}$$

где  $q$  – удельный расход энергии на 1 м длины мойки, кДж/(кг·м). Принимается  $q = 0,22$  кДж/(кг·м) – для моек с подачей 1,4...1,7 кг/с и  $q = 0,15$  кДж/(кг·м) – для моек с подачей свыше 1,7 кг/с;

$Q$  – подача, кг/с;

$l = 1 \dots 3$  м – общая длина моечной ванны;

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**25. Центробежная корнеклубнемойка.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{3,3 Q t f D \omega k_v}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – подача, кг/с;

$t$  – время мойки корнеплодов в моечном цилиндре, с ( $t = 60 \dots 90$  с);

$f$  – коэффициент трения корнеплодов о поверхность моечного цилиндра ( $f = 0,5 \dots 0,6$ );

$D$  – диаметр моечного цилиндра, м ( $D = 0,4 \dots 0,5$  м);

$\omega$  – угловая скорость моечного диска,  $c^{-1}$  ( $\omega = 2,5 \dots 13,4 c^{-1}$ );

$k_B$  – коэффициент, учитывающий вращательное движение корнеклубнеплодов ( $k_B = 0,3 \dots 0,4$ );

$\eta_{II}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**26. Корнеклубнереза.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{k_{XX} A Q}{\eta_{II}},$$

где  $k_{XX}$  – коэффициент, учитывающий потери холостого хода ( $k_{XX} = 1,5 \dots 1,20$ );

$A$  – удельные затраты энергии на резку корнеплодов, кВт·ч/т ( $A = 0,65 \dots 1,0$  кВт·ч/т);

$Q$  – подача, т/ч;

$\eta_{II}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**27. Мойка-корнерезка.** Суммарная мощность на привод мойки-корнерезки центробежного типа, кВт

$$P_{дв} = \frac{P_M + P_K + P_{XX}}{\eta_{II}},$$

где  $P_M$  – мощность, расходуемая на мойку корнеклубнеплодов, кВт;

$P_K$  – мощность на привод центробежной корнерезки, кВт;

$P_{XX}$  – мощность холостого хода машины, кВт;

$\eta_{II}$  – к.п.д. передачи (для клиноременной передачи  $\eta_{II} = 0,90 \dots 0,96$ ).

Мощность, необходимая для мойки корнеклубнеплодов, кВт,

$$P_M = 3,3 k_B Q t f D \omega \cdot 10^{-3},$$

где  $k_B$  – коэффициент, учитывающий вращательное движение корнеклубнеплодов ( $k_B = 0,3 \dots 0,4$ );

$Q$  – подача, кг/с;

$t$  – время мойки корнеплодов в моечном цилиндре, с ( $t = 60 \dots 90$  с);

$f$  – коэффициент трения корнеплодов о поверхность моечного цилиндра ( $f = 0,5 \dots 0,6$ );

$D$  – диаметр моечного цилиндра, м ( $D = 0,4 \dots 0,5$  м);

$\omega$  – угловая скорость моечного рабочего органа,  $c^{-1}$  ( $\omega = 2,5 \dots 13,4 c^{-1}$ ).

Мощность, необходимая для привода центробежной корнерезки, расходуется на сопротивление резанию  $P_{РЕЗ}$ , подачу корнеклубнепло-

дов к ножам  $P_{\text{ПОД}}$ , преодоление сил трения  $P_{\text{ТР}}$  материала о кожух камеры и сил сопротивления холостого хода  $P_{\text{ХХ}}$  (кВт):

$$P_K = P_{\text{РЕЗ}} + P_{\text{ПОД}} + P_{\text{ТР}} + P_{\text{ХХ}}$$

Мощность на резание корнеклубнеплодов, кВт

$$P_{\text{РЕЗ}} = 0,5 k_H \varphi q D_p L_H z \omega_2 \cdot 10^{-3},$$

где  $k_H$  – коэффициент использования длины ножей ( $k_H = 0,7 \dots 0,8$ );

$\varphi$  – коэффициент заполнения межлопастного пространства крылача ( $\varphi = 0,6 \dots 0,8$ );

$q$  – удельное среднее усилие резания, отнесенное к 1 м длины лезвия ножа, Н/м ( $q = 150 \dots 200$  Н/м);

$D_p$  – диаметр камеры резания, м ( $D_p = (0,70 \dots 0,75)$  м);

$L_H$  – длина ножа, м ( $L_H = 0,2$  м);

$z$  – число ножей ( $z = 2$ );

$\omega_2$  – угловая скорость вращения режущих рабочих органов,  $c^{-1}$  ( $\omega_2 = 13,4 \dots 215,0$   $c^{-1}$ ).

Мощность, необходимая на подачу материала к ножам, кВт,

$$P_{\text{ПОД}} = \frac{QfR_K}{z} \left( 1 + \frac{zh\omega_2^2}{\pi g} \right) \cdot 10^{-3},$$

где  $R_K$  – радиус крылача, м ( $R_K = D_p / 2$ );

$h$  – толщина срезаемой стружки, м (для крупного рогатого скота  $h = 0,01 \dots 0,015$  м);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Мощность, необходимая на преодоление сил трения корнеклубнеплодов о стенки камеры резания, кВт,

$$P_{\text{ТР}} = \frac{2\pi k_{\text{РЕЗ}} QfR_K^2 \omega_2^2}{z^2 g} \cdot 10^{-3},$$

где  $k_{\text{РЕЗ}}$  – коэффициент, учитывающий уменьшение силы трения за счет срезания корнеклубнеплодов ( $k_{\text{РЕЗ}} = 0,3 \dots 0,4$ ).

Мощность на преодоление сил сопротивления холостого хода, кВт

$$P_{\text{ХХ}} = k_{\text{ХХ}} P_{\text{РЕЗ}},$$

где  $k_{\text{ХХ}}$  – коэффициент, учитывающий потери на холостом ходу ( $k_{\text{ХХ}} = 0,3$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

28. *Лопастный смеситель кормов.* Потребная мощность электродвигателя определяется по эмпирической формуле (кВт):

$$P_{дв} = 0,43 z D^{4,56} n^{2,78},$$

где  $z$  – число лопастей ( $z = 8$  шт.);

$D$  – диаметр крыльчатки, м;

$n$  – частота вращения вала крыльчатки ( $n = 3 \dots 4$  об/мин).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

29. *Барабанный дозатор кормов.* Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{P_H S \cdot \operatorname{tg} \varphi'_0 \cdot \pi D \omega \cdot k_1 k_2}{\eta_n} \cdot 10^{-3},$$

где  $P_H$  – давление корма на поверхность барабана, Па;

$S$  – площадь горизонтального сечения горловины бункера над барабаном ( $S = 0,12 \dots 0,25$  м<sup>2</sup>);

$\varphi'_0$  – угол естественного откоса корма при движении ( $\varphi'_0 = 32 \dots 35^\circ$ );

$D$  – диаметр барабана, м ( $D = 0,8 \dots 1,0$  м);

$k_1$  – коэффициент, учитывающий сопротивление корма дроблению (для порошкообразных и мелкозернистых продуктов  $k_1 = 1$ , для легкораспадающихся кусковых  $k_1 = 2$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий потери на трение рабочих органов дозатора ( $k_2 = 1,1 \dots 1,2$ );

$\omega$  – угловая скорость вращения барабана, с<sup>-1</sup> ( $\omega = 30 \dots 40$  с<sup>-1</sup>);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

30. *Ленточный дозатор кормов.* Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = (P_1 + P_2) / \eta_n,$$

где  $P_1$  – мощность, необходимая для подачи корма, кВт;

$P_2$  – мощность, необходимая на преодоление трения продукта о стенки желоба, кВт;

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Составляющие мощности, кВт

$$P_1 = 9,81 k Q (0,2 L + H) \cdot 10^{-3},$$

$$P_2 = f h^2 / \gamma \vartheta k_n \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – подача дозатора, кг/с;

$L$  – длина дозатора, м (до 10 м);  
 $H$  – высота подъема корма, м (для наклонных дозаторов  $H = 1 \dots 3$  м);  
 $k$  – коэффициент, учитывающий сопротивление барабанов и перегибы ленты ( $k = 1,2$ );  
 $h$  – высота слоя корма на ленте, м ( $h = 0,10 \dots 0,11$  м);  
 $l$  – длина бортов, м (до 8 м);  
 $\gamma$  – объемная масса корма, кг/м<sup>3</sup> ( $\gamma = 440 \dots 480$  кг/м<sup>3</sup>);  
 $f$  – коэффициент трения корма о борт ( $f = 0,3 \dots 0,4$ );  
 $k_{\Pi}$  – коэффициент подвижности корма:

$$k_{\Pi} = (1 - \sin \varphi'_0) (1 + \sin \varphi'_0),$$

$\varphi'_0$  – угол естественного откоса корма при движении ( $\varphi'_0 = 32 \dots 35^\circ$ );  
 $\vartheta$  – скорость движения ленты транспортера, м/с ( $\vartheta = 0,6 \dots 1,4$  м/с).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**31. Шнековый дозатор кормов.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{9,81Q(L_0 k_1 + H)k_2}{\eta_{\Pi}} \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – подача дозатора, кг/с;

$L_0$  – горизонтальная проекция перемещения корма, м ( $L_0 = 2 \dots 8$  м);

$k_1$  – коэффициент сопротивления перемещению корма в корпусе дозатора ( $k_1 = 1,2 \dots 2,5$ );

$k_2$  – коэффициент, учитывающий потери на трение в подшипниках ( $k_2 = 1,1 \dots 1,2$ );

$H$  – высота подъема корма, м ( $H = 1 \dots 3$  м);

$\eta_{\Pi}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**32. Тарельчатый дозатор кормов.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{F\vartheta}{\eta_{\Pi}} \cdot 10^{-3} = \frac{9,81f_1 SR_0 \omega h^2 \gamma}{2 \operatorname{tg} \varphi'_0 \cdot \eta_{\Pi}} (1 + f_2 \cos \beta) k \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – сила трения, возникающая при движении материала по диску, Н;

$\vartheta$  – скорость движения материала при сбрасывании с диска, м/с ( $\vartheta = 0,6 \dots 1,4$  м/с);

$h$  – высота подъема кожуха над диском, м ( $h = 0,10 \dots 0,15$  м);

$S$  – перемещение корма с момента поступления из бункера и до сброса его скребком с диска, м ( $S = 0,3 \dots 0,5$  м);

$R_0 = R + \frac{h}{3} \operatorname{tg} \varphi'_0$  – расстояние между центром тяжести радиального сечения корма, лежащего на диске, и осью вращения, м;

$R$  – радиус кожуха, регулирующего толщину слоя корма на диске ( $R = 0,3 \dots 0,4$  м);

$\varphi'_0$  – угол естественного откоса корма при движении ( $\varphi'_0 = 32 \dots 35^\circ$ );

$\omega$  – угловая скорость вращения диска,  $\text{с}^{-1}$  ( $\omega = 2 \dots 4 \text{ с}^{-1}$ );

$\beta$  – угол установки сбрасывающего скребка ( $\beta = 25 \dots 30^\circ$ );

$\gamma$  – плотность корма,  $\text{кг/м}^3$  ( $\gamma = 440 \dots 480 \text{ кг/м}^3$ );

$f_1$  – коэффициент трения корма о диск ( $f_1 = 0,4 \dots 0,6$ );

$f_2$  – коэффициент трения корма о скребок ( $f_2 = 0,4 \dots 0,6$ );

$k$  – коэффициент, учитывающий другие сопротивления ( $k = 1,5 \dots 2,0$ );

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**33. Шнековый смеситель кормов.** Мощность электродвигателя вертикального шнекового смесителя порционного действия, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{9,81kQH}{\eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий усилие на проталкивание корма через задвижку ( $k = 1,1 \dots 1,3$ );

$Q$  – подача шнека смесителя,  $\text{кг/с}$ ;

$H$  – высота подъема материала, м (до 6 м);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи (для клиноременной передачи  $\eta_{\text{п}} = 0,90 \dots 0,96$ ).

Подача шнека смесителя,  $\text{кг/с}$

$$Q = V_{\text{см}} \gamma \varphi_3 (t_{\text{см}} + t_{\text{загр}} + t_{\text{выгр}}),$$

где  $V_{\text{см}}$  – вместимость смесителя,  $\text{м}^3$ ;

$\gamma$  – насыпная плотность смешиваемой массы,  $\text{кг/м}^3$  (для комбикорма  $\gamma = 440 \dots 480 \text{ кг/м}^3$ );

$\varphi_3$  – коэффициент заполнения сечения шнека транспортируемой массой ( $\varphi_3 = 0,7 \dots 0,8$ );

$t_{\text{загр}}$  – время загрузки корма в смеситель, с ( $t_{\text{загр}} = 60 \dots 80$  с);

$t_{\text{выгр}}$  – время выгрузки корма, с ( $t_{\text{выгр}} = 80 \dots 120$  с);

$t_{\text{см}}$  – время смешивания корма, с (при вертикальном расположении шнека  $t_{\text{см}} = 360 \dots 420$  с).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**34. Цепочно-скребковый кормораздатчик.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{F \vartheta}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – общее тяговое сопротивление транспортера, Н;  
 $\vartheta$  – скорость передвижения скребков, м/с ( $\vartheta = 0,4 \dots 1,0$  м/с);  
 $\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.  
 Общее тяговое сопротивление транспортера, Н

$$F = F_{х.х} + F_{д} + F_{ст} + F_{з},$$

где  $F_{х.х}$  – сопротивление рабочих органов транспортера на холостом ходу, Н;  
 $F_{д}$  – сопротивление трения корма о дно кормушки, Н;  
 $F_{ст}$  – сопротивление трения корма о боковые стенки кормушки, Н;  
 $F_{з}$  – сопротивление возможного заклинивания корма между скребками и стенками кормушки, Н.  
 Сопротивление перемещению рабочих органов транспортера на холостом ходу, Н

$$F_{х.х} = G L_{ц} f_0,$$

где  $G$  – вес одного метра цепи транспортера, Н/м ( $G = 32$  Н/м);  
 $f_0$  – приведенный коэффициент трения ( $f_0 = 0,4 \dots 0,5$ );  
 $L_{ц}$  – длина цепи транспортера, м:

$$L_{ц} = m b_{к} + L_{з},$$

где  $b_{к}$  – фронт кормления одного животного, м ( $b_{к} = 1,05 \dots 1,20$  м);  
 $L_{з}$  – длина загрузочного участка транспортера, м ( $L_{з} = 1 \dots 4$  м).  
 Сопротивление трения корма о дно кормушки, Н

$$F_{д} = 9,81 m_{уд} L_{ц} f,$$

где  $m_{уд}$  – масса корма на одном метре длины транспортера, кг/м:

$$m_{уд} = q_{макс} / b_{к},$$

$q_{макс}$  – максимальное количество корма разовой дачи на одну корову, кг ( $q_{макс} = 12 \dots 15$  кг);  
 $f$  – коэффициент трения кормов о дно кормушки ( $f = 0,5$ ).  
 Сопротивление трения корма о боковые стенки кормушки, Н

$$F_{ст} = 2 k F_{д},$$

где  $k$  – коэффициент бокового давления ( $k = 0,5 \dots 0,6$ ).

Сопrotивление возможного заклинивания корма между скребками и стенками кормушки, Н

$$F_3 = q_3 n,$$

где  $q_3$  – сопротивление при заклинивании скребка, Н ( $q_3 = 1 \dots 3$  Н);

$n$  – количество скребков:

$$n = L_{\text{ц}} / l_{\text{с}},$$

$l_{\text{с}}$  – шаг скребков, м ( $l_{\text{с}} = 0,6$  м).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**35. Ценной раздатчик комбикормов для птиц.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{k F \vartheta}{\eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k = 1,1$  – коэффициент, учитывающий потери на приводной звездочке;

$F$  – усилие на приводной звездочке, Н;

$\vartheta$  – скорость движения цепи, м/с ( $\vartheta = 0,2 \dots 0,5$  м/с);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

$F$  в свою очередь, усилие на приводной звездочке, Н

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5,$$

где  $F_1$  – сопротивление перемещению цепи, Н;

$F_2$  – сопротивление трению корма о днище короба, Н;

$F_3$  – сопротивление трению корма о боковые стенки короба, Н;

$F_4$  – сопротивление подъему корма, Н;

$F_5$  – сопротивление натяжной звездочки, Н.

Сопrotивление перемещению цепи, Н

$$F_1 = 9,81 \cdot 2 m_{\text{ц}} L_1 k_{\text{ц}} \cos \alpha,$$

где  $m_{\text{ц}}$  – масса одного метра длины цепи со скребками ( $m_{\text{ц}} = 1,85 \dots 5,85$  кг/м);

$L_1$  – расстояние между осями звездочек, м (до 10 м);

$k_{\text{ц}}$  – коэффициент сопротивления движению цепи по направляющему (для роликовой цепи  $k_{\text{ц}} = 0,25 \dots 0,30$ , для безроликовой  $k_{\text{ц}} = 0,35 \dots 0,40$ );

$\alpha$  – угол подъема транспортера, град ( $\alpha = 0 \dots 30^\circ$ ).

Сопrotивление трению корма о днище короба, Н

$$F_2 = 9,81 B h \gamma f_1 \cos \alpha,$$

где  $B$  – ширина короба в верхней части, м ( $B = 0,080 \dots 0,085$  м);

$h$  – высота слоя корма, м ( $h = 0,10 \dots 0,12$  м);

$\gamma$  – объемная масса корма, кг/м<sup>3</sup> ( $\gamma = 550 \dots 750$  кг/м<sup>3</sup>);

$f_1$  – коэффициент трения движения корма по коробу ( $f_1 = 0,36 \dots 0,40$ ).

Сопrotивление трению корма о боковые стенки короба, Н

$$F_3 = 9,81 h_1^2 k L \gamma f_1 \cos \alpha,$$

где  $h_1$  – высота короба, м ( $h_1 = 0,15 \dots 0,25$  м);

$k$  – коэффициент бокового давления ( $k = 0,5 \dots 0,6$ );

$L$  – длина короба, м.

Сопrotивление подъему корма, Н

$$F_4 = 9,81 B h L \gamma \sin \alpha.$$

Сопrotивление натяжной звездочки при перемещении продукта по направлению от натяжной к приводной станции, Н

$$F_5 = 0,25 F_4.$$

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**36. Лентотросовый кормораздатчик для птиц.** Мощность электродвигателя для привода кормораздатчика с двумя лентами, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{2k_3(P_1 + P_2)}{\eta_{\text{п}}},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,2 \dots 1,3$ );

$P_1$  – мощность, необходимая для перемещения корма на одной ленте кормораздатчика, кВт;

$P_2$  – мощность холостого хода одной ленты, кВт;

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

$B$  в свою очередь, составляющие мощности, кВт

$$P_1 = 9,81 m_k L f \vartheta \cdot 10^{-3};$$

$$P_2 = (9,81 m_{\text{л}} L f + F_{\text{н}} f_1 \frac{r}{R}) \vartheta \cdot 10^{-3},$$

где  $m_k$  – удельная масса корма на погонный метр длины ленты, кг/м ( $m_k = 3 \dots 6$  кг/м);

$L$  – длина ленты кормораздатчика, м;  
 $f$  – коэффициент трения ленты о желоб (для деревянных желобов  $f = 0,4 \dots 0,7$ ; для стальных  $f = 0,35 \dots 0,60$ );  
 $\vartheta$  – скорость движения ленты, м/с ( $\vartheta = 1,2 \dots 4,0$  м/с);  
 $m_{л}$  – масса погонного метра ленты, кг/м ( $m_{л} = 2 \dots 3$  кг/м);  
 $F_{н}$  – натяжение ленты транспортера, Н (допустимое натяжение на 1 м ширины каждой прокладки ленты  $F_{н} = 0,49$  Н);  
 $f_i$  – коэффициент трения в подшипниках ( $f_i = 0,010 \dots 0,015$ );  
 $r$  – радиус подшипника, м ( $r = 0,040$  м);  
 $R$  – радиус шкива для троса, м ( $R = 0,080$  м).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**37. Кормораздатчик колебательного типа для птиц.** Перемещение корма происходит в результате возвратно-поступательного (колебательного) движения кормушек. При движении транспортера от питающего бункера скорость его меньше, чем при движении к бункеру, вследствие чего корм передвигается по желобу в одном направлении. Каждая линия (один желоб) кормораздатчика имеет самостоятельный электропривод.

Мощность электродвигателя линии с одним желобом, кВт

$$P_{дв} = \frac{9,81QLf}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $Q$  – подача одной линии раздатчика, кг/с;

$L$  – длина раздатчика, м;

$f$  – коэффициент трения ленты о желоб (для деревянных желобов  $f = 0,4 \dots 0,7$ ; для стальных  $f = 0,35 \dots 0,60$ );

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1000$  об/мин.

**38. Яйцесборный транспортер.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{k c \vartheta F}{\eta_{п}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий перегрузку в момент пуска ( $k = 1,2 \dots 1,5$ );

$c$  – коэффициент, учитывающий жесткость ленты и сопротивление вращению шкивов ( $c = 1,2 \dots 1,3$ );

$\vartheta$  – скорость движения ленты, м/с ( $\vartheta = 0,10 \dots 0,15$  м/с);

$\eta_{п}$  – к.п.д. передачи;

F – сопротивление движению, Н

$$F = 9,81 f L \left( \frac{n \alpha m m_1}{10^5 n_1 \vartheta} + 2q_L \right),$$

n – число кур в птичнике;

$\alpha$  – максимальная яйценоскость кур ( $\alpha = 65 \dots 75\%$ );

m – максимальный относительный выход яиц за 1 ч по отношению к суточному сбору ( $m = 0,15 \dots 0,30$ );

$m_1$  – масса яйца, г ( $m_1 = 55 \dots 60$  г);

$n_1$  – число транспортеров в птичнике ( $n_1 = 4$ );

$\vartheta$  – скорость ленты транспортера, м/ч ( $\vartheta = 360 \dots 540$  м/ч);

$q_L$  – масса ленты на 1 м длины, кг/м ( $q_L = 0,25 \dots 0,33$  кг/м);

f – коэффициент сопротивления движению ( $f = 0,25 \dots 0,30$ );

L – длина ветви транспортера, м ( $L = 20$  м).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**39. Центробежный насос для подачи воды.** Для схемы водоснабжения (подача воды через напорный бак или котел) подбирается насос чаще всего центробежного типа, наиболее надежный и простой в эксплуатации.

Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{9,81 \rho Q_H H_H}{3,6 \eta_H \eta_H},$$

где  $\rho$  – объемная масса воды, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$Q_H$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/ч;

$H_H$  – полный расчетный напор, м;

$\eta_H$  – к.п.д. насоса ( $\eta_H = 0,4 \dots 0,8$ );

$\eta_H$  – к.п.д. передачи (при непосредственном соединении  $\eta_H = 1$ , при соединении через муфту  $\eta_H = 0,98 \dots 0,99$ ).

Подача насоса определяется по средним нормам водопотребления (м<sup>3</sup>/ч):

$$Q_H \geq Q_{\max,ч} = \frac{Q_{ср,сут} k_ч k_{сут}}{24 \eta_H},$$

где  $Q_{\max,ч}$  – максимальное расчетное потребление воды или максимальный часовой расход воды, м<sup>3</sup>/ч;

$Q_{ср,сут}$  – среднесуточный расход воды или необходимое количество воды в сутки для фермы, м<sup>3</sup>/сут;

$k_ч$  – коэффициент часовой неравномерности водопотребления ( $k_ч = 2,0 \dots 3,5$  для фермы с автопоением;  $k_ч = 4,0 \dots 5,5$  без автопоения);

$k_{сут}$  – коэффициент суточной неравномерности водопотребления ( $k_{сут} = 1,2 \dots 1,3$ );

$\eta_{п}$  – к.п.д. установки, учитывающий потери воды ( $\eta_{п} = 0,9$ ).

Среднесуточное потребление воды на ферме  $Q_{ср.сут}$  ( $м^3/сут$ ) зависит от нормы водопотребления  $q_i$  (на одну корову  $q_i = 0,080 м^3/сут$ ) и количества потребителей:

$$Q_{ср.сут} = q_1 n_1 + q_2 n_2 + \dots + q_i n_i,$$

где  $q_1, q_2 \dots q_i$  – суточная норма потребления воды  $i$ -м видом потребителей,  $м^3/сут$ ;

$n_1, n_2, n_i$  – количество потребителей каждого вида.

Полный напор насоса  $H_{п}$  выбирается таким, чтобы можно было подать воду при необходимом давлении в заданную точку.

При непосредственной подаче воды от насоса в напорную сеть

$$H_{п} = H_{вс} + H_{наг} + H_{пог} + H_{св},$$

где  $H_{вс}$  – высота всасывания, м ( $H_{вс} = 4 \dots 8$  м);

$H_{наг}$  – высота нагнетания, м ( $H_{наг} = 10 \dots 30$  м);

$H_{пог}$  – потери напора в местных соединениях, трубопроводах и вентилях, м;

$H_{св}$  – свободный напор, м ( $H_{св} = 8 \dots 12$  м).

При подаче воды через напорный бак или котел

$$H_{п} = H_{вс} + H_{наг} + H_{пог} + H_{выкл},$$

где  $H_{выкл}$  – напор выключения, м ( $H_{выкл} = 2 \dots 4$  м).

Потери напора в трубопроводах, м

$$H_{пог} = h_{тр} + h_{м},$$

где  $h_{тр}$  – потери на трение, м:

$$h_{тр} = \lambda \frac{\vartheta^2 L}{9,81 \cdot 2 d_{тр}},$$

где  $\lambda$  – коэффициент трения, зависящий от скорости движения воды (табл. 6);

$\vartheta$  – скорость движения воды в трубопроводе, м/с ( $\vartheta = 0,50 \dots 1,25$  м/с);

$L$  – длина участка трубопровода, м (для коровника на 100 голов при двухрядном содержании принимаем  $L = 100$  м);  
 $d_{\text{ТР}}$  – диаметр трубопровода, м:

$$d_{\text{ТР}} = 2 \sqrt{\frac{Q_{\text{МАХ}}}{\pi V}}$$

$Q_{\text{МАХ}}$  – максимальный секундный расход воды, м<sup>3</sup>/с;  
 $h_{\text{М}}$  – местные потери, м,  $h_{\text{М}} = (0,05 \dots 0,10) h_{\text{ТР}}$ .

Таблица 6. Значения коэффициента трения в зависимости от скорости движения воды

$\lambda$	0,028	0,027	0,026	0,025	0,0245	0,024	0,022
$v$ , м/с	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2

Зная расход и напор, по соответствующим таблицам [4] выбираем насос подходящих параметров с учетом возможной частоты вращения приводного электродвигателя.

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**40. Ротационный лопастный вакуум-насос.** Предназначен для создания в вакуум-проводе доильной установки разряжения, необходимого для работы доильных аппаратов. Мощность электродвигателя, выбранного по требуемым техническим данным вакуум-насоса, кВт,

$$P_{\text{ДВ}} = \frac{k_3 Q_{\text{НАС}} H}{\eta_{\text{НАС}} \eta_{\text{П}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ );

$Q_{\text{НАС}}$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – значение вакуума, создаваемого насосом, кН/м<sup>2</sup> ( $H = 47 \dots 53$  кН/м<sup>2</sup>);

$\eta_{\text{НАС}}$  – к.п.д. ротационного вакуум-насоса ( $\eta_{\text{НАС}} = 0,20 \dots 0,25$ );

$\eta_{\text{П}}$  – к.п.д. передачи.

Необходимая подача вакуум-насоса, м<sup>3</sup>/ч

$$Q_{\text{НАС}} = k q n_{\text{А}},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий неполную герметизацию системы ( $k = 2 \dots 3$ );

$q$  – расход воздуха одним доильным аппаратом при 60 пульсациях в минуту,  $\text{м}^3/\text{ч}$  ( $q = 1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

$n_A$  – число доильных аппаратов в установке.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**41. Молочный сепаратор (молокоочиститель).** Для сепараторов с подачей 100...1000 л/ч мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = k_3 k (M_0 + b \omega^2) \omega \cdot 10^{-3},$$

где  $k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ );

$k$  – коэффициент, учитывающий мощность для сообщения кинетической энергии поступающей в барабан жидкости, преодоления гидродинамических потерь и потерь трения в подшипниках ( $k = 1,2 \dots 2,0$ );

$M_0$  – начальный момент на валу привода, Н·м ( $M_0 = 0,2$  Н·м);

$b$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от качества обработки элементов кинематической схемы привода, массы барабана, степени шероховатости рабочих поверхностей, Н·м·с<sup>2</sup> ( $b = 1,58 \cdot 10^{-6}$  Н·м·с<sup>2</sup> для сепаратора с подачей 50...1000 л/ч);

$\omega$  – угловая скорость барабана, с<sup>-1</sup> ( $\omega = 650, 720, 810$  с<sup>-1</sup>).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**42. Маслоизготовитель бочечный.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{уд}} V D n}{\eta_n} \cdot 10^{-3},$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельная мощность, Вт·мин/м<sup>4</sup> ( $P_{\text{уд}} = 0,08 \dots 0,15$  Вт·мин/м<sup>4</sup> при общей вместимости бочки 100...1000 л);

$V$  – общая вместимость бочки, м<sup>3</sup>;

$D$  – диаметр бочки, м ( $D = 0,8 \dots 1,2$  м);

$n$  – частота вращения бочки при сбивании ( $n = 23 \dots 45$  об/мин);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**43. Молочный насос.** Для перемещения молока по трубопроводам и продвижения его в технологической аппаратуре чаще всего используют насосы центробежного, ротационного или диафрагменного типов.

Мощность электродвигателя при его непосредственном соединении с насосом, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{QH\gamma}{367,2\eta_{\text{нас}}},$$

где  $Q$  – подача насоса,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$H$  – необходимый напор или высота подъема жидкости, м (для центробежного и ротационного  $H = 3 \dots 20$  м; диафрагменного  $H = 2 \dots 5$  м);

$\gamma$  – объемная масса молока,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ( $\gamma = 1030 \text{ кг}/\text{м}^3$ );

$\eta_{\text{нас}}$  – к.п.д. насоса (для центробежного к.п.д. =  $0,1 \dots 0,3$ ; ротационного к.п.д. =  $0,8 \dots 0,9$ , диафрагменного к.п.д. =  $0,5 \dots 0,6$ ).

Зная подачу и высоту подъема жидкости, выбираем насос подходящих параметров с учетом возможной частоты вращения приводного электродвигателя [15].

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**44. Вентилятор сельскохозяйственной установки** применяется в системах микроклимата животноводческих и птицеводческих помещений, хранилищ сельскохозяйственных продуктов, а также при сушке зерна и сена. Мощность электродвигателя для привода вентилятора, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{kLN}{\eta_{\text{вен}} \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k$  – коэффициент запаса ( $k = 1,05 \dots 1,15$ );

$L$  – подача вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$N$  – полный напор вентилятора, выбираемый из условия подачи воздуха к самой удаленной точке воздухопровода, Па ( $N = 400 \dots 500$  Па);

$\eta_{\text{вен}}$  – к.п.д. вентилятора (для вентиляторов с большой подачей  $\eta_{\text{вен}} = 0,4 \dots 0,6$ , с малой подачей  $\eta_{\text{вен}} = 0,1 \dots 0,2$ );

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи (для клиноремной  $\eta_{\text{п}} = 0,90 \dots 0,95$ ; при непосредственном соединении  $\eta_{\text{п}} = 1,0$ ).

Требуемую подачу воздуха системой вентиляции в животноводческом помещении определяют по выделению углекислого газа, водяных паров и по избытку тепла в помещении. Расход воздуха на удаление аммиака обычно не определяют, так как вентиляционная норма по углекислому газу обычно обеспечивает удаление аммиака.

Расход воздуха на удаление избыточного количества углекислого газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L_{\text{CO}_2} = \frac{1,2nK_{\text{CO}_2}}{C_B - C_H},$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий выделение углекислого газа микроорганизмами и разлагающейся подстилкой;

n – поголовье животных в помещении;

$K_{\text{CO}_2}$  – выделяемое одним животным количество углекислого газа, л/ч (100...150 л/ч для коров массой 300...400 кг);

$C_B$  – допустимое содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе внутри помещения, л/м<sup>3</sup> ( $C_B = 2,5$  л/м<sup>3</sup>);

$C_H$  – содержание  $\text{CO}_2$  в наружном воздухе, л/м<sup>3</sup> (в сельской местности  $C_B = 0,3...0,5$  л/м<sup>3</sup>).

Расход воздуха на удаление избыточной влаги, м<sup>3</sup>/ч

$$L_{\text{вл}} = \frac{W}{d'_B - d'_H},$$

где  $W = W_1 + W_2$  – выделение влаги внутри помещения, г/ч;

$W_1$  – выделение влаги животными при дыхании и через кожу, г/ч (у коровы  $W_1 = 250...350$  г/ч);

$W_2 = 0,14 W_1$  – испарение влаги с пола и кормушек, г/ч;

$d'_B$  – содержание влаги внутри помещения, г/м<sup>3</sup> ( $d'_B = 6,68$  г/м<sup>3</sup> при температуре  $\Theta_B = +8$  °С и относительной влажности  $\Phi_B = 80\%$ );

$d'_H$  – содержание влаги в наружном воздухе, г/м<sup>3</sup> ( $d'_H = 1,05$  г/м<sup>3</sup> при температуре  $\Theta_H = -20$  °С и относительной влажности  $\Phi_H = 90\%$ ).

Расход воздуха на удаление избыточного тепла, м<sup>3</sup>/ч

$$L_T = \frac{q_K(1 + \alpha\Theta_B)}{C_B(\Theta_B - \Theta_H)},$$

где  $q_K$  – излишнее тепло, выделяемое животными, кДж/ч

( $q_K = 2696$  кДж/ч при массе коровы 300 кг и суточном удое до

10 л,  $q_K = 4916$  кДж/ч при массе 400 кг и удое до 30 л,

$q_K = 7862$  кДж/ч при массе 400 кг и удое до 50 л);

$\alpha = 1 / 273$  – температурный коэффициент;

$C = 1,251...1,262$  кДж/(м<sup>3</sup>·°С) – теплоемкость воздуха.

Из рассчитанных значений расхода воздуха  $L_{\text{CO}_2}$ ,  $L_{\text{вл}}$  и  $L_T$  выбирают наибольший и по нему определяют подачу  $L$  вентиляционной установки.

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**45. Скреперная навозоуборочная установка.** Используется при беспривязно-боксовом содержании КРС. Ветви установки поочередно совершают рабочий и холостой ход, перемежая накопившийся навоз по продольному каналу навозоудаления к поперечному транспортеру.

Потребная мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{F \vartheta_{\text{ср}}}{\eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – усилие для перемещения скреперов в канале, Н;

$\vartheta_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения скреперов, м/с ( $\vartheta_{\text{ср}} = 0,2 \dots 0,4$  м/с);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи ( $\eta_{\text{п}} = 0,85 \dots 0,90$ ).

Усилие, необходимое для перемещения транспортера со скреперами в канале, Н,

$$F = F_{\text{р}} + F_{\text{х}} + F_{\text{и}} + F_{\text{н}},$$

где  $F_1$  – сопротивление движению рабочей ветви, Н;

$F_2$  – сопротивление перемещению холостой ветви, Н;

$F_3$  – усилие на преодоление инерции при реверсировании, Н;

$F_4$  – сопротивление от натяжения набегавшей ветви каната, Н.

Сопротивление движению рабочей ветви, Н

$$F_{\text{р}} = 9,81 [(n_{\text{с}} G_{\text{с}} + G_{\text{н}}) f_{\text{пр}} + q L_{\text{р}} f_{\text{н}}],$$

где  $n_{\text{с}}$  – количество скреперов на одной ветви (в зависимости от обслуживаемого поголовья  $n_{\text{с}} = 1 \dots 4$ );

$G_{\text{с}}$  – масса одного скрепера, кг ( $G_{\text{с}} = 30 \dots 60$  кг);

$G_{\text{н}}$  – масса навоза, накапливаемого в канале к моменту уборки, кг;

$f_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения ( $f_{\text{пр}} = 1,8 \dots 2,0$ );

$q$  – масса погонного метра длины каната, кг ( $q = 0,4 \dots 0,5$  кг);

$L_{\text{р}}$  – рабочий путь скрепера, м ( $L_{\text{р}} = 40 \dots 50$  м);

$f_{\text{н}}$  – коэффициент трения каната по навозу ( $f_{\text{н}} = 0,5 \dots 0,6$ ).

Масса порции навоза, накапливаемого к моменту уборки, кг,

$$G_{\text{н}} = \frac{m q_{\text{сут}}}{2 k_{\text{у}}},$$

где  $m$  – обслуживаемое поголовье, гол.;

$q_{\text{сут}}$  – суточный выход навоза от одной коровы, кг ( $q_{\text{сут}} = 45$  кг);

$k_{\text{у}}$  – кратность уборки в сутки ( $k_{\text{у}} = 6$ ).

Сопrotивление перемещению холостой ветви, Н

$$F_X = 9,81 (n_C G_C f_{np} + q n_C L_P f_H).$$

Сопrotивление на преодоление инерции при реверсировании, Н

$$F_H = (2 n_C G_C + q L_P) \vartheta_{CP} / t,$$

где  $\vartheta_{CP}$  – средняя скорость скреперов, м/с ( $\vartheta_{CP} = 0,25$  м/с);

$t$  – время разгона, с ( $t = 10$  с);

$\varphi$  – коэффициент заполнения канала ( $\varphi = 0,3$ ).

Сопrotивление от натяжения набегающей ветви каната, Н

$$F_H = \frac{F_P + F_X + F_H}{e^{\mu\alpha} - 1},$$

где  $\mu$  – коэффициент трения каната о ролик ( $\mu = 0,1 \dots 0,2$ );

$\alpha$  – угол охвата ролика канатом, рад. ( $\alpha = 2,1 \dots 3,1$  рад.).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**46. Многоскреперная установка для транспортировки навоза** используется в поперечных каналах для подачи навозной массы в навозосборник. Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{F \vartheta_{CP}}{\eta_n} \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – усилие для перемещения скреперного транспортера, Н;

$\vartheta_{CP}$  – средняя скорость движения скреперов, м/с ( $\vartheta_{CP} = 0,2 \dots 0,4$  м/с);

$\eta_n$  – к.п.д. передачи ( $\eta_n = 0,85 \dots 0,90$ ).

Усилие, необходимое для перемещения каната со скреперами в канале, Н,

$$F = F_T + F_H + F_X,$$

где  $F_T$  – усилие, возникающее между транспортером со скреперами и транспортируемой массой, Н;

$F_H$  – сопротивление, обусловленное перемещением навоза по каналу, Н;

$F_X$  – сопротивление транспортера на холостом ходу, Н;

$$F = 9,81(1+k)fVH\rho t\varphi + F_3 \frac{L}{t} k_F + F_X L,$$

$k$  – коэффициент бокового давления, зависящий от размеров канала и типа подстилки ( $k = 0,5 \dots 0,6$ );

$f$  – коэффициент трения навоза по дну канала (по стали  $f = 0,7 \dots 1,1$ ; по бетону и древесине  $f = 0,7 \dots 1,2$ );

$B$  – ширина канала, м ( $B = 0,8$  м);

$H$  – глубина канала, м ( $H = 0,0,8$  м);

$\rho$  – объемная масса навоза,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ );

$t$  – шаг скреперов, м ( $t = 1,2 \dots 3,3$  м);

$\varphi$  – коэффициент заполнения канала ( $\varphi = 0,3$ );

$F_3$  – усилие, возникающее при заклинивании навоза между скребком и боковой стенкой канала, Н (для навоза без подстилки  $F_3 = 3,5$  Н; при использовании торфяной подстилки  $F_3 = 3$  Н; соломенной подстилки  $F_3 = 1,5$  Н);

$L$  – длина транспортера, м;

$k_f$  – коэффициент увеличения сопротивления при образовании тела волочения ( $k_f = 1,0 \dots 1,2$ );

$F_x$  – усилие на холостом ходу транспортера ( $F_x = 2,5$  Н/м).

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**47. Цепочно-скребковый навозоуборочный транспортер.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{F \vartheta}{\eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – полное усилие на цепочно-скребковом транспортере, Н;

$\vartheta$  – скорость цепи, м/с ( $\vartheta = 0,15 \dots 0,20$  м/с);

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи ( $\eta_{\text{п}} = 0,75 \dots 0,85$ ).

Полное сопротивление движению, Н

$$F = 9,81 \frac{k q_{\text{сут}} m}{K_{\text{в}}} f_1 + L \left( \frac{F_c}{t_c} + 9,81 m_{\text{тр}} f_2 \right),$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий неравномерность накопления навоза в интервалах между уборками и добавочные усилия, связанные с перемещением навоза по каналу ( $k = 3 \dots 5$ );

$q_{\text{сут}}$  – суточный выход навоза от одного животного, кг/сут (для молочной коровы с учетом добавления подстилки  $q_{\text{сут}} = 50$  кг/сут);

$m$  – число животных, обслуживаемых одним транспортером;

$K_{\text{в}}$  – число включений транспортера в течение суток ( $K_{\text{в}} = 4 \dots 6$ );

$f_1$  – коэффициент трения навоза о желоб ( $f_1 = 0,7 \dots 1,2$ );

$L$  – длина цепи, м:

$$L = b_{CT} m + 15,$$

$b_{CT}$  – ширина стойла, м ( $b_{CT} = 0,9 \dots 1,2$  м);

$F_C$  – усилие, приходящееся на один скребок, Н ( $F_C = 15 \dots 30$  Н);

$t_C$  – шаг скребков, м ( $t_C = 0,6 \dots 1,0$  м);

$m_{TP}$  – погонная масса транспортера, кг/м ( $m_{TP} = 3 \dots 5$  кг/м);

$f_2$  – опытный коэффициент ( $f_2 = 0,4 \dots 0,5$ ).

Расчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**48. Пилорама.** Мощность электродвигателя, кВт

$$P_{дв} = \frac{k_n F \vartheta}{\eta_{CT} \eta_n} \cdot 10^{-4},$$

где  $k_n$  – поправочный коэффициент, учитывающий степень затупления пилы ( $k_n = 1,14 \dots 1,50$ );

$F$  – усилие резания, Н;

$\vartheta$  – средняя скорость пилы, м/с;

$\eta_{CT}$  – к.п.д. станка ( $\eta_{CT} = 0,8$ );

$\eta_n$  – к.п.д. передачи.

Усилие резания, Н

$$F = k b \cdot \Sigma h \frac{\Delta}{2H},$$

где  $k$  – удельное сопротивление резанию, зависящее от породы дерева, МПа (для сосны  $k = 100$ , для ели  $k = 120$ , для березы  $k = 130$ , для дуба  $k = 150$ , для ясеня  $k = 200$ );

$b$  – толщина пилы, равная ширине пропила, мм ( $b = 2 \dots 4$  мм);

$\Delta$  – подача, мм ( $\Delta = 3 \dots 8$  мм);

$H$  – ход пильной рамки, мм ( $H = 400 \dots 500$  мм);

$\Sigma h$  – суммарная высота пропила, мм:

$$\Sigma h = 0,75 z d;$$

0,75 – коэффициент использования формы бревна;

$z$  – число лезв в пилорамае, шт.;

$d$  – диаметр среднего сечения бревна, мм ( $d = 450$  мм).

Средняя скорость пилы, м/с

$$\vartheta = 2 H n / 60,$$

где  $n$  – частота вращения кривошипа, об/мин ( $n = 250$  об/мин).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

**49. Строгальный станок для древесины.** Мощность электродвигателя для ножевого вала строгальных станков с ножевыми головными фрезами, кВт

$$P_{\text{дв}} = \frac{F \vartheta}{\eta_{\text{ст}} \eta_{\text{п}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $F$  – среднее касательное усилие резания на резце, Н;

$\vartheta$  – скорость резания, м/с ( $\vartheta = 10 \dots 20$  м/с);

$\eta_{\text{ст}}$  – к.п.д. станка ( $\eta_{\text{ст}} = 0,8$ );

$\eta_{\text{п}}$  – к.п.д. передачи.

Среднее касательное усилие резания на резце, Н

$$F = k b h u / \vartheta,$$

где  $k$  – удельное сопротивление резанию, зависящее от породы древесины и скорости подачи, МПа ( $k = 10 \dots 46$  МПа);

$b$  – ширина снимаемого слоя древесины, мм ( $b = 300 \dots 600$  мм);

$h$  – толщина снимаемого слоя, мм ( $h = 1,5 \dots 2$  мм);

$u$  – скорость подачи, м/с:

$$u = \frac{u_z n z}{60} \cdot 10^{-3},$$

где  $u_z$  – подача на один нож, мм ( $u_z = 0,3 \dots 3,0$  мм);

$n$  – частота вращения ножевой головки-фрезы, об/мин ( $n = 1300$ ; 3350; 3600 об/мин);

$z$  – число ножей ( $z = 1; 2; 4$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 3000$  об/мин.

**50. Кран-балка.** Мощность электродвигателя для привода механизма подъема, кВт

$$P_{\text{под}} = \frac{9,81(G + G_n) \vartheta_{\text{под}}}{\eta_{\text{под}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $G$  – масса поднимаемого груза (грузоподъемность), кг;

$G_n$  – масса грузозахватного устройства (подвески), кг ( $G_0 = 25$  кг);

$\vartheta_{\text{под}}$  – скорость подъема груза, м/с ( $\vartheta_{\text{под}} = 0,08 \dots 0,80$  м/с);

$\eta_{\text{под}}$  – к.п.д. механизма подъема ( $\eta_{\text{под}} = 0,7 \dots 0,9$ ).

Мощность электродвигателя механизма горизонтального перемещения кран-балки с грузом, кВт

$$P_{\text{шгР}} = 9,81 \frac{k(G + G_{\text{п}} + G_{\text{Г}})(f_1 r + f_2 R) \vartheta_{\text{пер}}}{R \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий трение реборд колеса о рельсы ( $k = 1,3$ );

$G_{\text{Г}}$  – масса механизма передвижения (тележки), кг ( $G_{\text{Г}} = 600 \dots 1200$  кг);

$f_1$  – коэффициент трения скольжения шейки оси колеса в подшипнике ( $f_1 = 0,01$ );

$r$  – радиус шейки оси колеса, м ( $r = 0,025$  м);

$f_2$  – коэффициент трения качения колеса кран-балки ( $f_2 = 0,03$ );

$R$  – радиус колеса кран-балки, м ( $R = 0,1$  м);

$\vartheta_{\text{пер}}$  – скорость перемещения тележки с грузом, м/с ( $\vartheta_{\text{пер}} = 0,32 \dots 0,42$  м/с);

$\eta_{\text{пер}}$  – к.п.д. механизма передвижения ( $\eta_{\text{пер}} = 0,7 \dots 0,9$ ).

Рассчитанное значение мощности необходимо округлить до стандартного и выбрать по каталогу электродвигатель при  $n_0 = 1500$  об/мин.

## Задача 2

Для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя переменного тока номинальной мощностью  $P_{\text{н}}$ , выбранного в решении задачи 1, определить: номинальный вращающий момент  $M_{\text{ндв}}$ , Н·м; пусковой момент  $M_{\text{п}}$ , Н·м; максимальный (критический) момент  $M_{\text{кр}}$ , Н·м; номинальный ток  $I_{\text{н}}$ , А; пусковой ток  $I_{\text{п}}$ , А; скольжение при номинальной нагрузке  $s_{\text{н}}$ , %; потребляемую из сети мощность  $P_{\text{лн}}$  при номинальной нагрузке, кВт.

Рассчитать и построить механическую характеристику электродвигателя  $M_{\text{дв}} = f_1(\omega)$ . Рассчитать и построить на том же графике механическую характеристику рабочей машины (вентилятора), приведенную к угловой скорости вращения вала электродвигателя  $M_{\text{с.пр}} = f_2(\omega)$ . По построенному графику определить угловую скорость и момент вращения электродвигателя при установившемся режиме работы системы «электродвигатель – рабочая машина».

*Методические рекомендации по решению задачи 2.* Номинальный вращающий момент электродвигателя, Н·м

$$M_{н.дв} = 9550 \frac{P_{н}}{n_{н.дв}} = \frac{1000 P_{н}}{\omega_{н.дв}},$$

где  $P_{н}$  – номинальная мощность на валу электродвигателя, кВт;

$n_{н.дв}$  – номинальная частота вращения ротора электродвигателя, об/мин;

$\omega_{н.дв}$  – угловая скорость ротора, с<sup>-1</sup>.

Пусковой момент электродвигателя, Н·м

$$M_{п} = \mu_0 \cdot M_{н.дв},$$

где  $\mu_0$  – кратность пускового момента.

Максимальный (критический) момент электродвигателя, Н·м

$$M_{кр} = \mu_k \cdot M_{н.дв},$$

где  $\mu_k$  – перегрузочная способность.

Номинальный ток электродвигателя, А

$$I_{н} = \frac{1000 P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \eta_{н} \cdot \cos \varphi_{н}},$$

где  $U_{л} = U_{н}$  – линейное напряжение сети, В;

$\eta_{н}$  – номинальный к.п.д. электродвигателя;

$\cos \varphi_{н}$  – номинальный коэффициент мощности электродвигателя.

Номинальное скольжение электродвигателя

$$s_{н} = \frac{n_0 - n_{н.дв}}{n_0},$$

где  $n_0$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора, об/мин:

$$n_0 = 60 f / p,$$

$f$  – частота тока питающей сети, Гц;

$p$  – число пар полюсов статора.

Мощность, потребляемая двигателем из сети при номинальной нагрузке, кВт.

$$P_1 = P_{н} / \eta_{н}.$$

Так как частота вращения электродвигателя и скольжение связаны выражением  $n = n_0 (1 - s)$ , то данные (табл. 7) для построения механи-

ческой характеристики электродвигателя  $M_{дв} = f(s)$  или  $M_{дв} = f(n)$  можно получить по различным формулам. При выполнении задачи рекомендуется воспользоваться упрощенным выражением для двигательного режима (Н·м):

$$M_{дв} = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}$$

где  $s_{кр} = s_H (\mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1})$  – критическое скольжение;

$s = 0$ ;  $s_H$ ; 0,1; 0,2;  $s_{кр}$ ; 0,3; 0,5; 0,7; 1 – текущее значение скольжения.

Т а б л и ц а 7. Результаты расчета момента двигателя и приведенного момента сопротивления рабочей машины (вентилятора)

s	0	$s_H$	0,1	0,2	$s_{кр}$	0,3	0,5	0,7	1
$\omega, c^{-1}$									
$M_{дв}, Н \cdot м$									
$M_{с.пр.}, Н \cdot м$									

При решении задачи следует иметь в виду неточность расчетных значений вращающего момента при скольжении, большем критического. Поэтому при графическом построении механической характеристики электродвигателя необходимо внести поправки, считая истинными значения, приведенные в каталогах. Это в первую очередь относится к пусковому моменту.

Закон изменения момента сопротивления рабочей машины для построения механической характеристики необходимо принять по зависимости (Н·м)

$$M_c = M_0 + (M_{с.н} - M_0) \left( \frac{n_M}{n_{н.м}} \right)^\alpha,$$

где  $M_0$  – начальный момент сопротивления, Н·м ( $M_0 = 0,2 M_{с.н}$ );

$M_{с.н}$  – номинальный момент сопротивления рабочей машины, Н·м;

$n_M$  – текущая частота вращения, об/мин;

$n_{н.м}$  – номинальная частота вращения, при которой момент сопротивления рабочей машины равен номинальному, об/мин;

$\alpha$  – показатель степени механической характеристики рабочей машины (для вентилятора  $\alpha = 2$ ).

По условию задачи необходимо совместить в одних координатных осях механические характеристики электродвигателя и рабочей машины. Так как номинальные частоты вращения вала электродвигателя и рабочей машины не совпадают, то необходимо привести моменты сопротивления рабочей машины  $M_0$  и  $M_{с.н}$  к валу электродвигателя с учетом устанавливаемой передачи:

$$M_{0,пр} = \frac{M_0}{i \cdot \eta_{пер}}; \quad M_{с.н,пр} = \frac{M_{с.н}}{i \cdot \eta_{пер}},$$

где  $i = n_{н.дв} / n_{н.м}$  – передаточное число передачи.

Учитывая передаточное число  $i$ , справедливо соотношение

$$n_{м} / n_{н.м} = n_{дв} / n_{н.дв}.$$

Текущая частота вращения электродвигателя  $n$  (об/мин) может быть выражена через синхронную частоту вращения магнитного поля и скольжение двигателя:

$$n = n_0 (1 - s).$$

Следовательно, уравнение, определяющее приведенный момент сопротивления рабочей машины или механизма, запишется в виде

$$M_{с.пр} = M_{0,пр} + (M_{с.н,пр} - M_{0,пр}) \left[ \frac{n_0}{n_{н.дв}} (1 - s) \right]^{\alpha}.$$

Результаты расчетов по определению  $M_{с.пр}$  следует также занести в таблицу.

Вместо частоты вращения в расчетах может быть использована угловая скорость вала двигателя  $\omega$ ,  $c^{-1}$ :

$$\omega = \pi n / 30.$$

Механические характеристики электродвигателя и рабочей машины строятся в следующих координатных осях: скольжение или частота вращения – по оси абсцисс (аргумент), момент – по оси ординат (функция). Значение вращающего момента при установившемся режиме работы системы «электродвигатель – рабочая машина» определяется ординатой точки пересечения механических характеристик электродвигателя и рабочей машины.

### Задача 3

Определить постоянную времени нагрева  $T_{\text{НАГР}}$ , постоянную времени охлаждения  $T_{\text{ОХЛ}}$  и установившееся превышение температуры электродвигателя  $\tau_{\text{УСТ}}$  над окружающей средой при номинальной длительной нагрузке и при его охлаждении. Построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя по шести точкам. Определить графически постоянную времени нагрева и охлаждения. Выбрать класс изоляции обмоток электродвигателя.

Исходные данные для решения задачи 3 приведены в табл. 3.

*Методические рекомендации по решению задачи 3.* Постоянные времени нагрева  $T_{\text{НАГР}}$  и времени охлаждения  $T_{\text{ОХЛ}}$  определяются соответственно ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$\begin{aligned}T_{\text{НАГР}} &= C / A_{\text{НАГР}}; \\T_{\text{ОХЛ}} &= C / A_{\text{ОХЛ}},\end{aligned}$$

где  $C$  – теплоемкость электродвигателя, Дж/ $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_{\text{НАГР}}$  и  $A_{\text{ОХЛ}}$  – соответственно теплоотдача электродвигателя при нагреве (работе) и при охлаждении (в отключенном состоянии), Дж/(с $\cdot^{\circ}\text{C}$ ).

Потери мощности в электродвигателе, работающем при номинальной нагрузке, определяются как разность между мощностью, потребляемой двигателем из сети ( $P_1 = P_H / \eta_H$ ), и мощностью, развиваемой им на валу (полезной,  $P_2 = P_H$ ). Эти потери преобразуются в тепло, повышая температуру электродвигателя. Потери тепла, Дж/с

$$Q = k \cdot \Delta P_H = k \left( \frac{P_H}{\eta_H} - P_H \right) = k \cdot P_H \left( \frac{1}{\eta_H} - 1 \right),$$

где  $k = 1$  – коэффициент пропорциональности;

$\Delta P_H$  – номинальные потери мощности, Вт.

Установившееся превышение температуры электродвигателя  $\tau_{\text{УСТ}}$  над окружающей средой при номинальной длительной нагрузке,  $^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{\text{УСТ}} = Q / A_{\text{НАГР}}.$$

Графики нагрева  $\tau_{\text{НАГР}} = \tau_{\text{УСТ}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{НАГР}}} \right)$  и охлаждения

$\tau_{\text{ОХЛ}} = \tau_{\text{УСТ}} \cdot e^{-t/T_{\text{ОХЛ}}}$  необходимо построить в именованных единицах по шести точкам. При этом текущее значение времени  $t$  удобнее зада-

вать величинами, кратными постоянной времени нагрева  $T_{\text{НАГР}}$  и постоянной времени охлаждения  $T_{\text{ОХЛ}}$  (табл. 8).

Затем необходимо графически определить постоянные времени нагрева и охлаждения. Постоянная времени нагрева графически может быть определена путем проведения касательной в любой точке кривой нагрева до пересечения с асимптотой (прямой, параллельной оси абсцисс), устанавливающей предельное значение кривой нагрева. Отрезок, отсекаемый на асимптоте касательной, проведенной в любой точке кривой нагрева, и перпендикуляром, восстановленным из данной точки к асимптоте, дает величину постоянной времени нагрева  $T_{\text{НАГР}}$  в масштабе, принятом для оси абсцисс. Постоянная времени охлаждения  $T_{\text{ОХЛ}}$  графически определяется аналогично, однако касательная проводится к любой точке кривой охлаждения, а отрезок  $T_{\text{ОХЛ}}$  получается на оси абсцисс.

Таблица 8. Численные значения  $1 - e^{-t/T_{\text{НАГР}}}$  и  $e^{-t/T_{\text{ОХЛ}}}$

$t/T_{\text{НАГР}}$ $t/T_{\text{ОХЛ}}$	0	1	2	3	4	5
$1 - e^{-t/T_{\text{НАГР}}}$	0	0.632	0.865	0.950	0.980	0.993
$e^{-t/T_{\text{ОХЛ}}}$	1	0.368	0.315	0.050	0.020	0.007

Выбор класса изоляции обмоток электродвигателя производится по предельно допустимой температуре его нагрева (табл. 9).

Таблица 9. Предельно допустимая температура нагрева обмоток электродвигателя и класс изоляции

Класс изоляции	Y	A	E	B	F	H	C
Предельно допустимая температура нагрева, °C	90	105	120	130	155	180	>180

#### Задача 4

Для электрического двигателя, принятого в решении задачи 3, выбрать аппараты управления и защиты (автоматический выключатель, магнитный пускатель и тепловое реле), записать их тип, величину (габарит), исполнение, номинальные напряжения и токи.

**Методические рекомендации по решению задачи 4.** Предварительно для электрического двигателя с непосредственным пуском необходимо определить:

номинальный ток электродвигателя, А

$$I_{н.дв} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} U_{н} \cos \varphi_{н} \eta_{н}}$$

где  $P_{н}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{н}$  – номинальное (линейное) напряжение сети ( $U_{н} = U_{л} = 380$  В);

$\cos \varphi_{н}$  – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_{н}$  – номинальный к.п.д.;

пусковой ток электродвигателя, А

$$I_{п.дв} = I_{н.дв} k,$$

где  $k$  – кратность пускового тока.

**Автоматический выключатель** предназначен для нечастых оперативных коммутаций электроустановок и их защиты от коротких замыканий, небольших длительных перегрузок и недопустимого снижения напряжения. Автоматические выключатели выбирают по номинальному напряжению, значению тока, числу полюсов, виду защиты и защищенности от воздействия окружающей среды. Наиболее широко распространены в сельском хозяйстве установочные автоматические выключатели типа ВА, АП50, АЕ2000, АЗ100, А63, АК50 и АЗ700.

Автоматический выключатель с комбинированной защитой (тепловой от перегрузок и электромагнитной от токов коротких замыканий) выбирают исходя из следующих условий:

$$U_{н.ав} \geq U_{н.уст};$$

$$I_{н.т.р} \geq (1,1 \dots 1,3) I_{н.дв};$$

$$I_{н.эл.р} \geq (1,1 \dots 1,6) I_{н.дв},$$

где  $U_{н.ав}$  и  $U_{н.уст}$  – номинальные напряжения автоматического выключателя и электроустановки;

$I_{н.ав}$  и  $I_{н.уст}$  – номинальные токи автоматического выключателя и электроустановки;

$I_{н.т.р}$  и  $I_{н.эл.р}$  – номинальные токи теплового расцепителя и электромагнитного расцепителя максимального тока.

Значение тока уставки автоматического выключателя, от которого напряжение подается на группу двигателей, А.

$$I_{н.эл.р} \geq (1,1 \dots 1,6) [\Sigma I_{н.дв} + (I_{п.дв} - I_{н.дв})],$$

где  $\Sigma I_{н.дв}$  – сумма номинальных токов двигателей;

$I_{п.дв} - I_{н.дв}$  – разность значений пускового и номинального токов у электродвигателя с наибольшими данными значениями.

При решении задачи необходимо выбрать автоматический выключатель типа АЕ2000 и записать для него величины  $U_{н.ав}$ ,  $I_{н.ав}$ ,  $I_{н.уст}$ ,  $I_{н.т.р}$  и  $I_{н.эл.р}$  исходя из приведенных ниже параметров:

– номинальный ток уставки тепловых (термобиметаллических) расцепителей: 0,32; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100 А;

– кратность тока отсечки электромагнитного расцепителя максимального значения по отношению к номинальному: 3; 5; 7; 10; 12.

**Магнитный пускатель** предназначен для дистанционных коммутационных переключений электродвигателей и других электроустановок, от самозапуска при кратковременном снятии напряжения, защиты от снижения или исчезновения напряжения (нулевая защита), а также (при наличии теплового реле) от небольших длительных перегрузок (табл. 10).

Т а б л и ц а 10. Технические данные магнитных пускателей и тепловых реле

Величина пускателя		0	1	2	3	4	5	6	
Серия	ПМЕ	$I_n$ , А	4	10	25	–	–	–	–
		$P_n$ , кВт	1	4	10	–	–	–	–
	ПМЛ	$I_n$ , А	–	10	25	40	63	80	125
		$P_n$ , кВт	–	4	10	17	30	40	55
	ПМС	$I_n$ , А	–	10	25	40	63	100	160
		$P_n$ , кВт	–	4	10	17	30	55	75
Тип реле		ТРН-10А	ТРН-10	ТРН-25	ТРН-40	ТРП-60	ТРП-100	ТРП-150	
Номинальный ток нагревательного элемента, А		0,32	0,5	5,0	12,5	25,0	50,0	100,0	
		0,4	0,63	6,3	16,0	30,0	60,0	120,0	
		0,5	0,8	8,0	20,0	40,0	80,0	150,0	
		0,63	1,0	10,0	25,0	50,0	100,0		
		0,8	1,25	12,5	32,0	60,0			
		1,25	1,6	16,0	40,0				
		1,6	2,0	20,0					
		2,0	2,5	25,0					
		2,5	3,2						
		3,2	4,0						
			5,0						
	6,3								
	8,0								
	10,0								

Магнитные пускатели выбирают по назначению, величине (габариту), по передаваемой мощности, защищенности, наличию тепловых реле, числу и типу блок-контактов, номинальному напряжению втягивающей катушки, а также наличию механической блокировки (у реверсивных пускателей).

При выборе теплового реле (табл. 10) сначала определяют его габарит по величине магнитного пускателя. При этом ток нагревательного элемента  $I_{н.нэ}$  с учетом разброса по току срабатывания не должен превышать номинальный ток электродвигателя более чем на 20...30%, т.е.

$$I_{н.нэ} = (1,2 \dots 1,3) I_{н.дв.}$$

При решении задачи необходимо выбрать магнитный пускатель и теплового реле, записать их тип, величину (габарит), исполнение и номинальные токи.

### Задача 5

Выполнить подробный расчет электрифицированной производственной установки по использованию электрической энергии в заданном технологическом процессе сельскохозяйственного производства.

Наименование электрифицированной производственной установки и исходные данные по вариантам (табл. 11) определяются по первой букве фамилии и последней цифре номера зачетной книжки студента (см. табл. 1). Вариант исходных данных к расчету соответствует предпоследней цифре номера зачетной книжки.

Таблица 11. Исходные данные к задаче 5

Вариант	Наименование электрифицированной производственной установки и расчетный параметр	Значение параметра (по предпоследней цифре зачетной книжки)				
		0...1	2...3	4...5	6...7	8...9
1	2	3	4	5	6	7
1	Электрообогрев пола в свинарнике для проведения опоросов (число поросят в гнезде т)	8	9	10	11	12
2	Электрообогрев пола в свинарнике-маточнике (поголовье свиноматок т)	50	100	200	400	800
3	Электрокалорифер вентиляционной установки (поголовье коров т)	25	50	100	300	400
4	Электрокалорифер-воздухонагреватель (расход воздуха Q, м <sup>3</sup> /с)	0,8	1,6	3,2	5,4	10,8

1	2	3	4	5	6	7
5	Проточный подогреватель питьевой воды (мощность $P$ , кВт)	3	4	6	8	12
6	Трубчатый элементный электронагреватель (производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч)	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
7	Электрический брудер (мощность $P$ , кВт)	2	4	6	8	10
8	Электродный проточный водонагреватель (производительность $Q$ , л/с)	0,02	0,04	0,06	0,1	0,15
9	Электронная водогрейная установка (число пластин $n$ )	2	4	6	8	10
10	Однофазный электродный емкостный водонагреватель (масса воды $m$ , кг)	4	6	8	10	12
11	Трехфазный электродный емкостный водонагреватель (масса воды $m$ , кг)	10	12	14	16	20
12	Индукционный водонагреватель (масса воды $m$ , кг)	4	6	8	10	12
13	Резистивный пленочный водонагреватель (масса воды $m$ , кг)	4	6	8	10	12
14	Обогрев парников неизолированным проводом (число рам в парнике $n_p$ )	20	30	40	60	80
15	Электрообогрев парника изолированным проводом (число рам в парнике $n_p$ )	20	30	40	60	80
16	Керамический нагреватель инфракрасного облучателя (мощность $P$ , Вт)	200	250	300	400	500
17	Установка для инфракрасного обогрева поросят (площадь клетки $F$ , м <sup>2</sup> )	1	1,2	1,5	2,0	2,5
18	Установка для предпосевного прогрева семян ИК излучением (производительность $Q$ , т/ч)	1	2	3	4	5
19	Электроплазмозитатор технологической линии сахарной свеклы (производительность $Q$ , кг/ч)	5000	6000	7000	8000	9000
20	Система освещения телятника с лампами накалывания (размеры помещения $A \times B$ , м)	52×12	52×18	60×12	60×18	72×18
21	Система освещения телятника с люминесцентными лампами (размеры помещения $A \times B$ , м)	52×12	52×18	60×12	60×18	72×18
22	Система освещения производственного помещения (размеры помещения $A \times B$ , м)	6×9	6×12	9×12	12×12	12×21
23	Облучательная установка для коровника (размеры помещения $A \times B$ , м)	60×12	66×18	66×21	72×24	78×27
24	Облучательная установка для растений (размеры облучаемой поверхности $A \times B$ , м)	3×2,5	5×2,5	6×2,5	7×2,5	9×2,5
25	Установка для обеззараживания воды лоткового типа (производительность $Q$ , м <sup>3</sup> /ч)	6	10	12	16	20

**Методические указания к решению задачи 5. 1. Электрообогрев пола в свинарнике для проведения опоросов.** Определить основные параметры электрообогреваемого пола в станках для содержания свиноматок с подсосными поросятами. Ширина обогреваемой полосы  $B = 1,3$  м, напряжение питания  $U = 220$  В, глубина закладки провода ПОСХВ в массиве пола  $h = 0,08$  м. Параметры провода: диаметр  $d_{\text{пр}} = 1,1 \cdot 10^{-3}$  м; наружный диаметр с изоляцией  $D = 2,9 \cdot 10^{-3}$  м; теплопроводность материала изоляции провода  $\lambda_{\text{и}} = 0,17$  Вт/(м · °С), теплопроводность бетона  $\lambda_{\text{б}} = 0,85$  Вт/(м · °С).

**Решение.** В каждом ряду станков устраивают общую обогреваемую полосу шириной  $B$  (рис. 1), на которой чередуются площадки для свиноматок и поросят. Принимаем схему укладки проводов, при которой каждый отрезок провода используется для обогрева всех станков данного ряда. В данном случае обеспечиваются надежность устройства, удобное соединение нагревателей и подключение их к сети. При этом на каждой обогреваемой площадке укладывают нечетное число отрезков провода. Для равномерной нагрузки фаз в каждой обогреваемой полосе размещаем по три отрезка провода.

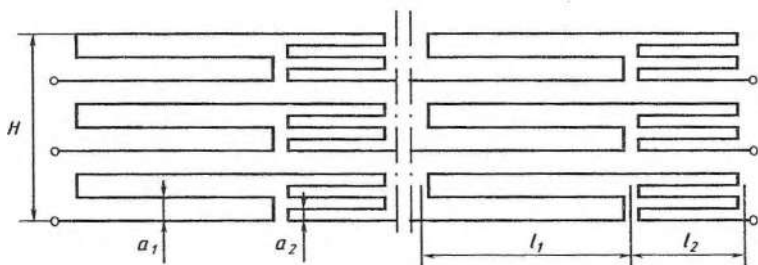


Рис. 1. Расчет электрообогрева пола в свинарнике-маточнике.

Площадь обогрева одной площадки для свиноматки,  $\text{м}^2$

$$F_{\text{с}} = B \cdot L_1,$$

для поросят

$$F_{\text{п}} = B \cdot L_2,$$

где  $B$  — ширина обогреваемой полосы (принимаем  $B = 1,3$  м);

$L_1$  — длина площадки для свиноматки вдоль кормушки (принимаем  $L_1 = 0,9$  м);

$L_2$  – длина площадки для поросят:

$$L_2 = m \cdot l_{\text{ФК}},$$

$m$  – количество поросят в станке, гол.;

$l_{\text{ФК}}$  – фронт кормления поросят,  $l_{\text{ФК}} = 0,15$  м.

Поверхностная плотность теплового потока на площадке для свиноматки,  $\text{Вт}/\text{м}^2$

$$\Phi_{\text{с}} = \frac{\alpha_{\text{п}} (\Theta_{\text{п.с}} - \Theta_{\text{вн}})}{\eta},$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи пола,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , принимаем  $\alpha = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$\Theta_{\text{п.с}}$  – температура пола для свиноматок (принимаем  $\Theta_{\text{п.с}} = 20^\circ\text{C}$ );

$\Theta_{\text{вн}}$  – температура воздуха в свиноматочнике (принимаем  $\Theta_{\text{вн}} = 14^\circ\text{C}$ );

$\eta$  – коэффициент, учитывающий потери теплоты в грунт (при наличии гидро- и теплоизоляции  $\eta = 0,8 \dots 0,85$ ).

Поверхностная плотность теплового потока на площадке для поросят,  $\text{Вт}/\text{м}^2$

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{\alpha (\Theta_{\text{п.п}} - \Theta_{\text{вн}})}{\eta},$$

где  $\Theta_{\text{п.п}}$  – температура пола для поросят,  $\Theta_{\text{п.п}} = 30^\circ\text{C}$ .

Число параллельных отрезков провода на площадках для свиноматок и поросят

$$n_{\text{с}} = B / a_{\text{с}};$$

$$n_{\text{п}} = B / a_{\text{п}},$$

где  $a_{\text{с}}$  и  $a_{\text{п}}$  – шаг укладки провода для площадок под свиноматками и поросятами соответственно (принимаем  $a_{\text{с}} = 0,137$  м и  $a_{\text{п}} = 0,047$  м);

$\Theta_{\text{ж.с}}$  и  $\Theta_{\text{ж.п}}$  – температура  $\Theta_{\text{ж}}$  поверхности провода для площадок под свиноматками и поросятами (принимаем  $\Theta_{\text{ж.с}} = 40^\circ\text{C}$  и  $\Theta_{\text{ж.п}} = 57^\circ\text{C}$ ).

Рассчитанные значения  $n_{\text{п}}$  и  $n_{\text{с}}$  необходимо принять целыми и кратными трем.

Длина провода под одним станком, м

$$l_1 = n_1 (L_1 + a_1) + n_2 (L_2 + a_2).$$

Длина отрезка провода, включаемого на напряжение 220 В (при удельном напряжении на участок провода длиной 1 м  $U_1 = 1,3$  В/м), м,

$$l = 220 / U_1.$$

Общая длина трех отрезков провода для обогрева одного ряда станков, м

$$L = 3 l.$$

Число станков в ряду, обогреваемых тремя отрезками провода,

$$n = L / l_1.$$

По результатам расчета принимаем целое число станков.

Мощность для обогрева одного ряда станков, Вт

$$P = n (\Phi_{rc} \cdot F_c + \Phi_{rn} \cdot F_n).$$

Мощность отрезка провода, включаемого на напряжение 220 В, Вт,

$$P_1 = P / 3.$$

Тепловой поток провода длиной 1 м, Вт/м

$$P_{\text{пог}} = P_1 / l.$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы электрообогрева.

**2. Электрообогрев пола в свиарнике-маточнике.** Определить основные параметры электрообогреваемого пола в свиарнике-маточнике при использовании обогревательного провода ПОСХП с удельной нагрузкой  $\Delta P = 10$  Вт/м. Температура пола  $\Theta_n = 24^\circ\text{C}$ , размер обогреваемой площадки на один станок равен  $1,2 \text{ м}^2$ . Температура воздуха в помещении  $\Theta = 14^\circ\text{C}$ , питание нагревательных элементов от сети составляет 220/380 В.

**Решение.** Мощность 1  $\text{м}^2$  обогреваемого пола, Вт

$$P_0 = \alpha (\Theta_n - \Theta_B) / \eta,$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от пола к воздуху, Вт/( $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

$\eta = 0,75 \dots 0,85$  – коэффициент полезного действия обогреваемой полосы.

Общий размер обогреваемой площади,  $\text{м}^2$

$$S = Z / \Delta Z,$$

где  $Z$  – общее поголовье животных, гол.;

$\Delta Z$  – плотность посадки, гол/м<sup>2</sup>.

Общая расчетная мощность электрообогреваемого пола, кВт

$$P = P_0 S \cdot 10^{-3}.$$

Мощность одной секции, кВт

$$P_{\Phi} = \frac{P}{3n}.$$

где  $n$  – число секций на каждую фазу ( $n = 1$ ).

Длина провода на одну фазу, м

$$l_{\Phi} = \frac{P_{\Phi}}{\Delta P} \cdot 10^3.$$

Шаг укладки провода в пол, м

$$a = S / l_{\Phi}.$$

Значение  $a$  необходимо округлить вверх до ближайшего целого числа.

Количество параллельных ветвей в фазе при их соединении по схеме "звезда"

$$m = \frac{P_{\Phi}}{U_{\Phi}} \sqrt{\frac{r}{\Delta P}},$$

где  $U_{\Phi}$  – фазное напряжение, В ( $U_{\Phi} = 220$  В);

$r$  – сопротивление одного погонного метра провода, Ом/м  
( $r = 0.194$  Ом/м).

**3. Электрокалорифер вентиляционной установки.** Определить потребную мощность, основные электрические и конструктивные параметры электрокалорифера для нагрева воздуха в системе приточной вентиляции коровника с заданным поголовьем  $m$ . Напряжение питания  $U = 220/380$  В.

**Решение.** Потребное количество тепла  $Q_k$  (кДж/ч) находим из уравнения теплового баланса помещения:

$$Q_k = Q_b + Q_v - Q_{\pi},$$

где  $Q_b$  – тепло, теряемое через ограждения, кДж/ч;

$Q_v$  – тепло, уносимое с вентилируемым воздухом, кДж/ч;

$Q_{\pi}$  – тепло, выделяемое в помещении животными, кДж/ч.

Количество тепла, отдаваемое зданием коровника в окружающую среду, кДж/ч.

$$Q_0 = k_{от} V (\Theta_{вн} - \Theta_{нар}),$$

где  $k_{от}$  – отопительная характеристика здания, кДж/(м<sup>2</sup>·°С),

$$k_{от} = 1,25 \dots 2,93 \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{°С)};$$

$V$  – объем здания по наружным обмерам, м<sup>3</sup>;

$\Theta_{вн}$  – температура воздуха внутри помещения, °С (согласно нормам зоогигиены  $\Theta_{вн} = 8 \dots 10$  °С);

$\Theta_{нар}$  – температура воздуха снаружи помещения, °С (принимаем  $\Theta_{нар} = 20$  °С).

Количество тепла, уносимое с вентилируемым воздухом при 4-кратном часовом воздухообмене, кДж/ч,

$$Q_в = 4 C \gamma V (\Theta_{вн} - \Theta_{нар}),$$

где  $C$  – удельная теплоемкость воздуха ( $C = 1,004$  кДж/(кг·°С);

$\gamma$  – плотность воздуха (при  $8 \dots 10$  °С  $\gamma = 1,247 \dots 1,257$  кг/м<sup>3</sup>).

Количество тепла, выделяемое в помещении животными, кДж/ч,

$$Q_п = q_к m,$$

где  $q_к$  – количество тепла, выделяемого животными, кДж/ч

( $q_к = 2696$  кДж/ч при массе коровы 300 кг и суточном удое до

10 л,  $q_к = 4916$  кДж/ч при массе 400 кг и удое до 30 л,

$q_к = 7862$  кДж/ч при массе 400 кг и удое до 50 л);

$m$  – количество голов скота.

Потребная мощность caloriferной установки, кВт

$$P_к = \frac{Q_к}{205,4 \eta_к},$$

где  $Q_к$  – потребная теплопроизводительность, кДж/ч;

$\eta_к$  – коэффициент полезного действия calorифера ( $\eta_к = 0,84 \dots 0,90$ ).

При трехфазном питании нагревательной установки принимаем число параллельных секций  $n_с = 2$  по три нагревательных элемента в каждой. Ток одного нагревательного элемента, А

$$I_э = \frac{P_к \cdot 10^3}{3 n_с U_ф},$$

где  $U_ф$  – фазное напряжение сети, В ( $U_ф = 220$  В).

Принимаем диаметр нихромовой проводки в интервале  $d_{пр} = 1 \dots 3$  мм и по кривым зависимости ее сечения  $S$  от силы тока при различных температурах нагрева (рис. 2) находим величину установившейся температуры  $\tau_{уст}$ .

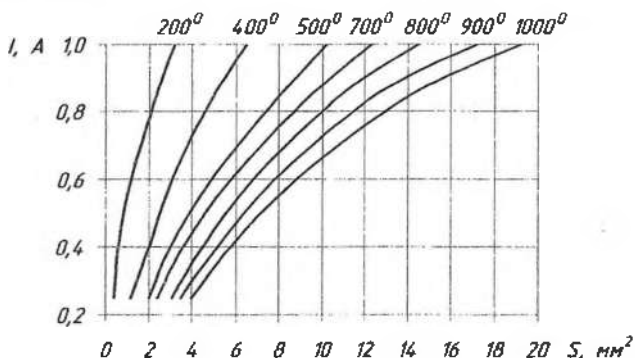


Рис. 2. Зависимость сечения нихромовой проволоки от силы тока при различных температурах нагрева (проволока расположена горизонтально в спокойном воздухе).

Расчетная (рабочая) температура нагревательной проволоки,  $^{\circ}\text{C}$

$$\tau_{расч} = \tau_{уст} k_M k_C,$$

где  $k_M$  – коэффициент монтажа (для спирали, навитой на керамику,  $k_M = 0,85$ );

$k_C$  – коэффициент среды (для спирали, обдуваемой воздушным потоком,  $k_C = 1,4$ ).

Удельное электрическое сопротивление нихромовой проволоки при температуре  $\tau_{расч}$ ,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$

$$\rho_t = \rho_{20^{\circ}\text{C}} (1 + \alpha \cdot \tau_{расч}),$$

где  $\rho_{20^{\circ}\text{C}}$  – удельное электрическое сопротивление нихромовой проволоки при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$  ( $\rho_{20^{\circ}\text{C}} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ );

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления при  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$  ( $\alpha = 0,000165 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Длина нагревательного провода для одного элемента, м

$$l_3 = \frac{U_{\phi} S}{I_3 \rho_r},$$

где  $S$  – сечение нихромовой проволоки, мм:

$$S = \pi D_{\text{пр}}^2 / 4.$$

Длина провода для всей нагревательной установки, м

$$l = 3 \pi l_3.$$

Шаг спирали, мм

$$h_c = (2 \dots 4) d_{\text{пр}}.$$

Средний диаметр витка спирали, мм

$$D_c = (5 \dots 8) d_{\text{пр}}.$$

Число витков спирали, шт.

$$n = \frac{1000 \cdot l}{\sqrt{h_c^2 + (\pi D_c)^2}}.$$

Длина спирали, м

$$L_c = \frac{h_c n}{1000}.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному калориферу.

**4. Электрокалорифер-воздухонагреватель.** Определить мощность и основные параметры спиральных нагревательных элементов электрокалорифера из нихромовой проволоки при заданном расходе приточного воздуха  $Q$ . Температура воздуха на выходе из калорифера  $\Theta_{\text{вых}} = 30^\circ\text{C}$ , наружная температура воздуха  $\Theta_{\text{нар}} = -10^\circ\text{C}$ , средняя плотность воздуха  $\rho_B = 0,3 \text{ кг/м}^3$ , удельная изобарная теплоемкость  $C_B = 1 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ .

**Решение.** Мощность электрокалорифера, кВт

$$P = \frac{Q \rho_B C_B (\Theta_{\text{вых}} - \Theta_{\text{нар}})}{\eta},$$

где  $\eta$  – к.п.д. калорифера ( $\eta = 0,95 \dots 0,98$ ).

Принимаем число секций электрокалорифера  $n_c = 3$ , число параллельных спиралей одной секции  $k = 4$ . Мощность  $P_c$  (Вт) и сила тока  $I_c$  (А) одной спирали при их соединении в каждой секции по схеме «звезда»

$$P_c = \frac{P}{3n_c k} \cdot 10^3; \quad I_c = \frac{P_c}{U_\Phi}$$

Электрическое сопротивление спирали, Ом

$$R = \frac{U_\Phi^2}{P} \cdot 10^{-3}$$

Диаметр сечения проволоки, м

$$d_{\text{пр расч}} = \sqrt{\frac{4I_c}{\pi \delta}}$$

где  $\delta$  – допустимая плотность тока, А/м<sup>2</sup> ( $\delta = 8 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>).

Длина проволоки одной спирали, м

$$l = \frac{R \pi d_{\text{пр}}^2}{4\rho_r}$$

где  $\rho_r$  – удельное электрическое сопротивление материала нагревательной проволоки (для нихрома  $\rho_r = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом · м).

Скорость воздуха в электрокалорифере, м/с

$$g = Q / F,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения нагревательной камеры (принимаем  $F = 0,25$  м<sup>2</sup>).

Коэффициент теплоотдачи спиралей, Вт/(м<sup>2</sup> · °С)

$$\alpha = 2,9 \sqrt{\frac{g}{d_{\text{пр}}}}$$

Коэффициент теплоотдачи спиралей по критериальному уравнению конвективного теплообмена, Вт/(м<sup>2</sup> · °С)

$$\alpha = \lambda \cdot 0,625 \frac{R^{0,16}}{d_{\text{пр}}}$$

где  $\lambda$  – теплопроводность воздуха ( $\lambda = 2,76 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С) при атмосферном давлении и температуре  $\Theta_{\text{ВЫХ}} = 40$  °С;

$R_f$  – число Рейнольдса:

$$R_f = \vartheta d_{\text{ПР}} / \nu.$$

$\nu$  – кинематическая вязкость воздуха ( $\nu = 16,96 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с при атмосферном давлении и температуре  $\Theta_{\text{ВЫХ}} = 40$  °С).

Принимаем максимальное значение теплоотдачи из рассчитанных выше.

Площадь поверхности проволоки, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{ПР}} = \pi d_{\text{ПР}} l.$$

Температура поверхности проволоки, °С

$$\tau_{\text{ПОВ}} = \tau_{\text{НАР}} + \frac{P_c}{\alpha F_{\text{ПР}}}.$$

Шаг спирали проволоки, мм

$$h_c = 3 d_{\text{ПР}}.$$

Диаметр спирали проволоки, мм

$$D_c = 10 d_{\text{ПР}}.$$

Число витков спирали, шт.

$$n = \frac{l}{\pi D_c}.$$

Длина проволоки, м

$$L_c = h_c n.$$

При решении задачи необходимо записать основные параметры по рассчитанному калориферу.

**5. Проточный подогреватель питьевой воды.** Рассчитать закрытые спиральные нагреватели (спираль на керамическом основании в защитном металлическом корпусе) для проточного подогревателя питьевой воды заданной мощности  $P$  при начальной температуре воды  $\Theta_{\text{НАЧ}} = 5$ °С, конечной  $\Theta_{\text{КОН}} = 18$ °С и напряжении питания  $U = 220/380$  В.

**Решение.** Для регулирования мощности в диапазоне 50...100% предусматриваем две трехфазные секции по три нагревателя в каждой,

соединенные по схеме «звезда». Следовательно, общее количество нагревателей  $n = 6$ .

Мощность одного нагревателя, кВт

$$P_1 = P / n.$$

Рабочий ток нагревателя, А

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_{\text{л}} n_{\phi}} \cdot 10^3,$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение сети, В ( $U_{\text{л}} = 380$  В);

$n_{\phi}$  – число нагревателей на каждой фазе.

Для спиралей в качестве материала выбираем нихром (удельное электрическое сопротивление нихромовой проволоки при  $20^{\circ}\text{C}$   $\rho_{20} = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом · м; температурный коэффициент сопротивления при  $20^{\circ}\text{C}$   $\alpha = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Расчетная температура нагревательной проволоки спирали,  $^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{расч}} = t_{\text{уст}} k_{\text{м}} k_{\text{с}},$$

где  $t_{\text{уст}}$  – рабочая (установившаяся) температура проволоки,  $^{\circ}\text{C}$  ( $t_{\text{уст}} = 500^{\circ}\text{C}$ );

$k_{\text{м}}$  – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение теплоотдачи от нагревателя (для проволочной спирали на огнеупорном керамическом основании  $k_{\text{м}} = 0,7 \dots 0,8$ );

$k_{\text{с}}$  – коэффициент среды, учитывающий улучшение теплоотдачи вследствие влияния нагреваемой среды (при омывании нагревателя потоком жидкости  $k_{\text{с}} = 3 \dots 3,5$ ).

Необходимый диаметр нихромовой проволоки, соответствующий рабочему току и расчетной температуре ее нагрева, приведен в табл. 12.

Таблица 12 Нагрузка в амперах, соответствующая определенной температуре нагрева нихромовой проволоки, подвешенной горизонтально в спокойном воздухе при температуре  $20^{\circ}\text{C}$

Диаметр проволоки, мм	Сечение, мм <sup>2</sup>	Допустимая нагрузка, А, при температуре						
		200	400	600	700	800	900	1000
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5,00	19,60	52,0	83,0	105	124	146	173	206
4,00	12,60	37,0	60,0	80,0	93,0	110	129	151
3,00	7,070	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102
2,50	4,910	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.00	3.140	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
1.80	2.540	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
1.60	2.010	8,9	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1.50	1.770	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1.40	1.540	7,25	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1.30	1.330	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1.20	1.130	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	27,3
1.10	0.950	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1.00	0.785	4,65	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2
0.90	0.636	4,25	6,7	9,35	10,45	12,3	14,5	16,5
0.80	0.503	3,7	5,7	8,15	9,15	10,8	13,3	14,0
0.75	0.442	3,4	5,3	7,55	8,40	9,95	11,25	12,85
0.70	0.385	3,1	4,8	6,95	7,80	9,10	10,3	11,8
0.65	0.342	2,82	4,4	6,30	7,15	8,25	9,30	10,75
0.60	0.283	2,52	4,0	5,70	6,50	7,50	8,50	9,70
0.55	0.238	2,25	3,55	5,10	5,80	6,75	7,60	8,70
0.50	0.195	2,0	3,15	4,50	5,20	5,90	6,75	7,70
0.45	0.159	1,74	2,75	3,90	4,45	5,20	5,85	6,75
0.40	0.126	1,50	2,34	3,30	3,85	4,40	5,00	5,70
0.35	0.096	1,27	1,95	2,76	3,30	3,75	4,15	4,75
0.30	0.085	1,05	1,63	2,27	2,70	3,05	3,40	3,85
0.25	0.049	0,84	1,33	1,83	2,15	2,40	2,70	3,10
0.20	0.0314	0,65	1,03	1,40	1,65	1,82	2,00	2,30
0.15	0.0177	0,46	0,74	0,99	1,15	1,28	1,40	1,62
0.10	0.00785	0,10	0,47	0,63	0,72	0,80	0,90	1,00

Длина нихромовой проволоки на один нагреватель, м

$$l = \frac{U_{\text{н}}^2 S z}{P_{\rho_{20}} [1 + \alpha(\tau_{\text{расч}} - 20)]} \cdot 10^{-3},$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения проволоки,  $\text{м}^2$ :

$$S = \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4} \cdot 10^{-6}.$$

Средний диаметр витка спирали, мм

$$D_{\text{с}} = (8 \dots 10) d_{\text{пр}}.$$

Шаг спирали, мм

$$h = (2 \dots 4) d_{\text{пр.}}$$

Количество витков, шт.

$$n = \frac{l}{\sqrt{((\pi D_c)^2 + h^2) \cdot 10^{-6}}}$$

Длина спирали, м

$$L_c = h n \cdot 10^{-3}$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному подогревателю питьевой воды.

**6. Элементный емкостной водонагреватель.** Определить электротехнические и конструктивные параметры элементного водонагревателя периодического действия с трубчатыми электронагревателями исходя из требуемой производительности  $Q$ , начальной и конечной температуры воды  $\Theta_{\text{нач}} = 10^\circ\text{C}$  и  $\Theta_{\text{кон}} = 80^\circ\text{C}$ .

Масса воды, нагреваемой за один цикл работы, кг,

$$m = Q \rho t,$$

где  $t$  – продолжительность нагрева, ч (принимаем  $t = 4$  ч);

$\rho$  – объемная масса воды,  $\text{кг/м}^3$  (принимаем  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ).

Мощность элементного емкостного водонагревателя, кВт

$$P = c m (\Theta_{\text{кон}} - \Theta_{\text{нач}}) / \eta,$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воды,  $c = 4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ ;

$\eta$  – к.п.д. водонагревателя ( $\eta = 0,90 \dots 0,95$ ).

Сопротивление одной фазы при соединении трубчатых электронагревателей (ТЭНов) по схеме «треугольник», Ом

$$R_{\Phi} = \frac{U_{\Phi}}{I_{\Phi}} = \frac{3 U_{\Phi}^2}{P} \cdot 10^{-3},$$

где  $U_{\Phi}$  – фазное напряжение, В ( $U_{\Phi} = 220 \text{ В}$ ).

Используя коэффициент уменьшения сопротивления спирали вследствие обжима трубчатого элемента (для нихрома  $k_R = 1,33$ ), определяем приведенные ниже показатели.

Расчетное сопротивление ТЭНа, Ом

$$R_{\text{расч}} = k_R R_{\Phi}.$$

Площадь поперечного сечения проволоки, мм<sup>2</sup>

$$S_{\Phi} = I_{\Phi} / \sigma_{\text{доп}},$$

где  $I_{\Phi}$  – фазный ток, А:

$$I_{\Phi} = \frac{P}{3U_{\Phi}} \cdot 10^3$$

$\sigma_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока, А/мм<sup>2</sup> (для нихрома  $\sigma_{\text{доп}} = 5 \dots 30$  А/мм<sup>2</sup>).

Удельное сопротивление нихромовой проволоки при действительной температуре нагрева (Ом · м)

$$\rho_t = \rho_{20} (1 + \alpha \tau_{\text{РАСЧ}}),$$

где  $\rho_{20}$  – удельное электрическое сопротивление при температуре 20°C, Ом · м ( $\rho_{20} = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом · м);

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, °C<sup>-1</sup> ( $\alpha = 0,000165^{\circ}\text{C}^{-1}$ );

$\tau_{\text{РАСЧ}}$  – расчетная температура нагревательной проволоки, °C:

$$\tau_{\text{РАСЧ}} = \tau_{\text{УСТ}} k_M k_C,$$

где  $k_M$  – коэффициент монтажа (для трубчатого нагревателя  $k_M = 0,5 \dots 0,6$ );

$k_C$  – коэффициент среды, учитывающий улучшение теплоотдачи вследствие влияния нагреваемой среды (для нагревателя, погруженного в жидкость,  $k_C = 2,5$ );

$\tau_{\text{УСТ}}$  – рабочая (установившаяся) температура проволоки, °C ( $\tau_{\text{УСТ}} = 500^{\circ}\text{C}$ ).

Длина проволоки, приходящаяся на одну фазу, мм,

$$l_{\Phi} = \frac{R_{\text{РАСЧ}} S_{\Phi}}{\rho_t} \cdot 10^{-3},$$

где  $\rho_t$  – удельное сопротивление проволоки при действительной температуре нагрева, Ом · м.

Диаметр проволоки, мм

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4S_{\Phi}}{\pi}}.$$

Средний диаметр витка спирали, мм

$$D_C = (8 \dots 10) d_{\text{ТР}}$$

Шаг спирали, мм

$$h = (2 \dots 4) d_{\text{ТР}}$$

Количество витков на одну фазу, шт.

$$n_{\Delta} = \frac{l_{\Delta}}{\sqrt{((\pi D_C)^2 + h^2)} \cdot 10^{-6}}$$

Диаметр трубки трубчатого электронагревателя, мм

$$D_{\text{ТР}} = D_C + 2 d_{\text{ТР}} + 2 \Delta,$$

где  $\Delta$  – зазор между витками спирали и трубкой, мм ( $\Delta = 1,5 \dots 2,0$  мм).

Длина активной части трубки нагревателя  $L_{\text{АКТ}}$  до опрессовки, м

$$L_{\text{АЭО}} = \frac{D}{3\pi D_{\text{об}} \gamma \tau_{\text{АЛТ}}} \cdot 10^{-3},$$

где  $\gamma$  – коэффициент удлинения активной части трубки при опрессовке ( $\gamma = 1,15$ );

$\sigma_{\text{доп}}$  – допустимая нагрузка на активную поверхность ТЭНа, Вт/см<sup>2</sup> (для кварцевого песка, используемого в качестве наполнителя,  $\sigma_{\text{доп}} = 0,09 \dots 0,11$  Вт/см<sup>2</sup>).

Длина трубчатого электронагревателя для одной фазы, м

$$L_{\Phi} = L_{\text{АКТ}} + 2 L_{\text{П}},$$

где  $L_{\text{П}}$  – длина пассивного конца трубки после опрессовки ( $L_{\text{П}} = 0,075$  м).

Диаметр нагревательного бака, м

$$D_{\text{Б}} = \sqrt[3]{\frac{4kV}{\pi}},$$

где  $k$  – отношение диаметра бака  $D_{\text{Б}}$  к его высоте  $H_{\text{Б}}$  ( $k = D_{\text{Б}} / H_{\text{Б}} = 1,2 \dots 2,0$ );

$V$  – объем нагревательного бака, м<sup>3</sup>.

Высота бака, м

$$H_B = D_B / k.$$

Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup>

$$W_{уд} = P / Q.$$

Необходимо в задаче записать основные данные по рассчитанному элементному емкостному водонагревателю.

**7. Электрический брудер.** Рассчитать нагревательные элементы для однофазного электробрудера заданной мощности  $P$ , выполненные в виде спиралей на огнеупорном держателе. Питающее напряжение  $U_C = 220$  В, температура под брудером  $\Theta = 20^\circ\text{C}$ .

**Решение.** В качестве материала спиралей выбираем нихром (при температуре  $20^\circ\text{C}$  удельное электрическое сопротивление  $\rho_{20} = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м; температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 0,000165^\circ\text{C}^{-1}$ ; допустимая (установившаяся) температура нагрева проволоки  $\tau_{уст} = 500^\circ\text{C}$ ).

Рабочий ток одной секции электробрудера, А

$$I = \frac{P}{U_C n_C} \cdot 10^3,$$

где  $n_C$  – число параллельно включенных секций ( $n_C = 2 \dots 4$ ).

Расчетная (действительная) температура нагрева проволоки,  $^\circ\text{C}$

$$\tau_{расч} = \tau_{уст} k_M k_C,$$

где  $k_M$  – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение теплоотдачи от нагревателя (для проволочной спирали на огнеупорном держателе  $k_M = 0,7 \dots 0,8$ );

$k_C$  – коэффициент среды, учитывающий улучшение теплоотдачи вследствие влияния нагреваемой среды (для проволочной спирали в воздушном потоке  $k_C = 3,0 \dots 3,5$ ).

Необходимый диаметр  $d_{пр}$  нихромовой проволоки, соответствующий рабочему току и расчетной температуре ее нагрева, определяется по табл. 12.

Длина нихромовой проволоки для одной секции, м

$$l = \frac{U_C^2 S n_C}{P \rho_t} \cdot 10^{-3},$$

где  $S = \frac{\pi d_{\text{пр}}^2}{4} \cdot 10^{-6}$  – сечение нихромовой проволоки,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_t$  – удельное сопротивление проволоки при допустимой температуре ее нагрева,  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ ;

$$\rho_t = \rho_{20} [1 + \alpha (\tau_{\text{уст}} - 20)].$$

Средний диаметр витка спирали,  $\text{мм}$

$$D_c = (8 \dots 10) d_{\text{пр}}.$$

Шаг спирали,  $\text{мм}$

$$h = (2 \dots 4) d_{\text{пр}}.$$

Количество витков, шт.

$$n = \frac{l}{\sqrt{((\pi D_c)^2 + h^2)} \cdot 10^{-6}}.$$

Длина спирали,  $\text{м}$

$$L_c = h n \cdot 10^{-3}.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному электрическому бродеру.

**8. Электродный проточный водонагреватель** Определить электротехнические и конструктивные параметры электродного водонагревателя с дуговыми пластинчатыми электродами для нагрева воды от  $20^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$  исходя из требуемой производительности  $Q$ .

**Решение** Потребная мощность проточного электродного водонагревателя,  $\text{кВт}$

$$P = Q \rho c (\Theta_{\text{кон}} - \Theta_{\text{нач}}) / \eta,$$

где  $c = 4,19 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$  – удельная теплоемкость воды;

$\rho$  – плотность воды,  $\text{кг/л}$  ( $\rho = 1 \text{ кг/л}$ );

$Q$  – производительность водонагревателя,  $\text{л/с}$ ;

$\Theta_{\text{нач}}$  и  $\Theta_{\text{кон}}$  – начальная и конечная температура воды,  $^\circ\text{C}$ ;

$\eta$  – к.п.д. водонагревателя ( $\eta = 0,98$ ).

Принимаем конструкцию нагревательного устройства из комбинированной системы дуговых и пластинчатых электродов (рис. 3).

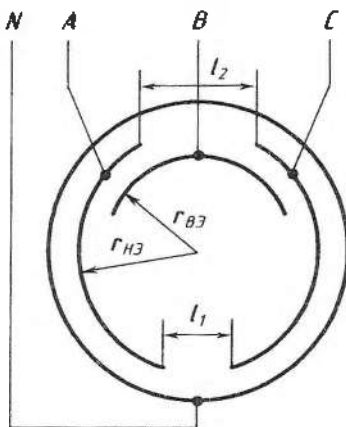


Рис 3. Комбинированная система водонагревателя с дуговыми и пластинчатыми электродами.

Удельное сопротивление воды в конце нагрева, Ом · см

$$\rho_{\text{кон}} = \frac{40\rho_{20}}{20 + \Theta_{\text{кон}}},$$

где  $\rho_{20}$  – удельное сопротивление воды при температуре 20°C ( $\rho_{20} = 2000$  Ом · см).

Расстояние между пластинчатыми электродами, см

$$l_1 = U_{\text{Ф}} / I_{\text{доп}},$$

где  $U_{\text{Ф}} = U_{\text{с}}$  – напряжение сети, В ( $U_{\text{Ф}} = 220$  В);

$I_{\text{доп}}$  – допустимая напряженность электрического поля, В/см (табл. 13).

Таблица 13. Допустимая напряженность электрического поля в зависимости от удельного сопротивления горячей воды

$\rho_{\text{г}}$ , Ом · см	250	500	700	2000	4000	8000
$I_{\text{доп}}$ , В/см	100	250	400	800	1000	1200

Расстояние между дуговыми электродами, см

$$l_2 = 2 l_1.$$

По конструктивным соображениям ширина прямоугольного пластинчатого электрода  $b_1 = 3$  см, радиус наружного электрода  $r_{НЭ} = r_K = 4 \dots 9$  см. Радиус внутреннего электрода, см

$$r_{ВЭ} = r_K - l_2 - \Delta h,$$

где  $r_K$  – радиус корпуса водонагревателя, см ( $r_K = 4 \dots 9$  см);

$\Delta h$  – толщина электрода, см ( $\Delta h = 0,2$  см).

Внутренний радиус дугового электрода, см

$$b_2 = \frac{4,6 r_{НЭ} b_1}{l_1} \lg \frac{r_{НЭ}}{r_{ВЭ}}.$$

Длина электрода, см

$$L = \frac{107 Q_{\Phi} \rho_{20} l_1}{U^2 b_2 \eta} \lg \frac{20 + \Theta_{\text{кон}}}{20 + \Theta_{\text{нач}}},$$

где  $Q_{\Phi}$  – подача воды, приходящаяся на одну пару электродов, м<sup>3</sup>/ч:

$$Q_{\Phi} = Q / 3.$$

Удельный расход электроэнергии, кВт · ч / м<sup>3</sup>

$$W_{уд} = P / (3,6 \cdot Q).$$

Необходимо в задаче записать основные данные по рассчитанному электродному проточному водонагревателю.

**9. Электродная водогрейная установка.** Определить подачу и мощность водогрейной установки с электродной системой из заданного числа  $n$  плоских пластин шириной  $b = 20$  см и высотой  $h = 30$  см каждая. Расстояние между пластинами  $l = 3$  см, удельная проводимость воды  $\gamma_{20} = 0,4 \cdot 10^{-3}$  См / см, температурный коэффициент проводимости  $\alpha = 0,025$  °С<sup>-1</sup>, конечная температура нагрева  $\Theta_{\text{кон}} = 90$ °С, напряжение питания  $U = 220/380$  В.

**Решение.** Среднее значение проводимости воды в интервале температур 20...90 °С, См/см

$$\gamma_{\text{ср}} = \gamma_{20} [1 + \alpha(\Theta_{\text{ср}} - 20)],$$

где  $\gamma_{20}$  – удельная проводимость воды при 20 °С (для сельскохозяйственных водосточников  $\gamma_{20} = 0,1 \dots 0,5$  См / см);

$\alpha$  – температурный коэффициент проводимости воды, °С<sup>-1</sup> ( $\alpha = 0,025 \dots 0,035$  °С<sup>-1</sup>).

Геометрический коэффициент электродной системы, зависящий от формы и взаимного расположения электродов,

$$k_{\text{эс}} = \frac{l}{(n-1)b},$$

где  $n$  – число пластин.

Подача водонагревателя, кг/ч

$$Q = \frac{3,6 U_{\text{л}}^2 \gamma_{\text{ср}} h}{c (\Theta_{\text{вых}} - \Theta_{\text{вх}}) k_{\text{эс}}},$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение сети, В;

$c = 4,19$  кДж/(кг · °С) – удельная теплоемкость воды.

Потребная мощность водонагревателя, кВт

$$P = \frac{Q c (\Theta_{\text{вых}} - \Theta_{\text{вх}})}{3600},$$

Необходимое сопротивление воды, Ом

$$R = \frac{U_{\text{л}}^2}{1000 P},$$

где  $U_{\text{л}}$  – линейное напряжение сети,  $U_{\text{л}} = 380$  В.

Расстояние между электродами, см

$$l = R \gamma_{\text{ср}} S = R \gamma_{\text{ср}} b h,$$

где  $S$  – рабочая площадь поверхности одного электрода, см<sup>2</sup>.

Удельный расход электроэнергии, кВт/м<sup>3</sup>

$$W_{\text{уд}} = P \rho / Q,$$

где  $\rho$  – объемная масса воды,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному электродному проточному водонагревателю.

**10. Однофазный электродный водонагреватель.** Определить основные параметры электродного водонагревателя с плоскими электро-

дами в виде двух пластин, подключенного к сети однофазного тока напряжением  $U_{\phi} = 220$  В. Начальная температура воды  $\Theta_{\text{нач}} = 15^{\circ}\text{C}$ , конечная  $\Theta_{\text{кон}} = 100^{\circ}\text{C}$ , время нагрева  $t = 0,5$  ч.

**Решение.** Потребная электрическая мощность электродного емкостного водонагревателя, кВт

$$P_{\text{ср}} = \frac{c m (\Theta_{\text{кон}} - \Theta_{\text{нач}})}{\eta t},$$

где  $c = 4,19$  кДж/(кг·°C) – удельная теплоемкость воды;

$m$  – масса нагреваемой воды, кг;

$\Theta_{\text{нач}}$  и  $\Theta_{\text{кон}}$  – соответственно начальная и конечная температура воды, °C;

$\eta$  – к.п.д. нагревателя ( $\eta = 0,90 \dots 0,98$ );

$t$  – продолжительность нагрева, с ( $t = 0,5$  ч = 1800 с).

Мощность водонагревателя в конце нагрева, кВт

$$P_{\text{кон}} = \frac{2P_{\text{ср}}}{1 + \frac{20 + \Theta_{\text{нач}}}{20 + \Theta_{\text{кон}}}}.$$

Сопротивление воды, выраженное через электрические параметры водонагревателя, Ом,

$$R_{\text{кон}} = U_{\text{C}}^2 / P_{\text{кон}}.$$

Расстояние между электродами, м

$$l = U_{\text{C}} / l_{\text{доп}},$$

где  $l_{\text{доп}}$  – допустимая напряженность электрического поля, В/см ( $l_{\text{доп}} = 150 \dots 400$  В/см).

Площадь пластины электрода, см<sup>2</sup>

$$S = \rho_{\text{кон}} l / R_{\text{кон}},$$

где  $\rho_{\text{кон}}$  – удельное электрическое сопротивление воды в конце нагрева, Ом·см ( $\rho_{\text{кон}} = \rho_{100} = 1,23 \cdot 10^{-4}$  Ом·см).

Размеры электродов, см

$$b = \sqrt{S/k}; \quad h = \sqrt{S/b},$$

где  $k$  – отношение высоты  $h$  пластин электродов к их ширине  $b$ :

$$k = h / b = 1 \dots 2.$$

Производительность электродного водонагревателя, м<sup>3</sup>/ч

$$Q = m / (\rho \cdot t),$$

где  $\rho$  – объемная масса воды, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$t$  – время нагрева, ч.

Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup>

$$W_{уд} = P / Q.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному электродному емкостному водонагревателю.

**11. Трехфазный электродный емкостный водонагреватель.** Определить электротехнические и конструктивные параметры трехфазного электродного водонагревателя с плоскими электродами, подключенного к сети с напряжением  $U = 220/380$  В. Начальная температура воды  $\Theta_{нач} = 15^\circ\text{C}$ , конечная  $\Theta_{кон} = 100^\circ\text{C}$ , время нагрева  $t = 0,5$  ч.

**Решение.** Потребная средняя мощность водонагревателя, кВт

$$P_{ср} = \frac{c m (\Theta_{кон} - \Theta_{нач})}{\eta t},$$

где  $c = 4,19$  кДж/(кг·°C) – удельная теплоемкость воды;

$m$  – масса нагреваемой воды, кг;

$\Theta_{нач}$  и  $\Theta_{кон}$  – соответственно начальная и конечная температура воды, °C;

$\eta$  – к.п.д. нагревателя ( $\eta = 0,90 \dots 0,98$ );

$t$  – продолжительность нагрева, с ( $t = 0,5$  ч = 1800 с).

Для расчета размеров трех электродов в виде стальных пластин, изогнутых под углом  $120^\circ$ , необходимо знать максимальную мощность в конце нагрева. Принимая линейную зависимость мощности от времени нагрева, получим (кВт)

$$P_{кон} = P_{ср} \frac{1 + \alpha (\Theta_{кон} - \Theta_{нач})}{1 + \alpha (\Theta_{ср} - \Theta_{нач})},$$

где  $\alpha = 1 / (20 + \Theta_{нач})$  – температурный коэффициент проводимости воды, °C<sup>-1</sup>;

$\Theta_{ср} = (\Theta_{нач} + \Theta_{кон}) / 2$  – средняя температура воды, °C.

Так как практически вся мощность выделяется в объеме воды, заключенной между электродами, определяем площадь электродов ( $\text{см}^2$ ), приходящуюся на одну фазу,

$$S_{\Phi} = I_{\Phi, \text{кон}} / \delta_{\text{доп}},$$

где  $I_{\Phi, \text{кон}} = R_{\text{кон}} / (3 U_{\Phi})$  – фазная сила тока в конце нагрева, А;

$U_{\Phi}$  – фазное напряжение (так как при данной конструкции электродной системы преобладает схема соединения фаз «треугольник», то  $U_{\Phi} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$ );

$\delta_{\text{доп}}$  – допустимая плотность тока на электродах,  $\text{А/см}^2$  (для плоских электродов  $\delta_{\text{доп}} = 0,2 \dots 0,5 \text{ А/см}^2$ ).

Площадь пластины электрода,  $\text{см}^2$

$$S = \rho_{\text{кон}} l / R_{\text{кон}},$$

где  $\rho_{\text{кон}}$  – удельное электрическое сопротивление воды в конце нагрева,  $\text{Ом}\cdot\text{см}$  ( $\rho_{\text{кон}} = \rho_{100} = 1,23 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ).

Размеры электродов, см

$$b = \sqrt{S/k}; \quad h = \sqrt{S/b},$$

где  $k$  – отношение высоты  $h$  пластин электродов к их ширине  $b$ :

$$k = h / b = 1 \dots 2.$$

Расстояние между электродами, см

$$l = U_{\Phi} / I_{\text{доп}},$$

где  $I_{\text{доп}} = \delta_{\text{доп}} \cdot \rho_{\text{кон}}$  – допустимая напряженность электрического поля,  $\text{В/см}$  ( $I_{\text{доп}} = 150 \dots 400 \text{ В/см}$ ).

Производительность электродного водонагревателя,  $\text{м}^3/\text{ч}$

$$Q = m / (\rho \cdot t),$$

где  $\rho$  – объемная масса воды,  $\text{кг/м}^3$  ( $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ );

$t$  – время нагрева, ч.

Удельный расход электроэнергии,  $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^3$

$$W_{\text{уд}} = P / Q.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному электродному емкостному водонагревателю.

**12. Индукционный водонагреватель.** Определить электротехнические и конструктивные параметры однофазного индукционного водонагревателя, подключенного к сети с напряжением  $U = 220$  В. Начальная температура воды  $\Theta_{\text{нач}} = 15^\circ\text{C}$ , конечная  $\Theta_{\text{кон}} = 100^\circ\text{C}$ , время нагрева  $t = 0,5$  ч.

**Решение.** Потребная мощность индукционного емкостного водонагревателя, кВт

$$P_{\text{ср}} = \frac{c m (\Theta_{\text{кон}} - \Theta_{\text{нач}})}{\eta t},$$

где  $c = 4,19$  кДж/(кг $\cdot$ °C) – удельная теплоемкость воды;

$m$  – масса нагреваемой воды, кг;

$\Theta_{\text{нач}}$  и  $\Theta_{\text{кон}}$  – соответственно начальная и конечная температура воды, °C;

$\eta$  – к.п.д. нагревателя ( $\eta = 0,90 \dots 0,98$ );

$t$  – продолжительность нагрева, с ( $t = 2$  ч = 7200 с).

Диаметр нагревательного бака, см

$$D_{\text{б}} = \sqrt[3]{4 k V / \pi},$$

где  $k$  – отношение диаметра бака  $D_{\text{б}}$  к его высоте  $H_{\text{б}}$ :

$$k = D_{\text{б}} / H_{\text{б}} = 0,4 \dots 0,6;$$

$V$  – объем нагревательного бака, см<sup>3</sup>:

$$V = m / \rho;$$

$\rho$  – объемная масса воды,  $\rho = 0,001$  кг/см<sup>3</sup>.

Высота бака, см

$$H_{\text{б}} = D_{\text{б}} / k.$$

Боковая поверхность бака, см<sup>2</sup>

$$S_{\text{б}} = \pi D_{\text{б}} H_{\text{б}}.$$

Удельная мощность, Вт/см<sup>2</sup>

$$P_0 = 1000 P / S_{\text{б}}.$$

Удельное количество ампервитков  $I_0$ , необходимое для создания удельной мощности  $P_0$ , определяется по зависимости, изображенной на рис. 4.

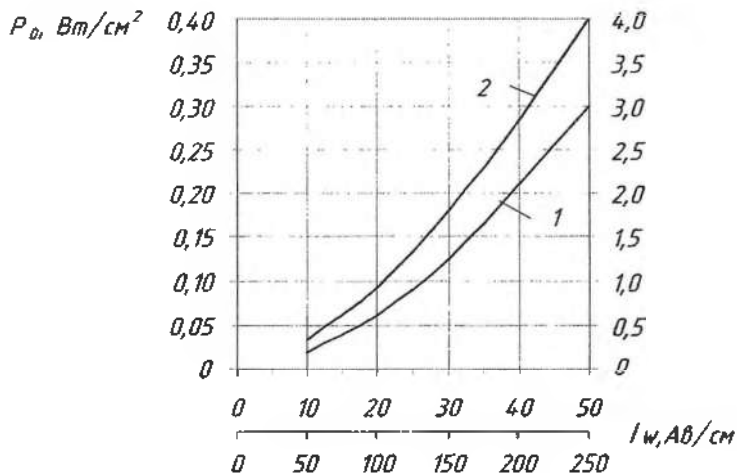


Рис. 4. Зависимость удельной мощности, индуцируемой на поверхности стального бака, от ампервитков индуктора: линия 1 – при  $P_0 = 0 \dots 0,4$  Вт/см<sup>2</sup>, линия 2 – при  $P_0 = 0 \dots 4$  Вт/см<sup>2</sup>.

Полные ампервитки, А·в

$$I\omega_{\text{полн}} = I\omega H_{\text{б}}.$$

Ток индуктора, А

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi \cdot \eta},$$

где  $U$  – напряжение сети, В ( $U = 220$  В);

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности индукционного водонагревателя ( $\cos \varphi = 0,8$ ).

Необходимое число витков индуктора, шт.

$$\omega = I\omega_{\text{полн}} / I.$$

По допустимому току нагрузки из условия нагрева для проводов с медными или алюминиевыми жилами (табл. 14) следует выбрать сечение проводов индуктора.

Таблица 14 Длительно допустимые токи нагрузки на провода с медными и алюминиевыми жилами с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией при открытой прокладке

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Токи нагрузки, А, при материале жилы	
	медь	алюминий
0,5	11	—
0,75	15	—
1	17	—
1,5	23	—
2,5	30	24
4	41	32
6	50	39
10	80	55
10	100	80
25	140	105
35	170	130
50	215	165
70	270	210
95	330	265
120	385	295
150	440	340
185	510	390

Производительность электродного водонагревателя, м<sup>3</sup>/ч

$$Q = m / (\rho \cdot t),$$

где  $\rho$  – объемная масса воды, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$t$  – время нагрева, ч.

Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м<sup>3</sup>

$$W_{уд} = P / Q.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному индукционному емкостному водонагревателю.

**13. Резистивный пленочный водонагреватель.** Определить основные электрические и конструктивные параметры пленочного электронагревателя (ПЭН) для нагрева воды от  $\Theta_{нач} = 8$  °С до  $\Theta_{кон} = 80$  °С за время  $t = 0,3$  ч при напряжении питания  $U = 220$  В. Компоненты резистивного состава ПЭН – молибден на силикатонатре со следующими характеристиками: удельное поверхностное сопротивление при 20°С  $\rho_{п1} = 3,14 \dots 15,4$  Ом/□, допустимая удельная мощность  $W'_{д} = 40 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>, допустимая температура нагрева  $\Theta_{дон} = 250$ °С.

Схема плёночного электронагревателя приведена на рис. 5.

**Решение.** Мощность, необходимая для нагрева воды, Вт,

$$P_{\text{ср}} = \frac{c m (\Theta_{\text{кон}} - \Theta_{\text{нач}})}{t},$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг · °С),  $c = 4186$  Дж/(кг · °С);

$m$  – масса нагреваемой воды, кг;

$\Theta_{\text{нач}}$  и  $\Theta_{\text{кон}}$  – соответственно начальная и конечная температура воды, °С;

$t$  – продолжительность нагрева, с.

Мощность установки, Вт

$$P_{\text{уст}} = k_3 P / \eta_{\text{уст}},$$

где  $k_3 = 1,1 \dots 1,2$  – коэффициент запаса, учитывающий старение ПЭН-элемента;

$\eta_{\text{уст}} = 0,60 \dots 0,98$  – к.п.д. установки, зависящий от конструктивного исполнения и размеров нагревателя (принимается  $\eta_{\text{уст}} = 0,8$ ).

Полезная площадь контактной поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{п}} = P_{\text{уст}} / W'_{\text{д}},$$

где  $W'_{\text{д}}$  – допустимая удельная мощность, Вт/м<sup>2</sup>.

Полная площадь контактной поверхности теплообмена, м<sup>2</sup>

$$F = F_{\text{п}} / k_{\text{зэл}},$$

где  $k_{\text{зэл}} = 0,90 \dots 0,95$  – коэффициент заполнения площади композиционным резистивным пленочным элементом.

Диаметр цилиндрической части емкости-нагревателя, м

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 m}{\pi \cdot \rho_{\text{в}}}},$$

где  $\rho_{\text{в}}$  – плотность нагреваемой воды, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{\text{в}} = 1000$  кг/м<sup>3</sup>).

Периметр поперечного сечения емкости-нагревателя, равный длине резистивных полос, м,

$$L = \pi D.$$

Рассчитанный периметр  $L$  округляем до значения, кратного 0,1 м.

Ширина контактной поверхности теплообмена, м

$$B = F / L.$$

Ширина одной резистивной полосы (рис. 5), м

$$b = \sqrt{\frac{\delta^2}{4} + \frac{\rho_n W_d' L^2 B (B + b)}{U^2}} - \frac{\delta}{2},$$

где  $U$  – напряжение питания, В;

$\delta$  – расстояние между резистивными полосами, м ( $\delta = 3 \cdot 10^{-4}$  м).

Число резистивных полос, шт.

$$n = (B + \delta) / (b + \delta).$$

Рассчитанное значение  $n$  необходимо округлить до ближайшего целого значения  $n'$ .

Уточненная ширина резистивных полос, м

$$b' = [B - \delta (n' - 1)] / n'.$$

Уточненное значение удельного поверхностного сопротивления резистивного элемента ПЭН, Ом/□

$$\rho_n' = \frac{U^2 b' (b' + \delta)}{W_d' L^2 B (B + \delta)}.$$

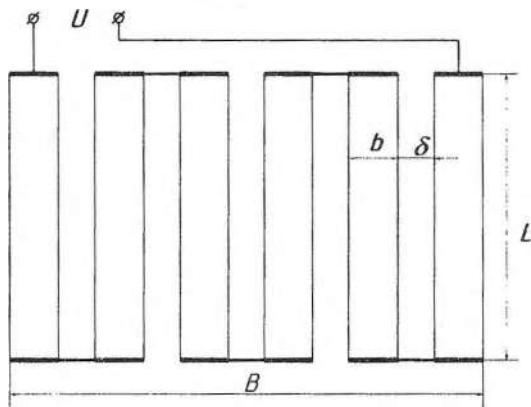


Рис. 5 Конструктивная схема пленочного электронагревателя:  $b$  – ширина резистивной полосы;  $\delta$  – расстояние между резистивными полосами;  $L$  – длина резистивных полос;  $B$  – ширина контактной поверхности теплообмена

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному подогревателю.

**14. Почвенно-воздушный обогрев парников.** Определить мощность, необходимую для нагрева почвы и воздуха в трех парниках с числом рам  $n_p$  в каждом, а также диаметр и длину стальной оцинкованной проволоки, расположенной в почве и на стенках парника. Расчетная температура воздуха в парнике  $\Theta_{вн} = 18^\circ\text{C}$ , температура наружного воздуха  $\Theta_{нар} = -7,3^\circ\text{C}$ , скорость ветра  $\vartheta = 5 \text{ м/с}$ . Питание осуществляется от комплектной понижающей трансформаторной подстанции с напряжением 380/49...121 В. Соотношение мощностей на нагрев почвы и воздуха  $P_{п} : P_{в} = 1 : 1$ . Размеры рам:  $a \times b = 1,06 \times 1,6 \text{ м}$ , коэффициент остекленности  $k_{ост} = 0,95$ .

**Решение.** Площадь остекления одного парника,  $\text{м}^2$

$$S_{ост} = n_p k_{ост} a b,$$

где  $n_p$  – число остекленных рам в одном парнике.

Мощность, необходимая для обогрева одного парника, кВт.

$$P = \alpha_{ост} (\Theta_{вн} - \Theta_{нар}) S_{ост} \cdot 10^{-3},$$

где  $\alpha_{ост}$  – коэффициент теплопередачи через остекление,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ,

$\alpha_{ост} = 6,3 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  при скорости ветра  $5 \text{ м/с}$ .

Общий ток нагревателей, А

$$I_{общ} = \frac{P \cdot 10^3}{U_c \cos \varphi},$$

где  $U_c$  – напряжение питания, В ( $U_c = 50 \text{ В}$ );

$\cos \varphi = 0,9$  – коэффициент мощности нагревателей.

Удельное напряжение на провод, В/м

$$U' = U_c / l,$$

где  $l$  – длина нагревательного провода, равная длине парника, м.

Ток  $I$ , потребляемый проводом, определяется по зависимости потерь напряжения от силы тока (рис. 6) при рассчитанном значении  $U'$  и диаметре проволоки  $d_{пр} = 4...6 \text{ мм}$ .

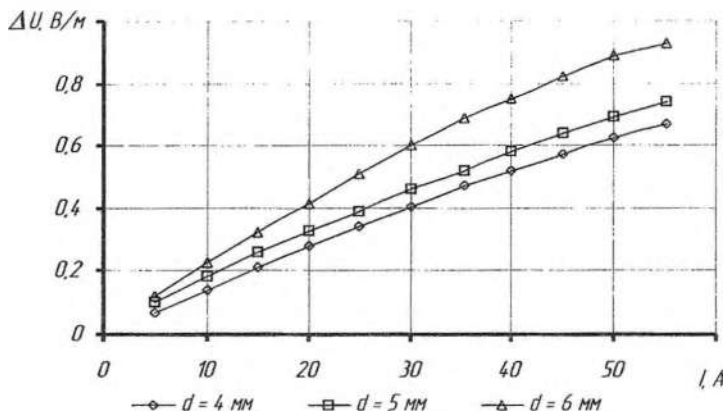


Рис. 6. Зависимость потери напряжения на 1 м стальной проволоки от силы тока:  
1 -  $d_{\text{пр}} = 4$  мм; 2 -  $d_{\text{пр}} = 5$  мм; 3 -  $d_{\text{пр}} = 6$  мм

Число параллельных проволок в парнике, шт.

$$n_{\text{пр}} = I_{\text{общ}} / I'$$

Число параллельных проволок следует округлить до четного числа в большую сторону. При этом одна половина нагревательных элементов прокладывается в почве, а вторая – на стенках парника для обогрева воздуха.

Мощность нагревательных элементов квартала парников, кВт

$$P_{\text{кв}} = P \cdot n,$$

где  $n$  – число парников в квартале, шт.

Удельная установленная мощность электрообогрева, Вт/м<sup>2</sup>

$$E_{\text{дл}} = \frac{P}{n_{\text{пр}} \cdot a \cdot b}$$

**15. Электрообогрев парника.** Определить мощность, длину и число нагревателей из провода ПОСХВ, необходимых для обогрева одно-го 20-рамного парника. Нагревательный провод размещается в почве и на стенках парника. Расчетная температура воздуха в парнике  $\Theta_{\text{вн}} = 18^\circ\text{C}$ , температура почвы  $\Theta_{\text{п}} = 20^\circ\text{C}$ , температура наружного воздуха  $\Theta_{\text{нар}} = -7,3^\circ\text{C}$ , скорость ветра  $\Theta = 5$  м/с, напряжение сети

$U = 220/380$  В. Размеры рам  $a \times b = 1,06 \times 1,6$  м, коэффициент остекленности  $k_{\text{ост}} = 0,95$ ).

**Решение.** Площадь остекления одного парника,  $\text{м}^2$

$$S_{\text{ост}} = n_{\text{р}} k_{\text{ост}} a b,$$

где  $n_{\text{р}}$  – число остекленных рам в одном парнике.

Мощность, необходимая для обогрева одного парника, кВт,

$$P = \alpha_{\text{ост}} (\Theta_{\text{вн}} - \Theta_{\text{нар}}) S_{\text{ост}} \cdot 10^{-3},$$

где  $\alpha_{\text{ост}}$  – коэффициент теплопередачи через остекление,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$\alpha_{\text{ост}} = 6,3 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  при скорости ветра  $5 \text{ м/с}$ .

Для ранних парников с комбинированным (почвенно-воздушным) обогревом соотношение мощностей на нагрев почвы и воздуха  $P_{\text{п}} : P_{\text{в}} = 1 : 1$ . Мощность электрообогрева почвы и воздуха, кВт

$$P_{\text{п}} = P_{\text{в}} = P / 2.$$

Допустимое превышение температуры провода ПОСХВ над температурой почвы,  $^\circ\text{C}$

$$\Delta\Theta' = \Theta_{\text{доп}} - \Theta_{\text{п}},$$

где  $\Theta_{\text{доп}} = 70^\circ\text{C}$  – допустимая температура нагрева провода ПОСХВ.

Для повышения надежности и долговечности нагревателей целесообразно уменьшить допустимое превышение температуры на  $10^\circ\text{C}$ :

$$\Delta\Theta = \Delta\Theta' - 10^\circ\text{C}.$$

Сила тока нагревателя  $I_{\text{н}}$ , удельное напряжение  $U'$  и удельная мощность  $P'$  провода на участке длины  $l$  м определяется по графику (рис. 6) при рассчитанном значении  $\Delta\Theta$ .

Необходимая длина отрезка провода, м

$$l = U_c / U',$$

где  $U$  – напряжение питания, В ( $U = 220$  В).

Мощность одного нагревателя, Вт

$$P_{\text{н.э}} = P' \cdot l.$$

Число нагревателей для одного парника, шт.

$$n = P / P_{\text{н.э}}.$$

Расчетное число нагревателей округляем в большую сторону до значения, кратного трем, для равномерного распределения нагрузки по трем фазам.

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанной системе электрообогрева почвы.

**16. Керамический нагреватель инфракрасного облучателя.** Определить основные электрические и конструктивные параметры нагревателя инфракрасного облучателя мощностью  $P$  для обогрева молодняка животных, выполненного в виде керамического диска с запрессованной в нем спиралью из нихромовой проволоки. Мощность облучателя  $P \approx 0,5$  кВт, напряжение питания  $U = 220$  В.

**Решение.** Рабочий ток нагревателя, А

$$I_p = P / U.$$

Поскольку максимум спектральной чувствительности шерстного покрова животных соответствует температуре поверхности излучателя  $500 \dots 700^\circ\text{C}$ , принимаем температуру керамического диска  $\Theta_{\text{д}} = 600^\circ\text{C}$  и перепад температуры между поверхностью диска и нихромовой проволокой  $\Delta\Theta = 100^\circ\text{C}$ .

Установившаяся температура спирали,  $^\circ\text{C}$

$$\tau_{\text{уст}} = \Theta_{\text{д}} + \Delta\Theta.$$

Расчетная температура спирали,  $^\circ\text{C}$

$$\tau_{\text{расч}} = k_M k_C \tau_{\text{уст}},$$

где  $k_M$  – коэффициент монтажа, учитывающий ухудшение теплоотдачи от нагревателя (для нагревательного сопротивления между двумя слоями изоляции, толщина которого в  $3 \dots 5$  раз превышает диаметр спирали  $k_M = 0,4$ );

$k_C$  – коэффициент среды, учитывающий улучшение теплоотдачи вследствие влияния нагреваемой среды (для нагревателя, запрессованного в керамический диск  $k_C = 1$ ).

Необходимый диаметр нихромовой проволоки  $d_{\text{НП}}$ , соответствующий рабочему току через нее и расчетной температуре нагрева проволоки, приведен в табл. 12.

Длина нихромовой проволоки, м

$$l = \frac{\pi d_{\text{НП}}^2 U_c}{4 \rho_{20} [1 + \alpha(\tau_{\text{расч}} - 20)]},$$

где  $\rho_{20}$  – удельное электрическое сопротивление при  $20^\circ\text{C}$ , Ом·м  
( $\rho_{20} = 1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м);

$\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления при  $20^\circ\text{C}$   
( $\alpha = 16,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

Шаг спирали, мм

$$h = (3,2 \dots 4,8) d_{\text{пр.}}$$

Диаметр спирали, мм

$$D_c = (6 \dots 10) d_{\text{пр.}}$$

Количество витков спирали, шт.

$$n = \frac{l}{\sqrt{h^2 + (\pi D_c)^2}}$$

Длина спирали, м

$$L_c = h n \cdot 10^{-3}.$$

В задаче необходимо записать основные данные по рассчитанному инфракрасному облучателю.

**17. Установка для инфракрасного обогрева поросят.** Выбрать лампу и определить высоту подвеса светильника косинусного светораспределения для обогрева поросят при групповом содержании в клетках с заданной площадью  $F$ . Температура окружающего воздуха  $\Theta_{\text{в}} = 10^\circ\text{C}$ .

**Решение.** Удельная мощность для облучения животных в первые дни жизни,  $\text{Вт}/\text{м}^2$

$$E_x = A_q - \alpha \Theta_{\text{воз}},$$

где  $A_q$  – постоянная потеря тепла, зависящая от вида животных и способа содержания (для поросят на глубокой подстилке  $A_q = 188 \text{ Вт}/\text{м}^2$ , без подстилки  $A_q = 215 \text{ Вт}/\text{м}^2$ );

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи тела животного, зависящий от влажности воздуха, скорости воздуха внутри помещения, влажности пола, вида и возраста животного,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , принимаем  $\alpha = 9,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ .

По графику (рис. 7) принимаем для  $F = 1,5 \text{ м}^2$  облученность от светильника с лампой 100 Вт  $E_{100} = 20 \text{ Вт}/\text{м}^2$  при  $h = 0,94 \text{ м}$ .

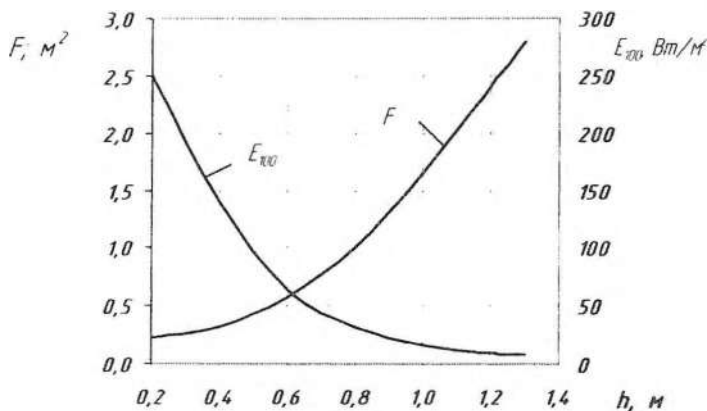


Рис. 7 Зависимость между площадью облучения, высотой подвеса  $h$  и облученностью  $E_{100}$ , создаваемой лампой мощностью 100 Вт при неравномерности облучения 1,5

Потребная мощность лампы, Вт

$$P_{л} = \frac{100E_x}{E_{100} \eta_{лк} \eta_{сф}}$$

где  $\eta_{лк}$  – доля мощности лампы, преобразуемая в лучистый поток (для ламп накаливания  $\eta_{лк} = 0,8 \dots 0,9$ );

$\eta_{сф}$  – доля излучения, пропускаемая светофильтром, который применяется для поглощения видимого участка спектра (без светофильтра  $\eta_{сф} = 1$ ).

Используем схему последовательного включения двух ламп с номинальным напряжением  $U_{н} = 220$  В на линейное напряжение сети  $U_c = 380$  В. Номинальная мощность лампы, Вт

$$P'_{н} = P_{л} \left( \frac{2U_{н}}{U_c} \right)^2$$

По каталогу выбираем лампу накаливания типа НГ-215-225, ближайшую большую по номинальной мощности из стандартного ряда (300, 500, 750, 1000 Вт).

Действительная мощность лампы, Вт

$$P_{л} = P_{н} \left( \frac{U_c}{2U_{н}} \right)^{1,55}$$

Срок службы лампы, ч

$$T = T_{н} \left( \frac{U}{2U_c} \right)^{-12,8}$$

где  $T_{н} = 500$  ч – срок службы лампы при напряжении 220 В.

Суточный расход электроэнергии, кВт·ч

$$A = 24 P'_{л} / 1000.$$

### *18. Установка для предпосевного прогрева семян ИК-излучением.*

Определить параметры установки для прогрева ИК-излучением семян пшеницы влажностью 15% до температуры  $\Theta_{кон} = 45^{\circ}\text{C}$  с заданной производительностью  $Q$ . Семена движутся по решетке длиной 1,2 м и шириной 0,8 м. Объемная масса зерна  $\rho = 700$  кг/м<sup>3</sup>, диаметр зерен  $d = 3 \dots 5$  мм. Температура исходного материала  $\Theta_{нач} = 15^{\circ}\text{C}$ .

*Решение.* Теплоемкость зерна, кДж / (кг · °С)

$$c_3 = c_0 (1 - w) + 4,19 w,$$

где  $c_0$  – теплоемкость абсолютно сухих семян, кДж/кг·°С,

$$c_0 = 1,55 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C});$$

$w$  – влажность семян, %.

Продолжительность облучения зерна на решетке, с

$$t = L / \vartheta,$$

где  $L$  – длина решета, м;

$\vartheta$  – скорость движения семян по решетку, м/с.

Масса зерна на решетке (кг) при толщине слоя  $h = 3$  мм

$$m_1 = \gamma F h \cdot 10^{-3},$$

где  $F = L \cdot b$  – площадь решета, м<sup>2</sup>;

$b$  – ширина решета, м.

Скорость движения зерна на решетке, м/с

$$g = \frac{Q}{3,6 \rho b h}$$

Для облучения семян выбираем лампы КИ-220-1000 и включаем их на линейное напряжение  $U_C = 380$  В по две последовательно.

Действительная мощность лампы, Вт

$$P_L = P_H \left( \frac{U}{\eta U_H} \right)^{1,53}$$

где  $U$  – напряжение на лампе, В ( $U_C = 220$ В);

$U_H$  – номинальное напряжение, В ( $U_H = 220$  В);

$P_H$  – номинальная мощность лампы, Вт ( $P_H = 1000$  Вт).

Индекс облучательной установки

$$i = \frac{L b}{h (L + b)}$$

где  $h$  – высота подвеса лампы, м.

Энергетический к.п.д. установки

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{CB} k_T,$$

где  $\eta_{CB}$  – коэффициент использования потока излучений в установке (при наличии экрана из полированного алюминия  $\eta_{CB} = 0,64$ );

$k_T$  – коэффициент, учитывающий тепловые потери лампы ( $k_T = 0,9$ ).

Мощность установки, кВт

$$P = \frac{k_{\Pi} c_3 m_3 \Delta \Theta}{(1 - \rho_{OT}) t \eta_{\Sigma}}$$

где  $k_{\Pi}$  – коэффициент, учитывающий потери тепла семенами ( $k_{\Pi} = 1,05$ );

$\Delta \Theta$  – перепад температур;

$\rho_{OT} = 0,22$  – коэффициент отражения зерна.

Число ламп в установке, шт.

$$n = 1000 P / P_L.$$

Так как лампы включены попарно, то их число  $n$  следует округлить до четного числа  $n'$ .

Общая мощность ламп, кВт

$$P = n' P_H \cdot 10^3.$$

Расход электроэнергии на 1 т зерна, кВт·ч/т

$$W_{уд} = P / Q.$$

При решении задачи необходимо записать рассчитанные параметры ИК-установки для предпосевного прогрева зерна.

**19. Электроплазмоллизатор технологической линии сахарной свеклы.** Рассчитать параметры электроплазмоллизатора технологической линии для обработки стружки сахарной свеклы, подача которой  $Q = 8000$  кг/ч. Удельное сопротивление сокоотружечной массы сахарной свеклы  $\gamma = 9$  Ом·м, рабочая температура массы  $\Theta = 40$  °С, расстояние между фазным электродом и заземленным барабаном  $l = 0,03$  м, ширина канала  $h = 0,5$  м, диаметр барабана  $d_B = 0,7$  м, расстояние между фазными электродами  $x = 0,01$  м. Напряжение сети  $U = 220/380$  В.

**Решение.** Напряженность электрического поля между электродами, В/м

$$E = U_{\Phi} / l.$$

Продолжительность процесса электроплазмоллиза, с

$$t = \frac{3 \cdot 10^4 \gamma k_{\Theta} \cdot 10^8}{E^2 \Theta},$$

где  $k_{\Theta}$  - коэффициент токоустойчивости, характеризующий противодействие клеток силе тока, разрушающей оболочку и зависящий от вида растительного сырья (для яблок  $k_{\Theta} = 1$ ; для груш  $k_{\Theta} = 1,25$ ; для слив  $k_{\Theta} = 0,75$ ; для сахарной свеклы  $k_{\Theta} = 10$ ).

Скорость перемещения растительного сырья в электроплазмоллизаторе, м/с

$$g = \frac{Q}{3600 F \gamma_M},$$

где  $F = h \cdot l$  - площадь живого сечения потока сырья, м<sup>2</sup>;

$\gamma_M$  - плотность измельченной растительной массы, кг/м<sup>3</sup> (для свекольной стружки  $\gamma_M = 700$  кг/м<sup>3</sup>).

Длина зоны электрообработки, м

$$L = g \cdot t.$$

Частота вращения барабана, мин<sup>-1</sup>

$$n = \frac{60 \vartheta}{\pi d_{\text{в}}}$$

Площадь одного фазного электрода электроплазмолизатора, м<sup>2</sup>

$$S_{\Phi} = h (L - 2x) / 3.$$

Сила тока электроплазмолизатора в одной фазе, А

$$I_{\Phi} = \frac{U_{\Phi} S_{\Phi} k_{\text{к}}}{\gamma l},$$

где  $k_{\text{к}}$  – конструктивный коэффициент, учитывающий наличие сокомезговой или сокостружечной смеси за электродным пространством электродных камер (для барабанного электроплазмолизатора  $k_{\text{к}} = 1,1$ ).

Общая мощность трехфазного электроплазмолизатора, кВт

$$P = 3 U_{\Phi} I_{\Phi} \cdot 10^{-3}.$$

Расход электроэнергии на процесс электроплазмолиза, кВт·ч / кг

$$W_{\text{уд}} = P / Q.$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанного электроплазмолизатора.

**20. Система освещения телятника с лампами накаливания.** Выбрать тип светильников с лампами накаливания, определить их число и мощность ламп для телятника с заданными размерами в плане при высоте подвеса светильников  $h = 2,8$  м. Минимальная (нормативная) освещенность на полу в зоне кормушек  $E = 20$  лк.

**Решение.** Для освещения животноводческих помещений рекомендуют светильники типа НСП-01, НСП-02, ППД-200, ПСХ-60, источником света в которых служат лампы накаливания.

Число светильников, шт.

$$n_{\text{с}} = n_{\text{А}} \cdot n_{\text{В}},$$

где  $n_{\text{А}}$  – число рядов светильников;

$n_{\text{В}}$  – число светильников в ряду.

В свою очередь,

$$n_{\text{А}} = \frac{A - 2l}{L + l}; \quad n_{\text{В}} = \frac{B - 2l}{L + l},$$

где  $l = 0,3 \dots 0,5$  м – расстояние до первого светильника или ряда светильников от стены, м;

$L$  – расстояние между рядами светильников, м.

Расстояние между светильниками, м

$$L = \lambda h,$$

где  $h$  – расчетная высота подвеса, м;

$\lambda$  – относительное расстояние между светильниками (принимается  $\lambda = 1,5$ ).

Рассчитанные значения  $n_A$  и  $n_B$  необходимо округлить до целых чисел  $n'_A$  и  $n'_B$ .

Потребное число светильников для освещения телятника, шт.

$$n'_C = n'_A \cdot n'_B.$$

Расчетный световой поток лампы, лм

$$F_p = \frac{EFzk_3}{n_c \eta},$$

где  $E$  – минимальная (нормируемая) освещенность, лк;

$F$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности ( $z = 1,15$ );

$k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,15$ );

$\eta$  – коэффициент использования светового потока осветительной установки.

Коэффициент использования светового потока  $\eta$  зависит от типа светильника, коэффициентов отражения стен  $\rho_{ст} = 0,1$ , потолка  $\rho_{п} = 0,3$ , рабочей поверхности  $\rho_{р} = 0,1$  и индекса помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}.$$

При указанных коэффициентах отражения поверхностей помещения и индексе помещения коэффициент использования светового потока для светильника типа НСП-01 (по справочной литературе)  $\eta = 0,62$ . По результатам расчетов рекомендуется выбрать лампу накаливания типа Б-215-225 (БК-215-225), световой поток которой должен удовлетворять выражению (табл. 15)

$$0,9 F_p \leq F_{л} \leq 1,2 F_p.$$

Таблица 15 Параметры некоторых ламп накаливания общего назначения

Тип лампы	Расчетное напряжение, В	Мощность, Вт	Световой поток, лм
Б-215-225-40	220	40	415
БК-215-225-40	220	40	460
Б-215-225-60	220	60	715
БК-215-225-60	220	60	790
Б-215-225-75	220	75	950
БК-215-225-75	220	75	1020

Установленная мощность системы электрического освещения телятника, Вт

$$P_{уст} = n_c P_{л.}$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы освещения.

**21. Система освещения телятника с люминесцентными лампами.** Выбрать тип светильников с люминесцентными лампами, определить их число и мощность для телятника, имеющего заданные размеры в плане. Нормативная (минимальная) освещенность на полу в зоне кормушек  $E = 50$  лк, высота подвеса светильников  $h = 2,8$  м.

**Решение.** Для освещения животноводческих помещений рекомендуются светильники типа ПВЛМ, ЛДОР, ЛСП-01, ПВЛП с люминесцентными лампами. Светильники целесообразно разметить в три ряда ( $n_A = 3$ ).

Расчетный световой поток ламп в одном ряду, лм

$$F_p = \frac{EFz k_3}{n_A \eta}$$

где  $F$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент минимальной освещенности ( $z = 1,15$ );

$k_3$  – коэффициент запаса ( $k_3 = 1,15$ );

$\eta$  – коэффициент использования светового потока осветительной установки, зависящий от типа светильника, коэффициентов отражения стен  $\rho_{ст} = 0,1$ , потолка  $\rho_{п} = 0,3$ , рабочей поверхности  $\rho_{р} = 0,1$  и индекса помещения:

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

Из справочника для светильника типа ПВЛМ при указанных коэффициентах отражения поверхностей помещения и индексе помещения коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,61$ .

Выбираем светильник типа ПВЛМ-2-Х с двумя лампами, где Х – мощность люминесцентных ламп (табл. 16), световой поток которых удовлетворяет неравенству

$$0,9 F_p \leq 2 F_{\text{л}} \leq 1,2 F_p.$$

Т а б л и ц а 16. Параметры люминесцентных ламп низкого давления

Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Длина лампы, мм	Наружный диаметр, мм
ЛХР-40	40	2780	1214	40
ЛГБ-40	40	2780	1214	40
ЛБ-40	40	3000	1214	40
ЛБА-40	40	3С40	1214	40
ЛДЦ-65	65	3050	1514	40
ЛЕЦ-65	65	3450	1514	40

Число светильников в одном ряду, шт.

$$n_{\text{в}} = \frac{F_p}{2 F_{\text{л}}}.$$

Расчетное значение числа светильников в каждом ряду  $n$  округляется до целого значения  $n'_{\text{в}}$  в большую сторону.

Длина ряда светильников, м

$$L_{\text{св}} = L_1 n'_{\text{в}}.$$

Общее количество светильников при расстоянии между рядами 5 м

$$n_{\text{с}} = n_{\text{а}} \cdot n'_{\text{в}}.$$

Установленная мощность системы освещения с люминесцентными лампами, Вт

$$P_{\text{уст}} = k_{\text{п}} n_{\text{с}} m P_{\text{л}},$$

где  $m$  – число ламп в светильнике;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент потерь в пускорегулирующих устройствах, достигающих 20% мощности лампы ( $k_{\text{п}} = 1,2$ ).

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы освещения.

22. Система освещения производственного помещения. Рассчитать методом коэффициента использования светового потока параметры системы освещения производственного помещения с заданными размерами в плане при использовании светильников "Астра" с лампами накаливания. Высота помещения  $h = 4,2$  м, расстояние от потолка до подвеса светильников  $h_{рп} = 0,8$  м. Коэффициент отражения потолка  $\rho_{п} = 50\%$ , стен  $\rho_{с} = 30\%$ , рабочей поверхности  $\rho_{р} = 10\%$ . Нормативная (минимальная) освещенность  $E = 50$  лк.

**Решение.** В помещении с малым выделением пыли осветительную установку с лампами накаливания рассчитывают при коэффициенте запаса  $z = 1,3$ . В светильнике "Астра" косинусное светораспределение, поэтому оптимальное относительное расстояние между светильниками следует принять равным  $\lambda = 1,6$ .

Расчетная высота размещения светильников, м

$$h_p = h - h_{рп} - h_c,$$

где  $h_c$  – высота свеса светильников, м ( $h_c = 0,5$  м).

Расстояние между рядами светильников, м

$$L = h_p \cdot \lambda.$$

Расчетное число рядов светильников, шт.

$$n'_B = B / L.$$

Число светильников в ряду, шт.

$$n'_A = A / L.$$

Расчетное число рядов  $n'_B$  следует округлить до ближайшего большего значения  $n_B$ , число светильников в ряду  $n'_A$  – до ближайшего меньшего значения  $n_A$ .

Общее число светильников в помещении, шт.

$$N = n_A n_B.$$

Светильники следует размещать на плане помещения с учетом равномерности светового потока по освещаемой площади.

Индекс помещения

$$i = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}.$$

При коэффициенте отражения потолка  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ , стен  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ , рабочей поверхности  $\rho_{\text{р}} = 10\%$  и рассчитанном индексе помещения коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,6$ . Принимаем коэффициент минимальной освещенности  $z = 1,15$ .

Потребный световой поток ламп в каждом ряду светильников, лм

$$F_{\text{р}} = \frac{E F z k_3}{N \cdot \eta},$$

где  $F = A \cdot B$  – освещаемая площадь,  $\text{м}^2$ .

$k_3 = 1,3$  – коэффициент запаса.

Выбираем ближайшую стандартную лампу типа Г-215-225-Х (Х – мощность лампы, Вт (табл. 15). Отклонение светового потока от требуемого значения

$$\Delta F\% = \frac{F_{\text{л}} - F_{\text{р}}}{F_{\text{р}}} \cdot 100\%$$

не должно превышать допустимого значения  $\Delta F\% = -10 \dots +20\%$ .

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы освещения.

**23. Облучательная установка для коровника.** Рассчитать облучательную установку для коровника с заданными размерами. Высота помещения по оси здания составляет 5 м, высота стен – 3 м. Коровы содержатся в стойлах площадью  $a \times b = 1,2 \times 2,0$  м.

**Решение.** При стойловом содержании применяют подвижную облучательную установку типа УО-4. Поскольку для одной такой установки наибольшая длина обслуживаемого помещения равна 90 м, то в коровнике следует использовать по одной на два соседних ряда стойл.

Допускаем косинусное пространственное распределение эритемного потока под облучателем в пределах угла  $\alpha_{\text{к}} = 90^\circ$  (для установки УО-4 защитный угол  $\gamma = 25 \dots 30^\circ$ ). Коэффициент запаса принимаем равным  $k_3 = 2,26$  (в соответствии со сроком службы ламп ДРТ-400, которыми укомплектованы облучатели установки УО-4). Доза облучения коров  $A_3 = 270$  мэ·ч /  $\text{м}^2$ . Скорость перемещения облучателей над животными принимаем из паспортных данных установки ( $\mathcal{S} = 18$  м/ч). Число проходов облучателей над животными принимаем минимальное четное ( $n = 2$ ). Эритемный поток лампы ДРТ-400  $\Gamma_3 = 4750$  мэ·ч.

Сила излучения облучателя

$$I_{\gamma 0} = \frac{F_{\gamma} [(90 - \gamma) + (90 + \gamma) \cdot k_{\text{отр}}]}{\pi^2 \sqrt{45} \alpha_{\kappa}}$$

где  $k_{\text{отр}}$  – коэффициент отражения поверхности облучателя.  
Высота подвеса облучателей над коровами, м

$$h = 1,28 I_{\gamma 0} k_{\gamma} \sin \alpha_{\kappa} \frac{n}{F_{\gamma} \vartheta}$$

Высота подвеса облучателей над полом с учетом роста коров, м

$$h_{\text{п}} = h + 1,5 h_0$$

где  $h_0 = 1,2$  м – высота коровы.

Длина хода облучателей, м

$$L = B / N - 0,58h$$

где  $N$  – число облучателей в одном ряду вдоль помещения.

Средняя облученность, мэв/м<sup>2</sup>

$$E_{\text{ср}} = \frac{1,28 I_{\gamma 0}}{k_{\gamma} h \sqrt{(2h \cdot \text{tg} \alpha_{\kappa})^2 + 4h^2}}$$

Значение  $E_{\text{ср}}$  должно соответствовать допустимой облученности  $E_{\text{доп}} = 930$  мэв/м<sup>2</sup> по соотношению

$$k_{\gamma} Z F_{\text{ср}} \leq E_{\text{доп}}$$

где  $Z = 1,34$  – коэффициент минимальной облученности.

Время работы облучательной установки в сутки, ч

$$t_{\text{сут}} = 2 L / \vartheta$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы облучения.

**24. Облучательная установка для растений.** Рассчитать параметры блока люминесцентных ламп типа ЛР-40 и определить число таких блоков в облучательной установке, предназначенной для создания фитооблученности  $E_{\text{ф}} = 10$  фит/м<sup>2</sup> на площадке с заданными размерами  $A \times B$ . Размер одного блока  $a \times b = 1,5 \times 1,2$  м. Расстояние от ламп до облучаемой поверхности составляет 0,15 м. Вычислить удельную мощность облучательной установки.

**Решение.** Находим фитооблученность, создаваемую одной лампой, фит/м<sup>2</sup>,

$$\mu_{\Phi} = \frac{F_{\text{л}} k_{\Phi}}{a \cdot b},$$

где  $F_{\text{л}} = 3000$  лм – световой поток лампы ЛР-40;

$k_{\Phi} = 1,51 \cdot 10^{-3}$  фит/лм – коэффициент перевода светового потока источника в фитопоток.

Необходимая относительная облученность растений над блоком

$$e_{\Phi} = E_{\Phi} / \mu_{\Phi}.$$

По графической зависимости относительной облученности от числа ламп находим удельное число люминесцентных ламп в блоке шириной 1 м –  $n_1 = 16$  ламп.

Число ламп в блоке облучательной установки

$$N = n_1 / a.$$

Расстояние между лампами в блоке, м

$$l = \frac{a}{N-1}.$$

Так как длина лампы ЛР-40 со штырьками составляет 1214 мм, то расстояние между трубками соседних ламп в блоке будет равно 0,025 м. Размер поверхности, облучаемой одним блоком, по ширине принимается  $a + l$ , м; по длине –  $b + 0,025$ , м.

Размещаем блоки ламп над облучаемой поверхностью в два ряда торцами одна к другой. Число рядов ламп

$$n'_B = \frac{B}{b + 0,025}.$$

Число блоков в каждом ряду

$$n'_A = \frac{A}{a + l}.$$

Расчитанные значения  $n'_A$  и  $n'_B$  необходимо округлить до ближайших целых значений  $n_A$  и  $n_B$ .

Количество блоков ламп над облучаемой поверхностью

$$N_B = n_B \cdot n_A.$$

Число ламп по всей облучательной установке

$$N_{уст} = N \cdot N_B.$$

Общая мощность ламп установки, Вт

$$P' = P_{л} \cdot N_{уст}.$$

Потребляемая из сети мощность с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре, Вт

$$P = 1,25 P'.$$

Удельная мощность облучательной установки, Вт/м<sup>2</sup>

$$P_{уд} = \frac{P}{A \cdot B}.$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы облучения.

**25. Установка для обеззараживания воды лоткового типа.** Определить параметры установки с непогружными источниками бактерицидного излучения для обеззараживания воды из поверхностного источника при заданной производительности  $Q$ . Максимальное содержание бактерий в 1 л воды  $B_0 = 1000$ . В качестве отражателя используется полосовой алюминий с обработанной поверхностью.

**Решение.** Принимаем количество бактерий в литре до обработки  $B_0 = 1000$  шт., после обработки  $B = 1$ , коэффициент ослабления бактерицидного потока в воде  $\eta_B = 0,9$ .

В качестве источника излучения выберем лампу ДБ-15, имеющую бактерицидный поток  $F_{л} = 2,5$  Бакт. Лампы разместим в отражателях из обработанного алюминия с коэффициентом отражения  $k_{отр} = 0,6$  и углом  $\beta_{отр} = 180^\circ$ .

Коэффициент использования бактерицидного потока ламп

$$\eta_{ис} = \frac{\beta_{л} + k_{отр}(360 - \beta_{отр})}{360},$$

где  $\beta_{л}$  – угол падения потока излучения от лампы на облучаемую поверхность;

$\beta_{отр}$  – угол падения потока излучения на экран.

Необходимый бактерицидный поток, Бакт

$$F_b = \frac{Q \alpha_n k_b \lg \frac{B}{B_0}}{1563,4 \eta_{ис} \eta_B}$$

где  $k_b = 2500$  мкБакт·с / см<sup>2</sup> – коэффициент сопротивляемости бактерий, находящихся в воде;

$B$  – допустимое количество бактерий в 1 л после обработки (в расчете принимаем  $B = 1$ );

$B_0$  – исходное количество бактерий в 1 л воды;

$\eta_B = 0,9$  – коэффициент, учитывающий ослабление бактерицидного потока в толще воды по глубине  $h$ .

Необходимое число ламп

$$N' = F_b / F_{л}$$

Расчетное число ламп необходимо округлить до ближайшего целого значения.

Толщина обеззараживаемого слоя воды

$$h = - \frac{\lg(1 - \eta_1)}{\alpha_n \cdot \lg e}$$

где  $e$  – основание натурального логарифма.

Общую ширину лотков принимаем близкой к длине лампы ДБ-15  $b = 45$  см. Скорость движения воды в лотках, необходимая для хорошего перемешивания, должна быть не меньше 0,2 м/с. Принимаем  $g = 0,25$  м/с.

Ширина одного лотка, м

$$b'_1 = \frac{Q}{3600 \cdot h \cdot g}$$

Число лотков в установке, шт.

$$n' = b / b'_1$$

Расчетное число лотков  $n'$  следует округлить в большую сторону до ближайшего целого значения  $n$ .

Окончательно ширина одного лотка, м

$$b_1 = b / n$$

Из конструктивных соображений лампы устанавливаются на расстоянии  $l_{дл} = 12$  см одна от другой. Общая длина корпуса установки, м

$$L = N \cdot l_{дл}$$

В задаче необходимо записать основные данные рассчитанной системы обеззараживания.

## 2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Задача 1.** Выполнить подробный расчет электрифицированной производственной установки, содержащей трехфазный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель типа АИ или АИР и устанавливаемой на одном из участков сельскохозяйственного производства.

**Исходные данные для решения задачи.** Наименование производственной установки – кран-балка, грузоподъемность  $G = 500$  кг.

**Решение.** Мощность электродвигателя для привода механизма подъема

$$P_{\text{под}} = \frac{9,81(G + G_{\text{п}}) \vartheta_{\text{под}}}{\eta_{\text{под}}} \cdot 10^{-3} = \frac{9,81 \cdot (500 + 25) \cdot 0,2}{0,8} \cdot 10^{-3} = 1,288 \text{ кВт},$$

где  $G$  – масса поднимаемого груза, кг ( $G = 500$  кг);

$G_{\text{п}}$  – масса грузозахватного устройства, кг ( $G_0 = 25$  кг);

$\vartheta_{\text{под}}$  – скорость подъема груза, м/с ( $\vartheta_{\text{под}} = 0,2$  м/с);

$\eta_{\text{под}}$  – к.п.д. механизма подъема ( $\eta_{\text{под}} = 0,8$ ).

Мощность электродвигателя механизма горизонтального перемещения кран-балки с грузом

$$P_{\text{пер}} = 9,81 \frac{k(G + G_{\text{п}} + G_{\text{т}})(f_1 r + f_2 R) \vartheta_{\text{пер}}}{R \eta_{\text{пер}}} \cdot 10^{-3} =$$

$$= 9,81 \frac{1,3(500 + 25 + 1000)(0,01 \cdot 0,025 + 0,03 \cdot 0,1)0,35}{0,1 \cdot 0,8} \cdot 10^{-3} = 0,277 \text{ кВт},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий трение реборд колеса о рельсы ( $k = 1,3$ );

$G_{\text{т}}$  – масса механизма передвижения (тележки), кг (принимаем  $G_{\text{т}} = 1000$  кг);

$f_1$  – коэффициент трения скольжения шейки оси колеса в подшипнике ( $f_1 = 0,01$ );

$r$  – радиус шейки оси колеса, м ( $r = 0,025$  м);

$f_2$  – коэффициент трения качения колеса кран-балки ( $f_2 = 0,03$ );

$R$  – радиус колеса кран-балки, м ( $R = 0,1$  м);

$\dot{Q}_{\text{ПЕР}}$  – скорость перемещения тележки с грузом, м/с ( $\dot{Q}_{\text{ПЕР}} = 0,35$  м/с);

$\eta_{\text{ПЕР}}$  – к.п.д. механизма передвижения ( $\eta_{\text{ПЕР}} = 0,8$ ).

Рассчитанные значения мощности округляем до стандартных и выбираем по табл. 3 следующие электродвигатели при  $n_0 = 1500$  об/мин: для механизма подъема груза – АИР80В4, для механизма передвижения тележки – АИР80А4.

Параметры электродвигателя АИР80В4: номинальная мощность на валу двигателя  $P_H = 1,5$  кВт; частота вращения при номинальной нагрузке  $n_H = 1395$  об/мин; кратность пускового тока  $k = 5,5$ ; перегрузочная способность  $\mu_k = 2,2$ ; к.п.д. при номинальной нагрузке  $\eta_H = 78\%$ ; кратность пускового момента  $\mu_0 = 2,2$ ; номинальный коэффициент мощности  $\cos \varphi_H = 0,83$ .

Параметры электродвигателя АИР80А4: номинальная мощность на валу двигателя  $P_H = 1,1$  кВт; частота вращения при номинальной нагрузке  $n_H = 1395$  об/мин; кратность пускового тока  $k = 5,5$ ; перегрузочная способность  $\mu_k = 2,2$ ; к.п.д. при номинальной нагрузке  $\eta_H = 75\%$ ; кратность пускового момента  $\mu_0 = 2,1$ ; номинальный коэффициент мощности  $\cos \varphi_H = 0,81$ .

**Задача 2.** Для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя переменного тока номинальной мощностью  $P_H$ , включенного на номинальное напряжение сети  $U_H = 380$  В, определить: номинальный вращающий момент  $M_{H, \text{ДВ}}$ , Н·м; пусковой момент  $M_P$ , Н·м; максимальный (критический) момент  $M_{\text{КР}}$ , Н·м; номинальный ток  $I_H$ , А; пусковой ток  $I_P$ , А; скольжение при номинальной нагрузке  $s_H$ , %; потребляемую из сети мощность  $P_{1H}$  при номинальной нагрузке, кВт.

Рассчитать и построить на одном графике механические характеристики электродвигателя  $M_{\text{ДВ}} = f_1(n)$  и рабочей машины (вентилятора)  $M_{\text{С, ПР}} = f_2(n)$ , приведенные к частоте вращения вала электродвигателя. По построенному графику определить частоту вращения и вращающий момент электродвигателя при установившемся режиме работы системы «электродвигатель – рабочая машина».

**Исходные данные для решения задачи.** Тип двигателя – 4А80А4У3; номинальная мощность на валу двигателя  $P_H = 1,1$  кВт; частота вращения при номинальной нагрузке  $n_H = 1420$  об/мин; кратность пускового тока  $k = I_P / I_H = 5$ ; перегрузочная способность  $\mu_k = M_{\text{КР}} / M_{H, \text{ДВ}} = 2,3$ ; к.п.д. при номинальной нагрузке  $\eta_H = 75\%$ ; кратность пускового момента  $\mu_0 = M_P / M_{H, \text{ДВ}} = 2,0$ ; номинальный ко-

коэффициент мощности  $\cos \varphi_H = 0,81$ ; номинальный момент рабочей машины  $M_{с.н} = 22 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; номинальная частота вращения рабочей машины  $n_{н.м} = 473 \text{ об/мин}$ ; номинальный момент рабочей машины  $M_{с.н} = 20 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ; коэффициент полезного действия передачи  $\eta_{пер} = 0,90$ .

**Решение.** Номинальный вращающий момент электродвигателя

$$M_{н.дв} = 9,55 \frac{P_H}{n_{н.дв}} = 9,55 \frac{1100}{1420} = 7,4 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $P_H$  – номинальная мощность на валу электродвигателя, кВт;

$n_{н.дв}$  – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Пусковой момент электродвигателя

$$M_{п} = \mu_0 \cdot M_{н.дв} = 2 \cdot 7,4 = 14,8 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $\mu_0$  – кратность пускового момента.

Максимальный (критический) момент двигателя

$$M_{кр} = \mu_k \cdot M_{н.дв} = 2,3 \cdot 7,4 = 17 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где  $\mu_k$  – перегрузочная способность.

Номинальный ток электродвигателя

$$I_H = \frac{1000 P_H}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{1000 \cdot 1,1}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,75 \cdot 0,81} = 2,75 \text{ А},$$

где  $U_L = U_H$  – линейное напряжение сети, В;

$\eta_H$  – номинальный к.п.д. электродвигателя;

$\cos \varphi_H$  – номинальный коэффициент мощности электродвигателя.

Номинальное скольжение электродвигателя

$$s_H = (n_0 - n_{н.дв}) / n_0 = (1500 - 1420) / 1500 = 0,053,$$

где  $n_0$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора:

$$n_0 = 60 f / p = 60 \cdot 50 / 2 = 1500 \text{ об/мин};$$

$f$  – частота тока питающей сети, Гц;

$p$  – число пар полюсов статора.

Мощность, потребляемая электродвигателем из сети при номинальной нагрузке,

$$P_1 = P_H / \eta_H = 1,1 / 0,75 = 1,47 \text{ кВт}.$$

Для построения механической характеристики  $M_{дв} = f(s)$  момент электродвигателя вычислим по упрощенному выражению для двигательного режима:

$$M_{дв} = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}},$$

где  $s_{кр}$  – критическое скольжение:

$$s_{кр} = s_H \left( \mu_k + \sqrt{\mu_k^2 - 1} \right) = 0,053 \left( 2,3 + \sqrt{2,3^2 - 1} \right) = 0,232.$$

Получим при  $s = 0$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0}{0,232} + \frac{0,232}{0}} = 0;$$

при  $s = s_H = 0,053$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,053}{0,232} + \frac{0,232}{0,053}} = 7,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 0,1$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,1}{0,232} + \frac{0,232}{0,1}} = 12,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 0,2$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,2}{0,232} + \frac{0,232}{0,2}} = 16,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = s_{кр} = 0,232$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,232}{0,232} + \frac{0,232}{0,232}} = 17 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 0,3$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,3}{0,232} + \frac{0,232}{0,3}} = 16,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 0,5$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,5}{0,232} + \frac{0,232}{0,5}} = 13,0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 0,7$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{0,7}{0,232} + \frac{0,232}{0,7}} = 10,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

при  $s = 1$

$$M_{дв} = \frac{2 \cdot 17}{\frac{1}{0,232} + \frac{0,232}{1}} = 7,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Передаточное число передачи от двигателя к рабочей машине

$$i = n_H / n_{M.H} = 1420 / 473 = 3.$$

Частота вращения вала электродвигателя, об/мин

$$n = n_0 (1 - s).$$

Получим при $s = 0$	$n = 1500 (1 - 0) = 1500 \text{ об/мин};$
при $s = s_H = 0,053$	$n = 1500 (1 - 0,053) = 1420 \text{ об/мин};$
при $s = 0,1$	$n = 1500 (1 - 0,1) = 1350 \text{ об/мин};$
при $s = 0,2$	$n = 1500 (1 - 0,2) = 1200 \text{ об/мин};$
при $s = s_{кр} = 0,232$	$n = 1500 (1 - 0,232) = 1152 \text{ об/мин};$
при $s = 0,3$	$n = 1500 (1 - 0,3) = 1050 \text{ об/мин};$
при $s = 0,5$	$n = 1500 (1 - 0,5) = 750 \text{ об/мин};$
при $s = 0,7$	$n = 1500 (1 - 0,7) = 450 \text{ об/мин};$
при $s = 1$	$n = 1500 (1 - 1) = 0 \text{ об/мин}.$

Приведенный момент сопротивления рабочей машины (вентилятора) определяем по выражению

$$M_{с.пр} = M_{o.пр} + (M_{с.н.пр} - M_{o.пр}) \left[ \frac{n_0}{n_{дв}} (1 - s) \right]^\alpha,$$

где  $M_{o.пр}$  – начальный момент сопротивления механизма, приведенный к валу двигателя, Н·м;

$M_{с.н.пр}$  – номинальный момент сопротивления механизма, приведенный к валу двигателя, Н·м;

$\alpha$  – показатель степени механической характеристики рабочей машины (для вентилятора  $\alpha = 2$ ).

Получим:

$$M_{с.пр} = \frac{M_o}{i \cdot \eta_{пер}} = \frac{0,2 \cdot M_{с.н}}{i \cdot \eta_{пер}} = \frac{0,2 \cdot 20}{3 \cdot 0,9} = 1,48 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{с.р.п} = \frac{M_{с.н}}{i \cdot \eta_{пер}} = \frac{20}{3 \cdot 0,9} = 7,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

При $s = 0$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0)^2 = 7,73;$
при $s = s_H = 0,053$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,053)^2 = 7,09;$
при $s = 0,1$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,1)^2 = 6,54;$
при $s = 0,2$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,2)^2 = 5,48;$
при $s = s_{кр} = 0,232$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,232)^2 = 5,17;$
при $s = 0,3$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,3)^2 = 4,54;$
при $s = 0,5$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,5)^2 = 3,04;$
при $s = 0,7$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 0,7)^2 = 2,04;$
при $s = 1$	$M_{с.п.р} = 1,48 + 6,25 (1 - 1)^2 = 1,48.$

По результатам расчетов (табл. 17) строим совмещенную механическую характеристику (рис. 8) электродвигателя  $M_{дв} = f_1(n)$  и рабочей машины  $M_{с.п.р} = f_2(n)$ .

Т а б л и ц а 17. Результаты расчета момента двигателя и приведенного момента сопротивления рабочей машины

$s$	0	$s_H = 0,053$	0,1	0,2	$s_{кр} = 0,232$	0,3	0,5	0,7	1
$n$ , об/мин	1500	1421	1350	1200	1152	1050	750	450	0
$M_{дв}$ , Н · м	0	7,4	12,4	16,8	17,0	16,5	13,0	10,2	7,5
$M_{с.п.р}$ , Н · м	7,73	7,09	6,54	5,48	5,17	4,54	3,04	2,04	1,48

При скольжении двигателя  $s > s_{кр}$  истинные значения момента  $M_{дв}$  получим, соединив прямой линией точки пускового момента ( $s = 1$ ,  $M_{дв} = M_H$ ) и максимального (критического) момента ( $s = s_{кр}$ ,  $M_{дв} = M_{кр}$ ).

По графику механических характеристик  $M_{дв}$  и  $M_{с.п.р}$  (рис. 8) определяем вращающий момент  $M_{дв} = 6,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и угловую скорость  $\omega = 149 \text{ с}^{-1}$  (частота вращения  $n = 1424 \text{ об/мин}$ ), соответствующие установившемуся режиму работы системы «электродвигатель – рабочая машина».

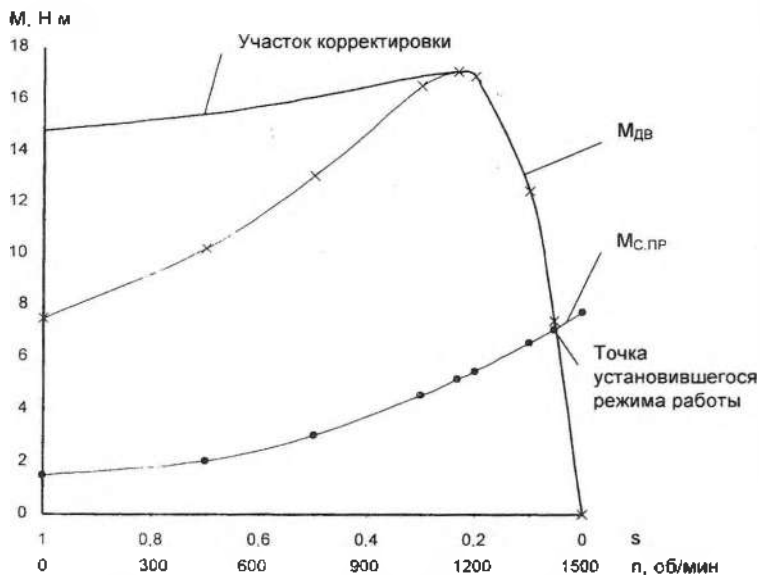


Рис 8 Графики механических характеристик  $M_{дв}$  и  $M_{с.пр.}$ .

**Задача 3.** Определить постоянную времени нагрева  $T_{нагр}$ , постоянную времени охлаждения  $T_{охл}$  и установившееся превышение температуры двигателя  $t_{уст}$  над окружающей средой при номинальной длительной нагрузке. Построить кривые нагрева и охлаждения электродвигателя по шести точкам. Графически определить постоянные времена нагрева  $T_{нагр}$  и охлаждения  $T_{охл}$ .

**Исходные данные для решения задачи.** Тип двигателя – АО2-41-4; номинальная мощность на валу двигателя  $P_H = 4$  кВт; коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке  $\eta_H = 85\%$ ; теплоемкость двигателя  $C = 6,2$  кДж/°С, теплоотдача при нагреве (работе)  $A_{нагр} = 4,7$  Дж/(с·°С), теплоотдача при охлаждении (в отключенном состоянии)  $A_{охл} = 4,3$  Дж/(с·°С).

**Решение.** Постоянная времени нагрева

$$T_{нагр} = C / A_{нагр} = 6,2 \cdot 10^3 / 4,7 = 1320 \text{ с} = 22 \text{ мин},$$

где  $C$  – теплоемкость электродвигателя, Дж/°С;

$A_{\text{НАГР}}$  – теплоотдача электродвигателя при нагреве (работе), Дж/(с·°С).

Постоянная времени охлаждения

$$T_{\text{ОХЛ}} = C / A_{\text{ОХЛ}} = 6,2 \cdot 10^3 / 4,3 = 1442 \text{ с} = 24 \text{ мин},$$

где  $A_{\text{ОХЛ}}$  – теплоотдача электродвигателя при охлаждении (в отключенном состоянии), Дж/(с·°С).

Установившееся превышение температуры электродвигателя  $\tau_{\text{УСТ}}$  над окружающей средой при номинальной длительной нагрузке и при его охлаждении, °С

$$\tau_{\text{УСТ}} = Q / A_{\text{НАГР}},$$

где  $Q$  – потери тепла, Дж/с.

В свою очередь,

$$Q = k \cdot P_{\text{Н}} \left( \frac{1}{\eta_{\text{Н}}} - 1 \right) = 1 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{1}{0,85} - 1 \right) = 728,5 \text{ Дж/с.}$$

где  $k = 1$  – коэффициент пропорциональности;

$P_{\text{Н}}$  – номинальная мощность двигателя, Вт.

$$\tau_{\text{УСТ}} = 728,5 / 4,7 = 155 \text{ °С.}$$

Графики нагрева  $\tau_{\text{НАГР}} = \tau_{\text{УСТ}} \left( 1 - e^{-t/T_{\text{НАГР}}} \right)$  и охлаждения

$\tau_{\text{ОХЛ}} = \tau_{\text{УСТ}} \cdot e^{-t/T_{\text{ОХЛ}}}$  в именованных единицах (рис. 9, 10) строим по шести расчетным значениям  $T_{\text{НАГР}}$  и  $T_{\text{ОХЛ}}$  (табл. 18).

Т а б л и ц а 18. Расчетные данные для построения графиков нагрева и охлаждения электродвигателя

$t/T_{\text{НАГР}}; t/T_{\text{ОХЛ}}$	0	1	2	3	4	5
$t, \text{ мин}$	0	22	44	66	88	110
$1 - e^{-t/T_{\text{НАГР}}}$	0	0,632	0,865	0,950	0,980	0,993
$\tau_{\text{НАГР}}, \text{ °С}$	0	87,5	134	147	152,2	153,9
$t, \text{ мин}$	0	24	48	72	96	120
$e^{-t/T_{\text{ОХЛ}}}$	1	0,368	0,315	0,050	0,020	0,007
$\tau_{\text{ОХЛ}}, \text{ °С}$	155	57,1	21,0	7,8	2,8	1,1

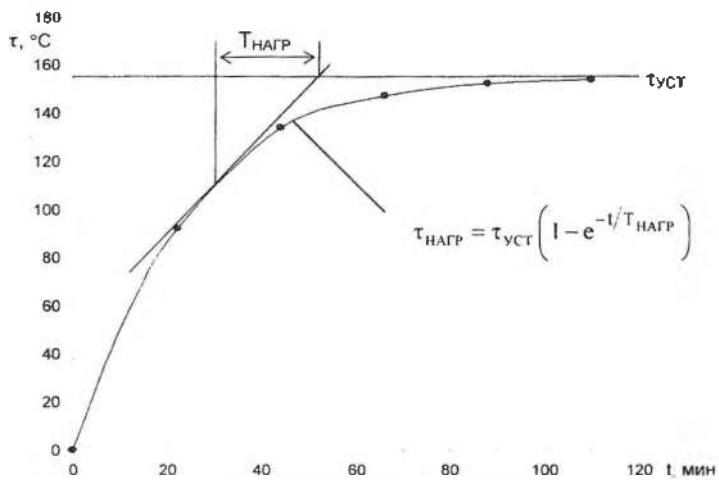


Рис. 9. Кривая нагрева электродвигателя.

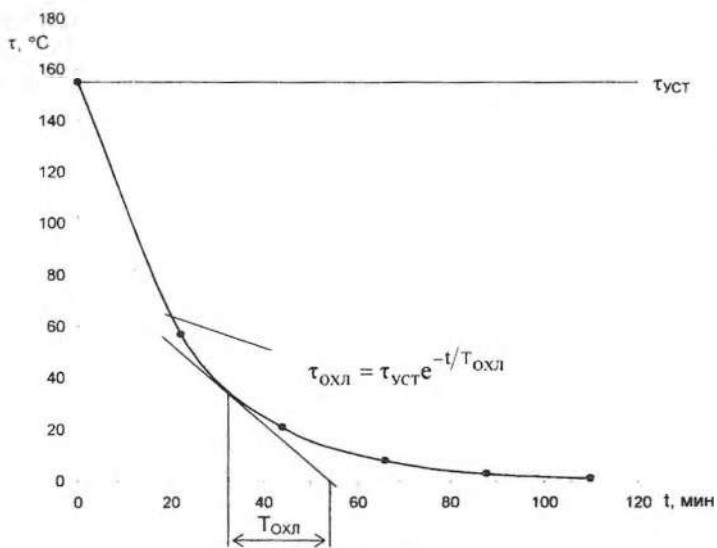


Рис. 10. Кривая охлаждения  $\tau = f_2(t)$  электродвигателя.

Определение значений  $T_{\text{НАГР}}$  и  $T_{\text{ОХЛ}}$  по графикам (рис. 9, 10) будем производить методом касательных. Для этого в произвольной точке графика проводим касательную линию и определяем разность координат между точкой касания и точкой пересечения касательной с линией  $t_{\text{УСТ}}$  или осью  $t$ . Полученные значения составляют  $T_{\text{НАГР}} = 22$  мин и  $T_{\text{ОХЛ}} = 24$  мин.

**Задача 4.** Для электрического двигателя, принятого в решении задачи 3, выбрать аппараты управления и защиты: автоматический выключатель, магнитный пускатель и тепловое реле.

**Решение.** Рассчитаем параметры и выберем пускозащитную аппаратуру для обоих двигателей электропривода кран-балки.

Номинальный ток электродвигателя АИР80В4

$$I_{\text{н.дв}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}}} = \frac{1,5 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,78} = 3,5 \text{ А,}$$

где  $P_{\text{н}}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{\text{н}}$  – номинальное (линейное) напряжение сети, В ( $U_{\text{н}} = U_{\text{л}} = 380$  В);

$\cos \varphi_{\text{н}}$  – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_{\text{н}}$  – номинальный к.п.д.

Номинальный ток электродвигателя АИР80А4

$$I_{\text{н.дв}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} \eta_{\text{н}}} = \frac{1,1 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,81 \cdot 0,75} = 2,75 \text{ А.}$$

Номинальный ток электроустановки (кран-балки) равен сумме номинальных токов, потребляемых электродвигателями,

$$I_{\text{н.уст}} = \Sigma I_{\text{н.дв}} = 3,5 + 2,75 = 6,25 \text{ А.}$$

Пусковой ток электродвигателя АИР80В4

$$I_{\text{п.дв}} = I_{\text{н.дв}} \cdot k = 3,5 \cdot 5,5 = 19,3 \text{ А,}$$

где  $k$  – кратность пускового тока.

Пусковой ток электродвигателя АИР80А4

$$I_{\text{п.дв}} = I_{\text{н.дв}} \cdot k = 2,75 \cdot 5,5 = 15,1 \text{ А.}$$

Для защиты электроустановки от перегрузок и коротких замыканий используем автоматический выключатель серии АЕ2000.

Номинальное напряжение автоматического выключателя  $U_{\text{н.ав}} = 380$  В по условию

$$U_{\text{Л.В}} \geq U_{\text{Н.УСТ.}}$$

где  $U_{\text{Н.УСТ}}$  – напряжение питания электроустановки ( $U_{\text{Н.УСТ}} = 380 \text{ В}$ ).

Номинальный ток уставки тепловых расцепителей выбираем по условию

$$I_{\text{Н.Т.Р}} \geq (1,1 \dots 1,3) \Sigma I_{\text{Н.УСТ.}}$$

Получим

$$I_{\text{Н.Т.Р}} \geq 1,2 \Sigma I_{\text{Н.УСТ}} = 1,2 \cdot 6,25 = 7,5 \text{ А.}$$

Принимаем  $I_{\text{Н.Т.Р}} = 8 \text{ А}$ .

Ток уставки электромагнитного расцепителя максимального значения выбираем по условию

$$I_{\text{Н.ЭЛ.Р}} \geq (1,1 \dots 1,6) [\Sigma I_{\text{Н.ДВ}} + (I_{\text{П.ДВ.МАКС}} - I_{\text{Н.ДВ.МАКС}})],$$

где  $\Sigma I_{\text{Н.ДВ}}$  – сумма номинальных токов двигателей;

$I_{\text{П.ДВ.МАКС}} - I_{\text{Н.ДВ.МАКС}}$  – разность значений пускового и номинального токов для электродвигателя, имеющего наибольшую мощность.

В нашем случае  $I_{\text{П.ДВ.МАКС}} = 19,3 \text{ А}$ ,  $I_{\text{Н.ДВ.МАКС}} = 3,5 \text{ А}$ , тогда

$$I_{\text{Н.ЭЛ.Р}} \geq 1,5 [6,25 + (19,3 - 3,5)] = 33,1 \text{ А.}$$

Требуемая кратность тока отсечки электромагнитного расцепителя

$$k_3 \geq I_{\text{Н.ЭЛ.Р}} / I_{\text{Н.Т.Р}} = 33,1 / 8 = 4,1.$$

Принимаем  $k_3 = 5$ , тогда ток отсечки

$$I_{\text{Н.ЭЛ.Р}} = k_3 I_{\text{Н.Т.Р}} = 5 \cdot 8 = 40 \text{ А.}$$

Выбор магнитных пускателей и тепловых реле производим для каждого из электродвигателей, имеющихся на электроустановке. Предполагается, что пускозащитная аппаратура устанавливается в пылевлагозащищенном шкафу управления.

Для электродвигателя АИР80В4, установленного на подъемном механизме кран-балки, принимаем реверсивный магнитный пускатель серии ПМЕ-113 открытого исполнения (передаваемая мощность составляет 4 кВт, номинальный ток главных контактов – 10А). Для защиты электродвигателя от перегрузок принимаем тепловое реле типа ТРН-10.

Номинальный ток тепловых расцепителей определим по условию

$$I_{\text{Н.Т.Р}} = (1,2 \dots 1,3) I_{\text{Н.ДВ.}}$$

Получим

$$I_{н.тр} = 1,25 \cdot 3,5 = 4,38 \text{ А.}$$

Принимаем номинальный ток тепловых расцепителей  $I_{н.тр} = 5 \text{ А}$ .

Для электродвигателя АИР80А4, установленного на механизме передвижения кран-балки, принимаем неререверсивный магнитный пускатель серии ПМЕ-013 открытого исполнения (передаваемая мощность составляет 1,1 кВт, номинальный ток главных контактов – 3А). Для защиты электродвигателя от перегрузок принимаем тепловое реле типа ТРН-10.

Номинальный ток тепловых расцепителей определим по условию

$$I_{н.тр} = (1,2 \dots 1,3) I_{н.дв.}$$

Получим

$$I_{н.тр} = 1,25 \cdot 2,75 = 3,44 \text{ А.}$$

Принимаем номинальный ток тепловых расцепителей  $I_{н.тр} = 4 \text{ А}$ .

*Примечание.* В приведенных примерах решения задач использованы типы и параметры электродвигателей и пускозащитной аппаратуры по табл. 2, 9 и 10 настоящих методических указаний. При использовании других справочных данных ссылка на литературный источник в контрольной работе обязательна.

**Задача 5. Установка для обогрева гнезда поросят.** Определить необходимую мощность, выбрать лампу накаливания и определить высоту подвеса светильника «Астра-12» с этой лампой для обогрева гнезда поросят в возрасте 1–30 суток при содержании на глубокой подстилке и температуре воздуха в помещении  $\Theta_{воз} \approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Удельная мощность для облучения животных в первые дни жизни,  $\text{Вт/м}^2$

$$E_x = A_q - \alpha \Theta_{воз},$$

где  $A_q$  – постоянная потеря тепла, зависящая от вида животных и способа содержания (для поросят на глубокой подстилке  $A_q = 188 \text{ Вт/м}^2$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи тела животного, принимаем  $\alpha = 9,5 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ .

$$E_x = 188 - 9,5 \cdot 10 = 93 \text{ Вт/м}^2.$$

Размеры обогреваемой зоны светильника «Астра-12» (по справочным данным)  $F = 0,5 \text{ м}^2$ . По кривым (см. рис. 7) для  $F = 0,5 \text{ м}^2$  опреде-

ляем облученность, создаваемую светильником «Астра-12» с лампой мощностью 100 Вт, и высоту его подвеса:  $E_{100} = 50 \text{ Вт/м}^2$  и  $h = 0,56 \text{ м}$ .

Потребная мощность лампы, Вт

$$P_{\text{л}} = \frac{100E_{\text{x}}}{E_{100} \eta_{\text{ИК}} \eta_{\text{СФ}}},$$

где  $\eta_{\text{ИК}}$  – доля мощности лампы, преобразуемая в лучистый поток (для ламп накаливания  $\eta_{\text{ИК}} = 0,8 \dots 0,9$ );

$\eta_{\text{СФ}}$  – доля излучения, пропускаемая светофильтром, который применяется для поглощения видимого участка спектра (без светофильтра  $\eta_{\text{СФ}} = 1$ ).

Получим:

$$P_{\text{л}} = \frac{100 \cdot 93}{50 \cdot 0,85 \cdot 1} = 218,8 \text{ Вт}.$$

По каталогу выбираем ближайшую большую по мощности лампу типа ИКЗК-220-250 ( $P_{\text{л}} = 250 \text{ Вт}$ ).

Отклонение полученной мощности от расчетной

$$\Delta P\% = \frac{P_{\text{л}} - P'_{\text{л}}}{P'_{\text{л}}} \cdot 100\% = \frac{250 - 218,8}{250} \cdot 100\% = 12,8\%.$$

Величина  $\Delta P\%$  меньше допустимой 20% для источников оптического излучения, следовательно, лампа ИКЗК-220-250 мощностью  $P_{\text{л}} = 250 \text{ Вт}$  удовлетворяет требованиям.

Суточный расход энергии одной лампой

$$A = 24 \cdot 218,8 \cdot 10^{-3} = 5,25 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Руслан В. И. Аграрная энергетика: оборудование, экономия энергоресурсов и прогноз развития / В. И. Руслан. – Мн., 2001. – 48 с.
2. Чиликин М. Г. Общий курс электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергониздат, 1981. – 576 с.
3. Москаленко В. В. Электрический привод / В. В. Москаленко. – М.: Высшая школа, 1991. – 430 с.
4. Ильинский Н. Ф. Общий курс электропривода / Н. Ф. Ильинский, В. Ф. Каченко. – Энергониздат, 1992. – 544 с.
5. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок / И. Ф. Кудрявцев и др. – М.: Агропромиздат, 1988. – 479 с.
6. Электротехнология / А. М. Басов и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
7. Электронагревательные установки в сельскохозяйственном производстве / В. Н. Расстригин и др. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.
8. Бородин И. Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И. Ф. Бородин, Н. И. Кирилин. М.: Колос, 1977. – 368 с.
9. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Н. М. Неделько. – М.: Агропромиздат, 1986. – 368 с.
10. Сырых Н. Н. Эксплуатация сельских электроустановок / Н. Н. Сырых. – М.: Агропромиздат, 1986. – 255 с.
11. Олейник В. С. Практикум по автоматизированному электроприводу / В. С. Олейник. – М.: Колос, 1978. – 224 с.
12. Гайдук В. Н. Практикум по электротехнологии / В. Н. Гайдук, В. Н. Шмигель. – М.: Агропромиздат, 1989. – 175 с.
13. Басов В. И. Практикум по электрическому освещению и облучению / В. И. Басов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 175 с.
14. Елисеев В. А. Справочник по автоматизированному электроприводу / В. А. Елисеев, А. В. Шикянский. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.
15. Применение электрической энергии в сельскохозяйственном производстве: справочник / под ред. П. Н. Листова. – М.: Колос, 1974. – 623 с.
16. Кисаримов Р. А. Справочник электрика / Р. А. Кисаримов. – М.: РадиоСофт, 2001. – 320 с.