

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра электротехнологии

УДК 631.371:621.31(07)
ББК 40.76я7
П 79

Авторы:
кандидат технических наук, доцент П. В. Кардашов,
кандидат технических наук, доцент И. Б. Дубодел,
старший преподаватель Е. Н. Музыченко

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент В. К. Мороз;
главный инженер Слуцких элетросетей С. Г. Шмельков

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства в качестве
практикума для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности 1-74 06 06 Материально-
техническое обеспечение агропромышленного комплекса*

П79

Проектирование энергетических установок: практикум /
П. В. Кардашов, И. Б. Дубодел, Е. Н. Музыченко. – Минск :
БГАТУ, 2011. – 180 с.
ISBN 978-985-519-477-5.

Практикум содержит методики и примеры решения задач, справочный материал, соответствующий учебной программе по дисциплине «Проектирование энергетических установок». Издание поможет закрепить теоретический материал курса.
Предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение агропромышленного комплекса.

УДК 631.371:621.31(07)
ББК 40.76я7

Минск
БГАТУ
2012

ISBN 978-985-519-477-5

© БГАТУ, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование энергетических установок – это дисциплина, изучающая способы и устройства использования электрической энергии для осуществления технологических процессов.

Изучение дисциплины «Проектирование энергетических установок» имеет большое значение в подготовке специалистов, способных грамотно проектировать и эксплуатировать современные электроустановки, оснащенные электроприводами и другими устройствами, повышающими эффективность технологических машин, сельскохозяйственных и коммунальных объектов.

Расширение использования электрической энергии в растениеводстве, разработка и проектирование сельскохозяйственной техники для растениеводства требуют систематизации методов расчета процессов и оборудования, обобщения справочных материалов. Этому и посвящается данное пособие.

Авторы ориентировались на методики решения задач проектирования, наиболее представленные в литературе и апробированные в течение последних лет в научных, педагогических и инженерных коллективах, стремясь в полной мере представить расчетную составляющую разработки процессов сельскохозяйственного производства.

Структура и содержание пособия соответствуют программе по дисциплине «Проектирование энергетических установок» по специальности «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники» и специализации «Проектирование и производство сельскохозяйственной техники в растениеводстве».

Методики и примеры решения задач предназначены, в первую очередь, для студентов. Практические расчеты способствуют закреплению теоретических знаний и подготавливают будущих специалистов к самостоятельному проектированию различных электрифицированных объектов.

Авторы выражают благодарность рецензентам – кандидату технических наук, доценту В. К. Морозу и главному инженеру Слуцких электрических сетей С. Г. Шмелькову за полезные замечания и советы, способствующие улучшению содержания практикума.

1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ С НЕИЗМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Задача расчета. Рассчитать и выбрать электродвигатель для продолжительного режима работы с неизменной нагрузкой. Проверить выбранный электродвигатель на перегрузочную способность и по условиям пуска.

Исходные данные. Мощность электродвигателя и его характеристики.

Последовательность расчета.

1. Выбор электродвигателя по мощности с учетом продолжительного режима работы с неизменной нагрузкой.

2. Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и перегрузочной способности.

Выбор электродвигателя по мощности

• При выборе электродвигателя по мощности руководствуются нагрузочной диаграммой $P_1 = f(t)$ и тахограммой $\omega = f_2(t)$. По нагрузочной диаграмме определяют наибольшую нагрузку, по нагрузочной диаграмме и тахограмме – режим работы электродвигателя.

• Если режим работы электродвигателя продолжительный при постоянной нагрузке, то мощность электродвигателя выбирается из условия:

$$P_n \geq P'_c, \quad (1.1)$$

где P'_c – приведенная к валу электродвигателя мощность рабочей машины;

$$P'_c = P_c / \eta_{\text{пер}}, \quad (1.2)$$

где P_c – мощность на валу рабочей машины;

$\eta_{\text{пер}}$ – КПД передачи.

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

• Выбранный по мощности электродвигатель проверяется по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

Проверка по условиям пуска:

$$M_n u^2 \geq 1,3 M_{\text{со}}, \quad (1.3)$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{см}}, \quad (1.4)$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}}, \quad (1.5)$$

где $M_n, M_{\text{мин}}$ – пусковой и минимальный при пуске моменты электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{со}}, M_{\text{см}}$ – момент, требуемый для вращения рабочей машины при скорости $\omega = 0$ и $\omega = \omega_{\text{мин}}$, соответствующий минимальному моменту электродвигателя. Обычно принимают $\omega_{\text{мин}} = 0,15\omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад. Значение $M_{\text{со}}$ и $M_{\text{см}}$ находят по механической характеристике рабочей машины;

$t_{\text{п.нагр}}$ и $t_{\text{п.доп}}$ – время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с;

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (1.6)$$

где $\tau_{\text{раб}}$ – берется из таблицы 1.1;

V – скорость роста температуры при пуске, °С/с (см. приложения, таблицы П 1.3; П 2.1; П 3.1);

$u = U/U_n$ – относительное снижение напряжения в сети в период пуска; если u не задано, то принимают $u \approx 0,9$.

$$M_n = \mu_n M_n; \quad (1.7)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_n, \quad (1.8)$$

где μ_n и $\mu_{\text{мин}}$ – кратность пускового и минимальных моментов электродвигателя (см. приложения, таблицы П 1.2; П 1.3; П 2.1; П 3.1).

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (1.9)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;

$\omega_n = (\pi n_n)/30$, где n_n – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Таблица 1.1

Классы изоляции обмоток электродвигателей 4А и АИР и допустимое превышение температуры обмотки

Параметры	Для класса изоляции			
	Е	В	F	Н
Предельно допустимое превышение температуры $\tau_{\text{доп}}$ (максимальное значение)	80	90	115	140
Расчетная рабочая температура превышения $\tau_{\text{раб}}$ (среднее значение)	75	80	100	125
Высота оси вращения электродвигателя, мм	–	45...63	71...335	–

Если задано в каталоге номинальное скольжение S_n , то

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n). \quad (1.10)$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению:

$$t_{\text{п.нагр}} \approx \frac{J_{\text{пр}} \omega_n}{0,33(M_n + M_{\text{мин}} + M_k) - M_{\text{с.ср}}}, \quad (1.11)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции электропривода, кг·м²;

$M_{\text{с.ср}}$ – средний (за время пуска) момент сопротивления рабочей машины по ее механической характеристике. Если $M_c = f(\omega)$ неизменный во время пуска, то $M_{\text{с.ср}} = M_c$; если $M_c = f(\omega)$ линейно возрастает от $M_{\text{с0}}$ до $M_{\text{с.ном}}$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,5 \cdot (M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$; если $M_c = f(\omega)^2$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,33 \cdot (M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$;

M_k – критический момент электродвигателя, Н·м.

$$M_k = \mu_k M_n, \quad (1.12)$$

где μ_k – кратность критического момента электродвигателя.

• Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{\text{макс.нагр}}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию:

$$M u^2 \geq 1,3 \cdot M'_{\text{макс.нагр}}, \quad (1.13)$$

где u – относительное снижение напряжения в сети, $u = 0,95$;

$M'_{\text{макс.нагр}}$ – максимальный момент нагрузки; определяется по графику $M_c = f(\omega)$ при скорости ω_k или упрощенно по формуле:

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}} \quad (1.14)$$

Если условия (1.13) и (1.3)...(1.5) не соблюдаются, то выбирается электродвигатель на 1 ступень большей мощности и проверку повторяют.

Иногда условия (1.3)...(1.5) являются определяющими при выборе мощности (при тяжелых условиях пуска и при неравномерной нагрузке с пиками момента или мощности).

Пример 1.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма зерноочистительной машины, работающего в продолжительном режиме с неизменной нагрузкой. $P_c = 2,3$ кВт. КПД клиноременной передачи равен 0,85.

Мощность на валу рабочей машины 800 Вт. Номинальная частота вращения вала рабочей машины 420 мин⁻¹. M_c линейно возрастает от $M_{\text{с0}}$ до $M_{\text{с.ном}}$.

Решение. Электродвигатель выбираем из условий $P_n \geq P'_c$.

$$P'_c = \frac{P_c}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{2,3}{0,85} = 2,7 \text{ кВт.}$$

По каталогу выбираем электродвигатель типа АИР100S4: $P_n = 3$ кВт; $n_n = 1410$ об·мин⁻¹; $S = 6\%$; $\eta_n = 0,82$; $\cos\phi_n = 0,83$; $\mu_n = 2$, $\mu_{\text{макс}} = 2,2$, $\mu_{\text{мин}} = 1,6$.

Проверяем выбранный электродвигатель по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

Проверяем по условиям пуска:

$$M_n u^2 \geq 1,3 M_{co},$$

$$M_{мин} u^2 \geq 1,3 M_{cm},$$

$$t_{п.нагр} < t_{п.доп},$$

$$\omega_n = \omega_0(1 - S_n),$$

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

$$\omega_n = 157(1 - 0,06) = 147,58 \text{ рад/с.}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{3000}{147,58} = 20,3 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_n = \mu_n M_n = 2 \cdot 20,3 = 40,6 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{мин} = \mu_{мин} M_n = 1,6 \cdot 20,3 = 32,48 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$\omega_{сн} = 0,1045 n_{сн} = 0,1045 \cdot 420 = 43,89 \text{ рад/с.}$$

Мощность на валу рабочей машины $P_{сн} = 800$ Вт.

$$M_{сн} = \frac{P_{сн}}{\omega_{сн}} = \frac{800}{43,89} = 18,23 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Начальный статический момент принять $M_{co} = 0,15 \cdot M_{сн}$.

$$M_{co} = 0,15 \cdot 18,23 = 2,73 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$u \approx 0,9.$$

$$40,6 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 2,73;$$

$$32,88 \geq 3,55, \text{ условие (1.3) выполняется.}$$

$$26,3 \geq 23,7 \text{ Н}\cdot\text{м, условие (1.4) выполняется.}$$

$$t_{п.доп} = \frac{\tau_{раб}}{V} = \frac{80}{10,4} = 7,69 \text{ с.}$$

$$t_{п.нагр} \approx \frac{0,4300 \cdot 147,58}{0,33(40,6 + 32,48 + 44,66) - 28,77} = \frac{63,46}{(38,85 - 28,77)} = 6,3 \text{ с.}$$

$$M_k = \mu_k M_n = 2,2 \cdot 20,3 = 44,66 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_{с.ср} = 0,5(2,73 + 54,81) = 28,77 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_c = M_{co} + (M_{сн} - M_{co}) \left(\frac{\omega}{\omega_{сн}} \right)^a = 2,73 + (18,23 - 2,73) \left(\frac{147,58}{43,89} \right)^1 = 54,81 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$t_{п.нагр} < t_{п.доп};$$

$$6,3 < 7,69, \text{ условие (1.5) выполняется.}$$

$$M'_{макс.нагр} = \frac{P_{макс.нагр}}{\omega_{н.д}} = \frac{800}{147,58} = 5,42 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$44,66 \cdot 0,95^2 \geq 1,3 \cdot 5,42;$$

$40,3 \geq 7,05$ Н·м, условие (1.13) выполняется, следовательно, электродвигатель выбран верно.

Задача 1.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма зерноочистительной машины, работающего в продолжительном режиме работы с неизменной нагрузкой. M_c линейно возрастает от M_{co} до $M_{с.ном}$. Исходные данные приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные

Номер варианта	P_c , кВт	$P_{сн}$, кВт	$\eta_{пер}$	$n_{сн}$, мин ⁻¹
1	3,5	1,2	0,8	420
2	3,2	1,0	0,85	450
3	4,5	1,5	0,9	400
4	5,6	3,5	0,83	450
5	6,8	4,9	0,82	400
6	5,4	4,2	0,93	650
7	6,7	5,0	0,92	500
8	6,9	5,2	0,8	550
9	4,3	3,4	0,85	400

Окончание табл. 1.2

Номер варианта	$P_{сн}$, кВт	$P_{сн^*}$, кВт	$\eta_{пер}$	$n_{сн^*}$, мин ⁻¹
10	7,1	5,2	0,9	450
11	3,5	2,2	0,83	600
12	3,2	2,0	0,82	450
13	4,5	2,4	0,93	400
14	5,6	3,8	0,92	450
15	6,8	4,6	0,8	500
16	5,4	4,1	0,85	650
17	6,7	4,3	0,9	400
18	6,9	4,5	0,83	450
19	4,3	2,3	0,82	420
20	7,1	4,2	0,93	500
21	7,3	4,4	0,92	400

2. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ

Задача расчета. Рассчитать и выбрать электродвигатель для продолжительного режима работы с переменной нагрузкой. Проверить выбранный электродвигатель на перегрузочную способность и по условиям пуска.

Исходные данные. Мощность электродвигателя и его характеристики.

Последовательность расчета.

1. Выбор электродвигателя по мощности для продолжительного режима работы с переменной нагрузкой.
2. Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и перегрузочной способности.

Выбор электродвигателя по мощности

- При выборе электродвигателя по мощности руководствуются нагрузочной диаграммой $P_1 = f(t)$ и тахограммой $\omega = f_2(t)$.
- Если режим работы электродвигателя продолжительный при переменной нагрузке P_1, P_2 и т.д. на некотором участке продолжительностью t_1, t_2 и т.д., то определяют эквивалентную мощность по нагрузочной диаграмме:

$$P_3 = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots}} \quad (2.1)$$

Электродвигатель выбирается из условия:

$$P_H \geq P_3 \quad (2.2)$$

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

• Выбранный по мощности электродвигатель проверяется по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

Проверка по условиям пуска:

$$M_{\text{п}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{с0}}, \quad (2.3)$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{см}}, \quad (2.4)$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}}, \quad (2.5)$$

где $M_{\text{п}}$, $M_{\text{мин}}$ – пусковой и минимальный при пуске момент электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{с0}}$, $M_{\text{см}}$ – моменты, требуемые для вращения рабочей машины, при скорости $\omega = 0$ и $\omega_2 = \omega_{\text{мин}}$, соответствующие минимальному моменту электродвигателя. Обычно принимают $\omega_{\text{мин}} = 0,15\omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад. Значение $M_{\text{с0}}$ и $M_{\text{см}}$ находят по механической характеристике рабочей машины;

$t_{\text{п.нагр}}$ и $t_{\text{п.доп}}$ – время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с;

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (2.6)$$

где $\tau_{\text{раб}}$ – берется из таблицы 1.1;

V – скорость роста температуры при пуске, °С/с (см. приложения, таблицы П 1.3; П 2.1; П 3.1);

$u = U/U_{\text{н}}$ – относительное снижение напряжения в сети в период пуска; если u не задано, то принимают $u \approx 0,9$.

$$M_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} M_{\text{н}}, \quad (2.7)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_{\text{н}}, \quad (2.8)$$

где $\mu_{\text{п}}$ и $\mu_{\text{мин}}$ – кратность пускового и минимальных моментов электродвигателя (см. приложения, таблицы П 1.2; П 1.3; П 2.1; П 3.1).

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (2.9)$$

где $\omega_{\text{н}}$ – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;

$\omega_{\text{н}} = (\pi n)/30$, где $n_{\text{н}}$ – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Если задано в каталоге номинальное скольжение $S_{\text{н}}$, то

$$\omega_{\text{н}} = \omega_0 (1 - S_{\text{н}}). \quad (2.10)$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению:

$$t_{\text{п.нагр}} \approx \frac{J_{\text{пр}} \omega_{\text{н}}}{0,33(M_{\text{п}} + M_{\text{мин}} + M_{\text{к}}) - M_{\text{с.ср}}}, \quad (2.11)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции электропривода, кг·м²;

$M_{\text{с.ср}}$ – средний (за время пуска) момент сопротивления рабочей машины по ее механической характеристике. Если $M_{\text{с}} = f(\omega)$ неизменный во время пуска, то $M_{\text{с.ср}} = M_{\text{с}}$; если $M_{\text{с}} = f(\omega)$ линейно возрастает от $M_{\text{с0}}$ до $M_{\text{с.ном}}$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,5(M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$; если $M_{\text{с}} = f(\omega)^2$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,33(M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$;

$M_{\text{к}}$ – критический момент электродвигателя, Н·м:

$$M_{\text{к}} = \mu_{\text{к}} M_{\text{н}}, \quad (2.12)$$

где $\mu_{\text{к}}$ – кратность критического момента электродвигателя.

• Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{\text{макс.нагр}}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию:

$$M_{\text{к}} u^2 \geq 1,3 M'_{\text{макс.нагр}}, \quad (2.13)$$

где u – относительное снижение напряжения в сети, $u = 0,95$;

$M'_{\text{макс.нагр}}$ – максимальный момент нагрузки; определяется по графику $M_{\text{с}} = f(\omega)$ при скорости $\omega_{\text{к}}$ или упрощенно по формуле:

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}}. \quad (2.14)$$

Если условия (2.13) и (2.3)...(2.5) не соблюдаются, то выбирается электродвигатель на 1 ступень большей мощности и проверку повторяют.

Иногда условия (2.3)...(2.5) являются определяющими при выборе мощности (при тяжелых условиях пуска и при неравномерной нагрузке с пиками момента или мощности).

Пример 2.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма отбойного бitera, работающего в продолжительном режиме с переменной нагрузкой $P_1 = 2,9$ кВт; $P_2 = 2,0$ кВт; $P_3 = 2,8$ кВт; $P_4 = 1,5$ кВт; $t_1 = 2$ с; $t_2 = 3$ с; $t_3 = 1$ с; $t_4 = 2$ с.

Мощность на валу рабочей машины 800 Вт. Номинальная частота вращения вала рабочей машины 420 мин^{-1} .

Решение. Эквивалентная мощность:

$$P_э = \sqrt{\frac{2,9^2 \cdot 2 + 2^2 \cdot 3 + 2,8^2 \cdot 1 + 1,5^2 \cdot 2}{2 + 3 + 1 + 2}} = 2,28 \text{ кВт}.$$

Электродвигатель выбираем из условий $P_n \geq P_э$. По каталогу выбираем электродвигатель типа АИР100S4 $P_n = 3$ кВт; $n_n = 1410 \text{ об} \cdot \text{мин}^{-1}$; $S = 6\%$; $\eta_n = 0,82$; $\cos\varphi_n = 0,83$; $\mu_n = 2$, $\mu_{\max} = 2,2$, $\mu_{\min} = 1,6$.

Проверяем выбранный электродвигатель по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.

Проверяем по условиям пуска:

$$M_n u^2 \geq 1,3 M_{\text{со}},$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{см}},$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}},$$

$$\omega_n = \omega_0 (1 - S_n),$$

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с}.$$

$$\omega_n = 157(1 - 0,06) = 147,58 \text{ рад/с}.$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{3000}{147,58} = 20,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_n = \mu_n M_n = 2 \cdot 20,3 = 40,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_n = 1,6 \cdot 20,3 = 32,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\omega_{\text{сн}} = 0,1045 n_{\text{сн}} = 0,1045 \cdot 420 = 43,89 \text{ рад/с}.$$

Мощность на валу рабочей машины

$$P_{\text{сн}} = 800 \text{ Вт}.$$

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\omega_{\text{сн}}} = \frac{800}{43,89} = 18,23 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Начальный статический момент принять

$$M_{\text{со}} = 0,15 M_{\text{сн}},$$

$$M_{\text{со}} = 0,15 \cdot 18,23 = 2,73 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$u \approx 0,9.$$

$$40,6 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 2,73;$$

$$32,48 \geq 3,55, \text{ условие (2.3) выполняется.}$$

$$32,48 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 18,23;$$

$$26,3 \geq 23,7 \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ условие (2.4) выполняется.}$$

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V} = \frac{80}{10,4} = 7,69 \text{ с}.$$

$$t_{\text{п.нагр}} \approx \frac{0,4300 \cdot 147,58}{0,33(40,6 + 32,48 + 44,66) - 28,77} = \frac{63,46}{(38,85 - 28,77)} = 6,3 \text{ с}.$$

$$M_k = \mu_k M_n = 2,2 \cdot 20,3 = 44,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{\text{с.ср}} = 0,5(2,73 + 54,81) = 28,77 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_c = M_{\text{со}} + (M_{\text{сн}} - M_{\text{со}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{сн}}} \right)^a = 2,73 + (18,23 - 2,73) \left(\frac{147,58}{43,89} \right)^1 = 54,81 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}},$$

$$6,3 < 7,69, \text{ условие (2.5) выполняется.}$$

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}} = \frac{800}{147,58} = 5,42 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$44,66 \cdot 0,95^2 \geq 1,3 \cdot 5,42;$$

$40,3 \geq 7,05 \text{ Н} \cdot \text{м}$, условие (2.13) выполняется. Следовательно, электродвигатель выбран верно.

Задача 2.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма отбойного бitera, работающего в продолжительном режиме работы с переменной нагрузкой. Исходные данные приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные

Номер варианта	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	ω , рад/с
1	2	3	3	100	60	40	100
2	11	6	10	120	80	50	150
3	17	22	15	90	70	60	100
4	27	32	26	140	100	90	150
5	12	9	8	100	50	60	100
6	16	23	14	150	100	80	150
7	23	34	25	180	60	50	100
8	12	8	7	90	40	30	150
9	14	25	17	100	60	40	100
10	24	35	26	90	50	30	150
11	3	4	2	130	70	60	100
12	15	23	27	120	70	60	150
13	9	12	8	110	60	50	100
14	19	39	26	140	70	55	150
15	3	3	2	100	50	40	100
16	8	9	10	110	50	30	150
17	18	18	20	120	60	50	100
18	19	38	30	130	60	50	150
19	19	35	30	140	80	70	100
20	18	20	15	100	40	20	150
21	4	13	6	150	70	60	100

3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Задача расчета. Рассчитать и выбрать электродвигатель для кратковременного режима работы. Проверить выбранный электродвигатель на перегрузочную способность и по условиям пуска.

Исходные данные. Мощность электродвигателя и его характеристики.

Последовательность расчета.

1. Выбор электродвигателя по мощности для кратковременного режима работы.
2. Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и перегрузочной способности.

Выбор электродвигателя по мощности

- При выборе электродвигателя по мощности руководствуются нагрузочной диаграммой $P_1 = f(t)$ и тахограммой $\omega = f_2(t)$.
- Если режим работы электродвигателя кратковременный, то выбирают электродвигатель продолжительного режима для кратковременной работы, кратковременно перегружая его. Для учета допустимой перегрузки определяют коэффициент термической K_T и механической K_M перегрузки:

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_H}}; \quad (3.1)$$

$$K_M = \sqrt{k_T(\alpha_H + 1) - \alpha_H}, \quad (3.2)$$

где t_p – время работы электродвигателя по нагрузочной диаграмме, мин;
 α_H – отношение постоянных потерь в двигателе к переменным;
 α_H принять по данным таблицы П 7.1 или таблицы П 7.2 приложе-

ний для электродвигателя, мощность которого P_n ближайшая меньшая к P_3 ;

T_n – постоянная времени нагревания выбранного электродвигателя, мин (см. таблицу П 1.1).

Если T_n не задана, то поступают следующим образом. Сначала определяют P_3 по формуле (2.1). Выбирают предварительно электродвигатель по условию: номинальная мощность выбранного двигателя должна быть ближайшей меньшей, т.е. $P_n \leq P_3$. Определяют по каталогу его массу, расчетную температуру превышения $\tau_{\text{раб}}$ обмотки и расчетом – теплоотдачу A_n :

$$A_n = \Delta P_n / \tau_{\text{раб}}, \quad (3.3)$$

где ΔP_n – номинальные потери мощности в электродвигателе, Вт;

$$\Delta P_n = P_n ((1 - \eta_n) / \eta_n), \quad (3.4)$$

где η_n – КПД электродвигателя в номинальном режиме.

Расчетное (рабочее) превышение температуры определяется классом изоляции электродвигателя (таблица 1.1).

Постоянная времени нагревания

$$T_n = C / A_n, \quad (3.5)$$

где C – теплоемкость электродвигателя, Дж/°С; $C \approx 400 m$ (для электродвигателей с осью вращения до 132 мм включительно) и $C = 480 m$ (для электродвигателей с осью вращения 160 мм и более); m – масса электродвигателя, кг.

Электродвигатель выбирается из условия: $P_n \geq \frac{P_3}{K_m}$. (3.6)

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки

• *Выбранный по мощности электродвигатель проверяем по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки.*

Проверка по условиям пуска:

$$M_n u^2 \geq 1,3 M_{\text{со}}, \quad (3.7)$$

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{см}}, \quad (3.8)$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}}, \quad (3.9)$$

где M_n , $M_{\text{мин}}$ – пусковой и минимальный при пуске моменты электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{со}}$, $M_{\text{см}}$ – момент, требуемый для вращения рабочей машины, при скорости $\omega = 0$ и $\omega = \omega_{\text{мин}}$, соответствующий минимальному моменту электродвигателя.

Обычно принимают $\omega_{\text{мин}} = 0,15 \omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад. Значение $M_{\text{со}}$ и $M_{\text{см}}$ находят по механической характеристике рабочей машины;

$t_{\text{п.нагр}}$ и $t_{\text{п.доп}}$ – время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с;

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (3.10)$$

где $\tau_{\text{раб}}$ – берется из таблицы 1.1;

V – скорость роста температуры при пуске, °С/с (см. таблицы П 1.3; П 2.1; П 3.1);

$u = U / U_n$ – относительное снижение напряжения в сети в период пуска. Если u не задано, то принимают $u \approx 0,9$.

$$M_n = \mu_n M_n, \quad (3.11)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_n, \quad (3.12)$$

где μ_n и $\mu_{\text{мин}}$ – кратность пускового и минимальных моментов электродвигателя (см. таблицы П 1.2; П 1.3; П 2; П 3).

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (3.13)$$

где ω_n – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;

$\omega_n = (\pi n_n) / 30$, где n_n – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Если задано в каталоге номинальное скольжение S_n , то

$$\omega_n = \omega_0(1 - S_n). \quad (3.14)$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению:

$$t_{п.нагр} \approx \frac{J_{пр} \omega_n}{0,33(M_{п} + M_{мин} + M_{к}) - M_{с.ср}}, \quad (3.15)$$

где $J_{пр}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции электропривода, кг·м²;

$M_{с.ср}$ – средний (за время пуска) момент сопротивления рабочей машины по ее механической характеристике. Если $M_c = f(\omega)$ неизменный во время пуска, то $M_{с.ср} = M_c$; если $M_c = f(\omega)$ линейно возрастает от $M_{с0}$ до $M_{с.ном}$, то $M_{с.ср} = 0,5(M_{с0} + M_{с.ном})$; если $M_c = f(\omega)^2$, то $M_{с.ср} = 0,33(M_{с0} + M_{с.ном})$;

M_k – критический момент электродвигателя, Н·м:

$$M_k = \mu_k M_n, \quad (3.16)$$

где μ_k – кратность критического момента электродвигателя.

• Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{макс.нагр}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию:

$$M_k u^2 \geq 1,3 M'_{макс.нагр}, \quad (3.17)$$

где u – относительное снижение напряжения в сети, $u = 0,95$;

$M'_{макс.нагр}$ – максимальный момент нагрузки; определяется по графику $M_c = f(\omega)$ при скорости ω_k или упрощенно по формуле:

$$M'_{макс.нагр} = \frac{P_{макс.нагр}}{\omega_{н.д}}. \quad (3.18)$$

Если условия (3.17) и (3.7)...(3.9) не соблюдаются, то выбирается электродвигатель на 1 ступень большей мощности и проверку повторяют.

Иногда условия (3.7)...(3.9) являются определяющими при выборе мощности (при тяжелых условиях пуска и при неравномерной нагрузке с пиками момента или мощности).

Пример 3.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма, работающего в кратковременном режиме работы: $M_1 = 20$ Н·м; $M_2 = 50$ Н·м; $M_3 = 0$; $t_1 = 5$ мин; $t_2 = 5$ мин; $t_3 = 60$ мин. Машина установлена в сыром помещении и соединена с электродвигателем клиноременной передачей ($\eta_{пер} = 0,96$). Угловая скорость приводного вала 50 рад/с. Постоянная времени нагрева электродвигателя равна 15 мин.

Решение. Строят нагрузочную диаграмму $M = f(t)$.

Определяют эквивалентный момент рабочей машины:

$$M_{э.м} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}} = \sqrt{\frac{20^2 \cdot 5 + 50^2 \cdot 5}{5 + 5}} = 38 \text{ Н·м.}$$

Определяют эквивалентную мощность рабочей машины:

$$P_{э.м} = M_{э.м} \cdot \omega = 38 \cdot 50 = 1900 \text{ Вт.}$$

Определяют эквивалентную мощность на валу электродвигателя:

$$P_э \geq \frac{P_{э.м}}{\eta_{пер}} = \frac{1900}{0,96} = 1980 \text{ Вт.}$$

Исходя из условий и требований технологического процесса, а также значения $P_э$ выбирают асинхронный электродвигатель с частотой вращения 1500 об/мин. Тип электродвигателя АИР90L4 со степенью защиты IP54.

Технические данные электродвигателя сводим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Технические данные электродвигателя серии АИР90L4

P_n , кВт	η_n , %	$\cos \varphi_n$, о.е.	S_n , %	m , кг	μ_n	$\mu_{макс}$	$\mu_{мин}$	K_I	I_2 , кг·м ²
2,2	81	0,83	7	17	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056

Предварительно выбранный двигатель проверяем по условию нагревания.

Для этого находим коэффициент термической K_T и механической K_M перегрузок:

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{ц}}{T_H}}};$$

$$K_M = \sqrt{K_T \cdot (1 + \alpha_H) - \alpha_H},$$

где $t_{ц}$ – время работы электродвигателя по нагрузочной диаграмме, мин;

α_H – коэффициент потерь мощности, $\alpha_H = 0,26$ о.е.. (см. таблицы П 7.1; П 7.2);

T_H – постоянная времени нагревания выбранного электродвигателя, $T_H = 19,77$ (см. таблицу П 1.1).

Получаем:
$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_H}} = \frac{1}{1 - e^{-8,55/19,77}} = 2,85;$$

$$K_M = \sqrt{K_T (\alpha_H + 1) - \alpha_H} = \sqrt{2,85 \cdot (0,26 + 1) - 0,26} = 1,82.$$

Мощность электродвигателя должна удовлетворять условию:

$$P_H > \frac{P_{эжв}}{K_M}; \quad 2,2 > \frac{2,2}{1,82} = 1,2, \text{ условие выполняется.}$$

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час

Проверка по условиям пуска выполняется по условиям 3.7...3.9.

Определим по (3.10) допустимое время пуска.

Расчетная рабочая температура превышения $\tau_{раб}$ берется из таблицы 1.1 для класса изоляции двигателя В, $\tau_{раб} = 80$ °С.

Скорость роста температуры при пуске $V = 10,4$ °С/с (см. таблицу П 1.3).

$$t_{п.доп} = \frac{80}{10,4} = 7,69.$$

Принимаем относительное снижение напряжения в сети в период пуска $u = 0,9$.

$$M_{п} = \mu_{п} \cdot M_H;$$

$$M_{мин} = \mu_{мин} \cdot M_H,$$

где $\mu_{п}$, $\mu_{мин}$ – кратность пускового и минимального моментов электродвигателя (см. таблицу П 1.2).

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H},$$

где ω_H – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30},$$

n_H – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

$$\omega = 146,5 \text{ рад/с};$$

$$M_H = \frac{2200}{146,5} = 15,01 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{п} = 2,1 \cdot 15,01 = 31,5 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{мин} = 1,6 \cdot 15,01 = 24,01 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению (3.15).

Критический момент электродвигателя определяем по выражению (3.16):

$$M_k = 2,2 \cdot 15,01 = 33,02 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тогда:

$$t_{п.нагр} = \frac{0,2906 \cdot 146,5}{0,33(31,5 + 24,01 + 33,02) - 15,76} = \frac{42,57}{13,45} = 3,16.$$

$$\begin{bmatrix} 31,5 \cdot 0,81 \geq 1,3 \cdot 15,76 \\ 24,01 \cdot 0,81 \geq 1,3 \cdot 13,2 \\ 3,16 \leq 7,69 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 25,5 \geq 20,4 \\ 19,4 \geq 17,16 \\ 3,16 \leq 7,69 \end{bmatrix},$$

условия (3.7)...(3.9) соблюдаются.

Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{\text{макс.нагр}}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию (3.17).

Принимаем относительное снижение напряжения в сети $u = 0,95$.

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{н.д}}; \quad M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{1800}{146,5} = 12,2.$$

$(33,02 \cdot 0,95^2 \geq 1,3 \cdot 12,2) = (29,8 \geq 15,86)$, условие (3.17) соблюдается.

Условия (3.17) и (3.7)...(3.9) соблюдаются, поэтому выбираем электродвигатель типа АИР90L4 с основными техническими данными, представленными в таблице 3.1.

Задача 3.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма, работающего в кратковременном режиме работы. Исходные данные приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные

Но- мер вари- анта	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	ω , рад/с
1	3	3	3	70	100	60	20	100
2	12	6	10	72	120	80	30	150
3	18	22	15	73	90	70	25	100

Окончание таблицы 3.2

Но- мер вари- анта	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	ω , рад/с
4	28	32	26	74	140	100	40	150
5	10	9	8	75	100	50	30	100
6	17	23	14	80	150	100	60	150
7	26	34	25	75	180	60	20	100
8	11	8	7	80	90	40	20	150
9	15	25	17	75	100	60	30	100
10	25	35	26	70	90	50	30	150
11	2	4	2	80	130	70	50	100
12	16	23	27	75	120	70	35	150
13	8	12	8	70	110	60	45	100
14	20	39	26	80	140	70	30	150
15	4	3	2	75	100	50	15	100
16	9	9	10	70	110	50	25	150
17	19	18	20	80	120	60	35	100
18	20	38	30	75	130	60	20	150
19	20	35	30	70	140	80	20	100
20	20	20	15	80	100	40	15	150
21	7	13	6	75	150	70	40	100

4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Задача расчета. Рассчитать и выбрать электродвигатель для повторно-кратковременного режима работы. Проверить выбранный электродвигатель на перегрузочную способность и по условиям пуска.

Исходные данные. Мощность электродвигателя и его характеристики.

Последовательность расчета.

1. Выбрать электродвигатель по мощности с учетом повторно-кратковременного режима работы.
2. Проверить выбранный электродвигатель по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час.

Выбор электродвигателя по мощности

- При выборе электродвигателя по мощности руководствуются нагрузочной диаграммой $P_1 = f(t)$ и тахограммой $\omega = f_2(t)$.
- Если режим работы электродвигателя повторно-кратковременный, то сначала решают, какой модификации будет выбираться электродвигатель:
 - 1) с повышенным скольжением, специально предназначенный для таких режимов работы;
 - 2) продолжительного режима для работы в повторно-кратковременном режиме.
- В первом случае определяют фактическую продолжительность включения по нагрузочной диаграмме:

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_p}{t_p + t_0}, \quad (4.1)$$

где t_p и t_0 – время работы и время паузы электродвигателя за рабочий цикл не более 10 мин.

Электродвигатель серии 4А или АИР повышенного скольжения, имеющий $\varepsilon_k = 0,4$ выбирают по условию:

$$P_{н.кат} \geq P \sqrt{\frac{\varepsilon_{\phi}}{0,4(1 + \alpha_n) - \alpha_n \varepsilon_{\phi}}}, \quad (4.2)$$

где α_n – отношение постоянных потерь в двигателе к переменным; α_n принимают по данным таблицы П 7.1 или таблицы П 7.2.

- Во втором случае (выбор электродвигателя продолжительного режима основного исполнения) следует определять коэффициенты K_T и K_M :

$$K_T = \frac{1 - e^{-(t_p/T_n + t_0/T_0)}}{1 - e^{-t_p/T_n}}. \quad (4.3)$$

K_M определяется по формуле (3.2), T_n – по формуле (3.5), а $T_0 = T_n / \beta_0$, где $\beta_0 \approx 0,45$ – коэффициент ухудшения теплоотдачи электродвигателей закрытых с самовентиляцией (IP44, IP54) в неподвижном состоянии.

Электродвигатель в этом случае выбирается из условия (3.6).

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, на преодоление максимальной нагрузки и на допустимое число включений в час.

- Выбранный по мощности электродвигатель при любых режимах работы проверяется по условиям пуска и на преодоление максимальной нагрузки, а в повторно-кратковременных режимах работы – дополнительно на допустимую частоту включения в час.

Проверка по условиям пуска:

$$M_{п} u^2 \geq 1,3 M_{со}, \quad (4.4)$$

$$M_{мин} u^2 \geq 1,3 M_{см}, \quad (4.5)$$

$$t_{п.нагр} < t_{п.доп}, \quad (4.6)$$

где $M_{\text{п}}$, $M_{\text{мин}}$ – пусковой и минимальный при пуске моменты электродвигателя, Н·м;

$M_{\text{с0}}$, $M_{\text{см}}$ – момент, требуемый для вращения рабочей машины при скорости $\omega = 0$ и $\omega = \omega_{\text{мин}}$, соответствующий минимальному моменту электродвигателя. Обычно принимают $\omega_{\text{мин}} = 0,15\omega_0$, где ω_0 – синхронная скорость вращающегося магнитного поля, рад. Значение $M_{\text{с0}}$ и $M_{\text{см}}$ находят по механической характеристике рабочей машины;

$t_{\text{п.нагр}}$ и $t_{\text{п.доп}}$ – время пуска электродвигателя под нагрузкой и допустимое время пуска, с;

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{\tau_{\text{раб}}}{V}, \quad (4.7)$$

где $\tau_{\text{раб}}$ – берется из таблицы 1.1;

V – скорость роста температуры при пуске, °C/с, (см. таблицы П 1.3; П 2.1; П 3.1);

$u = U/U_{\text{н}}$ – относительное снижение напряжения в сети в период пуска; если u не задано, то принимают $u \approx 0,9$.

$$M_{\text{п}} = \mu_{\text{п}} M_{\text{н}}; \quad (4.8)$$

$$M_{\text{мин}} = \mu_{\text{мин}} M_{\text{н}}, \quad (4.9)$$

где $\mu_{\text{п}}$ и $\mu_{\text{мин}}$ – кратность пускового и минимальных моментов электродвигателя (см. таблицы П 1.2; П 1.3; П 2.1; П 3.1).

$$M_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (4.10)$$

где $\omega_{\text{н}}$ – номинальная угловая скорость ротора электродвигателя, рад/с;

$\omega_{\text{н}} = (\pi n_{\text{н}})/30$, где $n_{\text{н}}$ – номинальная частота вращения ротора, об/мин.

Если задано в каталоге номинальное скольжение $S_{\text{н}}$, то

$$\omega_{\text{н}} = \omega_0(1 - S_{\text{н}}). \quad (4.11)$$

Время пуска двигателя под нагрузкой приближенно оценивают по выражению:

$$t_{\text{п.нагр}} \approx \frac{J_{\text{пр}} \omega_{\text{н}}}{0,33(M_{\text{п}} + M_{\text{мин}} + M_{\text{к}}) - M_{\text{с.ср}}}, \quad (4.12)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу электродвигателя момент инерции электропривода, кг·м²;

$M_{\text{с.ср}}$ – средний (за время пуска) момент сопротивления рабочей машины по ее механической характеристике. Если $M_{\text{с}} = f(\omega)$ неизменный во время пуска, то $M_{\text{с.ср}} = M_{\text{с}}$; если $M_{\text{с}} = f(\omega)$ линейно возрастает от $M_{\text{с0}}$ до $M_{\text{с.ном}}$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,5 \cdot (M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$; если $M_{\text{с}} = f(\omega)^2$, то $M_{\text{с.ср}} = 0,33 \cdot (M_{\text{с0}} + M_{\text{с.ном}})$;

$M_{\text{к}}$ – критический момент электродвигателя, Н·м:

$$M_{\text{к}} = \mu_{\text{к}} M_{\text{н}}, \quad (4.13)$$

где $\mu_{\text{к}}$ – кратность критического момента электродвигателя.

• Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{\text{макс.нагр}}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию:

$$M_{\text{к}} u^2 \geq 1,3 M'_{\text{макс.нагр}}, \quad (4.14)$$

где u – относительное снижение напряжения в сети, $u = 0,95$;

$M'_{\text{макс.нагр}}$ – максимальный момент нагрузки; определяется по графику $M_{\text{с}} = f(\omega)$ при скорости $\omega_{\text{к}}$ или упрощенно по формуле:

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}}. \quad (4.15)$$

Если условия (4.4)...(4.6) и (4.14) не соблюдаются, то выбирается электродвигатель на 1 ступень большей мощности и проверку повторяют.

Иногда условия (4.4)...(4.6) являются определяющими при выборе мощности (при тяжелых условиях пуска и при неравномерной нагрузке с пиками момента или мощности).

• Для повторно-кратковременных режимов работы дополнительно проверяют фактическое число включений в час, чтобы оно

не превышало допустимого для данного электродвигателя числа включений в час:

$$Z_{\text{доп}} > Z_{\text{фак}} = \frac{60}{t_p + t_0}, \quad (4.16)$$

где t_p и t_0 – в минутах.

$$Z_{\text{доп}} = 3600 \frac{(\Delta P_n - \Delta P_x) \varepsilon_\phi + \Delta P_n \beta_0 (1 - \varepsilon_\phi)}{0,97 (\Delta W_n + \Delta W_T)}, \quad (4.17)$$

$$\Delta P_n = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right), \quad (4.18)$$

$$\Delta P_x = P_x \left(\frac{1 - \eta_0}{\eta_0} \right), \quad (4.19)$$

$$\eta_0 = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \left(\frac{\alpha_n / x}{\alpha_n + 1} + x \right)}. \quad (4.20)$$

$$\text{Коэффициент нагрузки } x = P_3 / P_n. \quad (4.21)$$

$$\text{Потери при пуске } \Delta W_n = J_{\text{пр}} \frac{\omega_0^2}{2} \left(\frac{r_1}{r_2'} + 1 \right) K_n, \quad (4.22)$$

где $J_{\text{пр}}$ – приведенный к валу двигателя момент инерции машины, кг·м²;

r_1 / r_2' – отношение приведенных сопротивлений статорной и роторной обмоток; принять по таблице П 5.1;

K_n – коэффициент увеличения потерь при пуске под нагрузкой, в отличие от пуска вхолостую; K_n – коэффициент пропорциональности – отношение времени пуска под нагрузкой к времени пуска вхолостую:

$$K_n = \frac{t_{\text{п.нагр.}}}{t_{\text{п.вх}}}. \quad (4.23)$$

Время пуска вхолостую приближенно определяется выражением:

$$t_{\text{п.вх}} \approx \frac{J_{\text{пр}} \omega_0}{0,33(M_n + M_{\text{мин}} + M_k)}. \quad (4.24)$$

Потери при торможении ΔW_T зависят от вида электрического торможения. При торможении противовключением под нагрузкой они составляют

$\Delta W_T = 3\Delta W_n$, где ΔW_n определяется по (4.22); при динамическом торможении $\Delta W_T \approx J_{\text{пр}} \omega_0^2 / 2$.

Пример 4.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме работы: $P_1 = 1000$ Вт; $P_2 = 2500$ Вт; $t_1 = 5$ мин, $t_2 = 5$ мин, $t_3 = 10$ мин. Машина установлена в сыром помещении и соединена с электродвигателем клиноременной передачей ($\eta_{\text{пер}} = 0,93$). Мощность на валу рабочей машины 800 Вт. Номинальная частота вращения вала рабочей машины 420 мин⁻¹.

Решение. Строят нагрузочную диаграмму $P = f(t)$.

Определяют эквивалентную мощность рабочей машины по нагрузочной диаграмме:

$$P_{\text{э.м}} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}} = \sqrt{\frac{1000^2 \cdot 5 + 2500^2 \cdot 5}{5 + 5}} = 1903 \text{ Вт.}$$

Определяют эквивалентную мощность на валу электродвигателя

$$P_3 \geq \frac{P_{\text{э.м}}}{\eta_{\text{пер}}} = \frac{1903}{0,93} = 2046 \text{ Вт.}$$

Исходя из условий и требований технологического процесса, а также значения P_3 , выбирают асинхронный электродвигатель с частотой вращения 1500 об/мин. Тип электродвигателя АИР90L4 со степенью защиты IP54.

Технические данные электродвигателя сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Технические данные электродвигателя серии АИР90L4

P_H , кВт	n_H , мин ⁻¹	η_H , %	$\cos \varphi_H$ о.е	μ_H , о.е	μ_{\min} , о.е	μ_K , о.е	S_K , о.е.	V , °C/с	J_p , кг·м ²	m , кг
2,2	1500	81	0,83	2,1	2,2	1,6	7	10,4	0,0056	17

Предварительно выбранный двигатель проверяем по условию нагревания. Для этого находим коэффициент термической K_T и механической K_M перегрузок:

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-\frac{t_{ц}}{T_H}}};$$

$$K_M = \sqrt{K_T \cdot (1 + \alpha_H) - \alpha_H},$$

где $t_{ц}$ – время работы электродвигателя по нагрузочной диаграмме, мин;

α_H – коэффициент потерь мощности, $\alpha_H = 0,26$ о.е. (см. таблицы П 7.1);

T_H – постоянная времени нагревания выбранного электродвигателя, $T_H = 19,77$ (см. таблицу П 1.1).

Получаем:

$$K_T = \frac{1}{1 - e^{-t_p/T_H}} = \frac{1}{1 - e^{-8,55/19,77}} = 2,85;$$

$$K_M = \sqrt{\kappa_t (\alpha_H + 1) - \alpha_H} = \sqrt{2,85 \cdot (0,26 + 1) - 0,26} = 1,82.$$

Мощность электродвигателя должна удовлетворять условию:

$$P_H > \frac{P_{\Sigma}}{K_M};$$

$$2,2 > \frac{2,046}{1,82} = 1,124 \text{ кВт}, \text{ условие выполняется.}$$

Проверка выбранного электродвигателя по условиям пуска, перегрузочной способности и на допустимое число включений в час.

Проверка по условиям пуска:

$$M_{ц} u^2 \geq 1,3 M_{co};$$

$$M_{\min} u^2 \geq 1,3 M_{cm};$$

$$t_{п.нагр} < t_{п.доп},$$

где u – относительное снижение напряжения в сети в период пуска, принимают $u = 0,95$.

Номинальный момент электродвигателя определяют по (4.10).

$$M_H = \frac{2200}{146} = 15,07 \text{ Н·м.}$$

Номинальную частоту вращения ротора – по (4.11).

$$\omega_H = \omega_o (1 - S) = 157(1 - 0,07) = 146 \text{ рад/с};$$

$$\omega_o = \frac{\pi n_o}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ рад/с.}$$

Пусковой момент электродвигателя – по (4.8).

$$M_{п} = 2,1 \cdot 15,07 = 31,6 \text{ Н·м.}$$

Минимальный момент при пуске электродвигателя – по (4.9).

$$M_{\min} = 1,6 \cdot 15,07 = 24,1 \text{ Н·м.}$$

Критический момент электродвигателя – по (4.13).

$$M_K = 2,2 \cdot 15,07 = 33,15 \text{ Н·м.}$$

$$\omega_{сн} = 0,1045 n_{сн} = 0,1045 \cdot 420 = 43,89 \text{ рад/с.}$$

Мощность на валу рабочей машины $P_{\text{сн}} = 800$ Вт.

$$M_{\text{сн}} = \frac{P_{\text{сн}}}{\omega_{\text{сн}}} = \frac{800}{43,89} = 18,23 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Начальный статический момент принять $M_{\text{со}} = 0,15 \cdot M_{\text{сн}}$.

$$M_{\text{со}} = 0,15 \cdot 18,23 = 2,73 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Делают проверку по условию (4.4):

$$M_{\text{п}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{со}};$$

$$31,6 \cdot 0,95^2 \geq 1,3 \cdot 2,73;$$

$$28,52 \geq 3,55, \text{ условие (4.4) выполняется.}$$

Делают проверку по условию (4.5):

$$M_{\text{мин}} u^2 \geq 1,3 M_{\text{сн}};$$

$$32,48 \cdot 0,9^2 \geq 1,3 \cdot 18,23;$$

$$26,3 \geq 23,7 \text{ Н}\cdot\text{м}, \text{ условие (4.5) выполняется.}$$

Делают проверку по условию (4.6):

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}}.$$

Допустимое время пуска определяют по формуле (4.7).

$$t_{\text{п.доп}} = \frac{80}{10,4} = 7,69 \text{ с.}$$

Из таблицы 1.1 для класса изоляции двигателя В $\tau_{\text{раб}} = 80$ °С, по таблице П 1.2 скорость роста температуры при пуске $V = 10,4$ °С/с.

Время пуска электродвигателя под нагрузкой определяют по формуле (4.12).

$$t_{\text{п.нагр}} \approx \frac{0,2906 \cdot 146}{0,33(31,6 + 24,1 + 33,15) - 21,01} = \frac{42,43}{8,31} = 5,1 \text{ с.}$$

$$M_{\text{с.ср}} = 0,33(2,73 + 60,94) = 21,01 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$M_{\text{с}} = M_{\text{со}} + (M_{\text{сн}} - M_{\text{со}}) \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{сн}}} \right)^{\alpha} = 2,73 + (18,23 - 2,73) \left(\frac{146}{43,89} \right)^1 = 60,94 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$t_{\text{п.нагр}} < t_{\text{п.доп}},$$

$$5,1 < 7,69, \text{ условие (4.6) выполняется.}$$

Проверка электродвигателя на преодоление максимальной нагрузки $P_{\text{макс.нагр}}$ из нагрузочной диаграммы производится по условию (4.14):

$$M_{\text{к}} u^2 \geq 1,3 M'_{\text{макс.нагр}};$$

$$M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{P_{\text{макс.нагр}}}{\omega_{\text{н.д}}}; \quad M'_{\text{макс.нагр}} = \frac{2500}{146} = 17,12 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$33,15 \cdot 0,95^2 \geq 1,3 \cdot 17,12;$$

$$29,91 \geq 22,26, \text{ условие выполняется.}$$

Для повторно-кратковременных режимов работы дополнительно проверяют фактическое число включений в час, чтобы оно не превышало допустимого для данного электродвигателя числа включений в час по (4.16).

$$Z_{\text{фак}} = \frac{60}{t_{\text{п}} + t_0} = \frac{60}{10 + 10} = 3.$$

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) = 2200 \left(\frac{1 - 0,81}{0,81} \right) = 516 \text{ Вт.}$$

Коэффициент нагрузки $x = P_{\text{э}} / P_{\text{н}}$.

$$x = \frac{P_{\text{э}}}{P_{\text{н}}} = \frac{2046}{2200} = 0,93.$$

$$\eta_{\text{э}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} \right) \left(\frac{\alpha_{\text{н}} / x}{\alpha_{\text{н}} + 1} + x \right)} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - 0,81}{0,81} \right) \left(\frac{(0,26 / 0,93) + 0,93}{0,26 + 1} \right)} = 0,82.$$

$$\Delta P_{\text{х}} = P_{\text{э}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{э}}}{\eta_{\text{э}}} \right) = 2046 \left(\frac{1 - 0,82}{0,82} \right) = 449 \text{ Вт.}$$

Определяют фактическую продолжительность включения по нагрузочной диаграмме:

$$\varepsilon_{\phi} = \frac{t_p}{t_p + t_0} = \frac{10}{10 + 10} = 0,5.$$

$$t_{п.вх} \approx \frac{J_{пр} \omega_0}{0,33(M_{п} + M_{мин} + M_{к})} = \frac{0,2906 \cdot 157}{0,33(31,6 + 24,1 + 33,15)} = \frac{45,62}{29,32} = 1,56 \text{ с.}$$

$$K_{п} = \frac{t_{п.нагр}}{t_{п.вх}} = \frac{3,16}{1,56} = 2,02.$$

$$r_1 / r'_2 = 4,29 / 2,63 = 1,63.$$

Потери при пуске:

$$\Delta W_{п} = J_{пр} \frac{\omega_0^2}{2} \left(\frac{r_1}{r'_2} + 1 \right) K_{п} = 0,2906 \frac{157^2}{2} (1,63 + 1) 2,02 = 19027 \text{ Вт.}$$

$$\Delta W_{т} = 3 \Delta W_{п} = 3 \cdot 19027 = 57081 \text{ Вт.}$$

$$Z_{доп} = 3600 \frac{(\Delta P_{п} - \Delta P_{x}) \varepsilon_{\phi} + \Delta P_{п} \beta_0 (1 - \varepsilon_{\phi})}{0,97 (\Delta W_{п} + \Delta W_{т})} =$$

$$= 3600 \frac{(516 - 449) \cdot 0,5 + 516 \cdot 0,45 \cdot (1 - 0,5)}{0,97 \cdot (19027 + 57081)} = 7,3.$$

$$Z_{доп} > Z_{фак};$$

$$7,3 > 3,0, \text{ условие выполняется.}$$

Так как условия (4.4)...(4.6), (4.14) и (4.16) соблюдаются, то выбираем электродвигатель типа АИР90L4 с основными техническими данными, приведенными в таблице 4.1.

Задача 4.1. Определить мощность и выбрать электродвигатель для механизма, работающего в повторно-кратковременном режиме работы. Исходные данные приведены в таблице 4.2.

Исходные данные

Номер варианта	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	ω , рад/с
1	2	3	3	60	100	0	100
2	11	6	10	80	120	0	150
3	17	22	15	70	90	0	100
4	27	32	26	100	140	0	150
5	12	9	8	50	100	0	100
6	16	23	14	100	150	0	150
7	23	34	25	60	180	0	100
8	12	8	7	40	90	0	150
9	14	25	17	60	100	0	100
10	24	35	26	50	90	0	150
11	3	4	2	70	130	0	100
12	15	23	27	70	120	0	150
13	9	12	8	60	110	0	100
14	19	39	26	70	140	0	150
15	3	3	2	50	100	0	100
16	8	9	10	50	110	0	150
17	18	18	20	60	120	0	100
18	19	38	30	60	130	0	150
19	19	35	30	80	140	0	100
20	18	20	15	40	100	0	150
21	4	13	6	70	150	0	100

5. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР СЕМЯН

Задача расчета. Определить скорость вращения барабана, параметры обмотки и производительность диэлектрического сепаратора.

Исходные данные. Размеры и масса семян, радиус и ширина барабана, напряжение, подаваемое на обмотку и др.

Последовательность расчета.

Технологическая схема процесса сортирования семян на диэлектрическом сепараторе приведена на рисунке 5.1.

Электрическая (пондеромоторная) сила, действующая на частицу:

$$F_{\text{п}} = \frac{S_{\text{эф}} U^2 \epsilon_3 \epsilon_{\text{н}} \epsilon_0 (\epsilon_3 - 1)}{(2\delta_{\text{н}} \epsilon_3 + l \epsilon_{\text{н}})^2} \cos \frac{\Theta}{2}, \quad (5.1)$$

где $S_{\text{эф}}$ – эффективная поверхность заряженной части зерна, контактирующая с изоляцией электродов;

U – напряжение, подаваемое на электроды, В;

$\epsilon_{\text{н}}$ и ϵ_3 – относительные диэлектрические проницаемости изоляции провода и зерна;

ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м;

$\delta_{\text{н}}$ – толщина изоляции электродов;

l – средняя длина силовой линии в зерне;

Θ – угол между направлениями действия сил на семена со стороны разноименно заряженных электродов, град.

Центробежная сила определяется по рисунку 5.1.

$$F_{\text{цб}} = F_{\text{эл}} + P \cdot \cos \alpha, \quad (5.2)$$

где $F_{\text{эл}}$ – электрическая (пондеромоторная) сила, действующая на частицу, Н;

P – сила тяжести, Н;

α – угол отрыва частицы от барабана (для биологически ценных семян угол отрыва равен 90° , а $\cos \alpha = 0$).

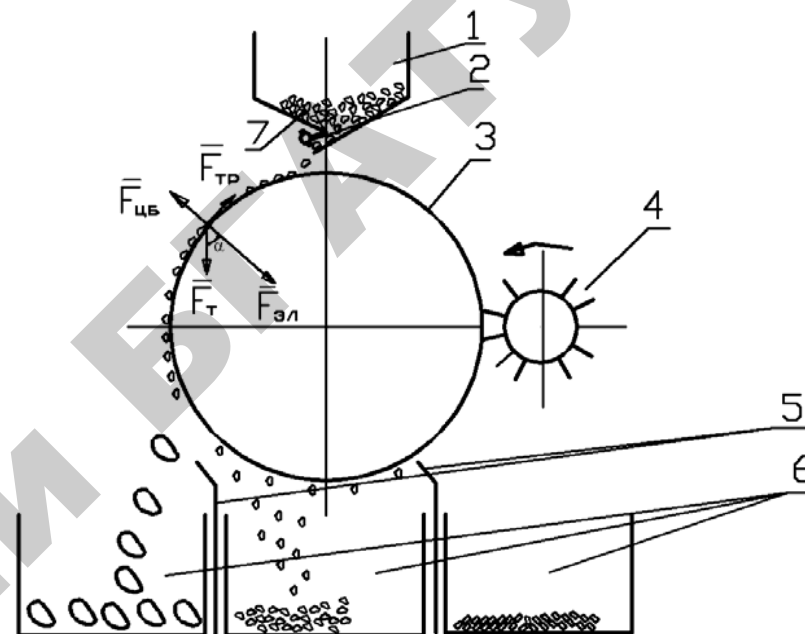


Рис. 5.1. Технологическая схема процесса сортирования семян на диэлектрическом сепараторе:

1 – бункер; 2 – загрузочный валок; 3 – барабан; 4 – щетка; 5 – перегородки;

6 – приемные устройства. Силы, действующие на семя: $F_{\text{эл}}$ – электрическая;

$F_{\text{цб}}$ – центробежная; $F_{\text{т}}$ – сила тяжести; $F_{\text{тр}}$ – сила трения

Скорость вращения барабана

$$v = \sqrt{\frac{F_{\text{цб}} R_{\text{б}}}{m}}, \quad (5.3)$$

где m – масса частицы, кг;

$R_{\text{б}}$ – радиус барабана, м.

Число витков на барабане

$$W = \frac{e_{\text{б}}}{d}, \quad (5.4)$$

где $e_{\text{б}}$ – ширина барабана, м;

d – внешний диаметр провода.

Длина одного витка

$$l_b = 2\pi R_b. \quad (5.5)$$

Длина провода на барабане:

$$l_{пр} = l_b W. \quad (5.6)$$

Производительность установки

$$Q = \rho v S, \quad (5.7)$$

где ρ – плотность зерна; S – площадь, занимаемая зерновками.

$$S = a \cdot v \cdot n, \quad (5.8)$$

где n – число частиц зерна по ширине барабана;

a – длина семени;

v – ширина семени.

$$n = \frac{v_b}{a}. \quad (5.9)$$

Пример 5.1. Рассчитать обмотку, скорость вращения барабана и производительность диэлектрического сепаратора при обработке семян пшеницы.

Исходные данные: $a = 5,6 \cdot 10^{-3}$ м; $v = 3,15 \cdot 10^{-3}$ м; $c = 2,65 \cdot 10^{-3}$ м;
 $m = 32,7 \cdot 10^{-6}$ кг; $R_{б} = 110$ мм; $U = 2,5$ кВ; $v_b = 344$ мм; $\varepsilon_3 = 4$;
 $\varepsilon_u = 2,94$; $\delta_u = 1$ мм; $\Theta = 60^\circ$.

Электрическая (пондеромоторная) сила, действующая на частицу (5.1)

$$F_n = \frac{5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3,15 \cdot 10^{-3} \cdot (2,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 2,94 \cdot 4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot (4-1) \cdot \cos \frac{60}{2}}{(2 \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot 4 + (5,6 \cdot 10^{-3} + 3,15 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,94)^2} = 4,45 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Центробежная сила (5.2)

$$F_{цб} = 4,45 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ т. к. } \cos \alpha = 0.$$

Скорость вращения барабана (5.3)

$$v = \sqrt{\frac{4,45 \cdot 10^{-6} \cdot 0,11}{32,7 \cdot 10^{-3}}} = 0,12 \text{ м/с}.$$

Число витков на барабане (5.4)

$$W = \frac{34,4 \cdot 10^{-2}}{3,7 \cdot 10^{-3}} = 93 \text{ витка}.$$

Длина одного витка (5.5)

$$l_b = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,11 = 0,69 \text{ м}.$$

Длина провода на барабане (5.6)

$$l_{пр} = 0,69 \cdot 93 = 64,2 \text{ м}.$$

Принимаем $l_{пр} = 64$ м.

Число частиц зерна по ширине барабана (5.9)

$$n = \frac{34,4 \cdot 10^{-2}}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 62 \text{ шт}.$$

Производительность установки (5.7)

$$Q = 700 \cdot 0,12 \cdot 5,6 \cdot 10^{-3} \cdot 3,15 \cdot 10^{-3} \cdot 62 = 0,091 \text{ кг/с} = 328 \text{ кг/ч}.$$

Задача 5.1. Рассчитать обмотку, скорость вращения барабана и производительность диэлектрического сепаратора при обработке семян зерновых культур. Исходные данные в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные					
Номер варианта	Обрабатываемые семена	Напряжение на рабочем органе U , кВ	Радиус барабана R_b , мм	Ширина барабана v_b , мм	Угол действия сил Θ , град
1	Пшеница	2,0	120	370	55
2	Овес	1,5	125	375	50
3	Рожь	1,8	130	380	45
4	Клевер	0,5	135	385	40
5	Лен	1,0	140	390	40
6	Вика	1,8	100	330	45
7	Люцерна	1,4	115	335	50
8	Горох полевой	3,0	150	400	55

Окончание таблицы 5.1

Номер варианта	Обрабатываемые семена	Напряжение на рабочем органе U, кВ	Радиус барабана Rб, мм	Ширина барабана вб, мм	Угол действия сил Θ , град
9	Пшеница	2,1	115	360	50
10	Овес	1,6	120	365	40
11	Рожь	1,4	125	375	30
12	Клевер	0,6	130	380	45
13	Лен	1,2	135	385	50
14	Вика	1,8	95	325	40
15	Люцерна	1,4	100	325	60
16	Горох полевой	4,0	155	410	65
17	Пшеница	2,2	105	350	65
18	Овес	1,7	115	365	55
19	Рожь	1,9	125	370	50
20	Клевер	0,7	140	375	50
21	Лен	1,3	130	380	60
22	Вика	1,8	90	320	50
23	Люцерна	1,6	105	325	55
24	Горох полевой	5,0	160	420	50
25	Пшеница	2,3	125	380	40

6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИОНИЗАТОР ВОЗДУХА

Задача расчета. Определить размеры разрядного устройства, напряжение и мощность источника питания.

Исходные данные. Вид, возраст и способ содержания животных или птицы, рекомендуемая концентрация аэроионов в помещении и др.

Последовательность расчета. По виду и возрасту животных определяют концентрацию аэроионов в помещении (таблица 6.1), принимают конструктивное исполнение разрядного устройства и расчетную схему (таблица 6.2).

Определяют напряжение зажигания короны U_3 (таблица 6.2). Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации аэроионов, U_p ,

$$U_p = U_3 + \frac{ne}{4\epsilon_0} R^2 \quad \text{или} \quad U_p = U_3 + \frac{ne}{4\epsilon_0} h^2, \quad (6.1)$$

где n – концентрация аэроионов в помещении, ион/м³ (таблица 6.1);
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд аэроиона (принят равным заряду электрона);

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Ток (i, I) разрядного устройства, А/м или А (таблица 6.2). Ток на единицу длины провода в 100...150 раз больше тока ворсинки (для разрядного устройства, выполненного из провода ПВД1×2).

Поток аэроионов, ион/м·с или ион/с,

$$N_i = \frac{i}{e}; \quad N_I = \frac{I}{e}. \quad (6.2)$$

Длина разрядной линии l_i или количество разрядных игл k_u :

$$l_i = \frac{nV}{N_i \tau}; \quad k_u = \frac{nV}{N_I \tau}, \quad (6.3)$$

где V – объем помещения, м³;

τ – средняя продолжительность жизни аэроиона ($\tau = 10$ с).

Ток разрядной линии I_{pi} или разрядных игл I_{pl}

$$I_{pi} = iI_i, \quad I_{pl} = k_u I. \quad (6.4)$$

Мощность разрядной линии

$$P_p = k_3 I_{pi} U_p; \quad P_p = k_3 I_{pl} U_p, \quad (6.5)$$

где $k_3 = 1,1 \dots 1,2$ – коэффициент, учитывающий понижение напряжения в сети.

Мощность источника питания

$$P_u = P_p / \eta, \quad (6.6)$$

где $\eta = 0,1 \dots 0,2$ – КПД источника питания и линии, соединяющей источник с разрядным устройством.

Таблица 6.1

Зоотехнические рекомендации по дозам и режимам ионизации воздуха в помещении

Вид животных, птицы	Концентрация отрицательных аэроионов n , 10^{11} ион/м ³	Режим аэроионизации в течение суток
Телята до 1 мес.	2,0	Ежедневно по 6...8 ч
Коровы	2,5	В течение 15...20 дней по 5...8 ч, перерыв на 15...20 дней, повтор
Быки-производители	3,0	В течение 2 мес. по 8...10 ч, перерыв на 20...30 дней, повтор
Поросята	4,0	В течение 3...4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор
Свиньи	5,0	В течение 3...4 недель по 0,5 ч 2 раза в день, перерыв 1 мес., повтор

Окончание таблицы 6.1

Вид животных, птицы	Концентрация отрицательных аэроионов n , 10^{11} ион/м ³	Режим аэроионизации в течение суток
Цыплята	0,25	Возраст 3...20 дней – 1...2 ч 20...40 дней – 3 ч, 40...60 дней – 4 ч
Птица	0,3...1,6	Возраст 60...80 сут – от 0,5 до 4 ч, 80...100 дней – от 5 до 10 ч Чередование: 5 дней – ионизация, 5 дней – перерыв
Бройлеры	0,65	3...18 суток – 0,5 ч, 11...40 суток – 2 ч, 40...65 суток – 3 ч. Три дня – ионизация, три дня – пауза
Куры несушки	1,5...2,5	Увеличение от 4 до 12 ч. Чередование: 1 мес. – ионизация, 1 мес. – перерыв
Инкубаторы	0,13	Круглосуточно 19 дней

Таблица 6.2

Схемы и формулы к расчету разрядных устройств аэроизонизаторов

Схема расположения коронирующих электродов	Коаксиальные цилиндры	2. Провод-плоскость	3. Провод между плоскостями	4. Игла-плоскость
Напряжение зажигания короны, В, при атмосферном давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па и 20°C	$U_3 = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{R}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{2h}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r}}\right) r \ln\left(\frac{4h}{r}\right)$	$U_3 = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{r_3}}\right) r_3 \ln\left(\frac{2h}{r_3}\right)$
Ток короны	$i = \frac{8\pi\epsilon_0 k U_p (U_p - U_3)}{R^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right)}, \frac{\text{A}}{\text{м}}$	$i = \frac{\pi^2 \epsilon_0 k U_p (U_p - U_3)}{h^2 \ln\left(\frac{2h}{r}\right)}$	$i = \frac{4\pi\epsilon_0 k U_p (U_p - U_3)}{2h^2 \ln\left(\frac{4h}{r}\right)}$	$i = \frac{1,5\epsilon_0 k \cdot \left(1 + \frac{0,042}{h}\right) U_p (U_p - U_3)}{h(1 + 1,5 \cdot 10^7 r_3)}$

r, R – радиусы коронирующего и осадительного электродов, м;

h – расстояния между коронирующим и осадительным электродами (плоскостью), м;

r_3 – радиус закругления иглы, м;

$k = 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ – подвижность аэроионов;

U_p – напряжение на разрядной линии

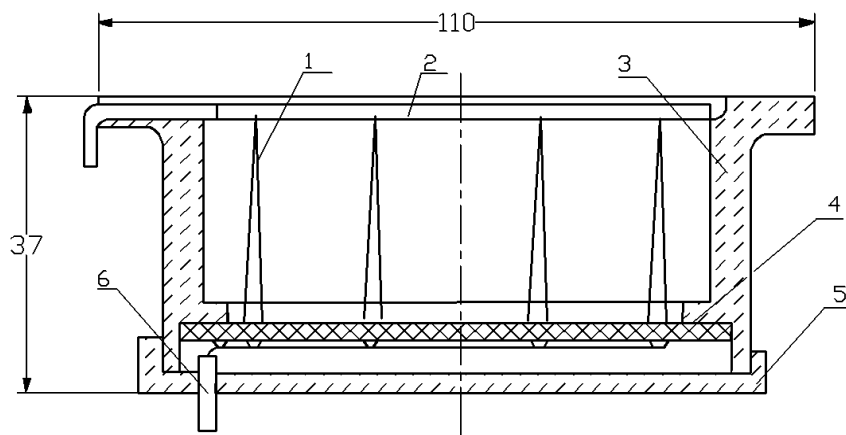


Рис. 6.1. Игольчатый электроразрядник: 1 – игла швейная № 3; 2 – провод экранирующий; 3 – корпус; 4 – основание для крепления игл; 5 – крышка изоляционная; 6 – провод токоподводящий

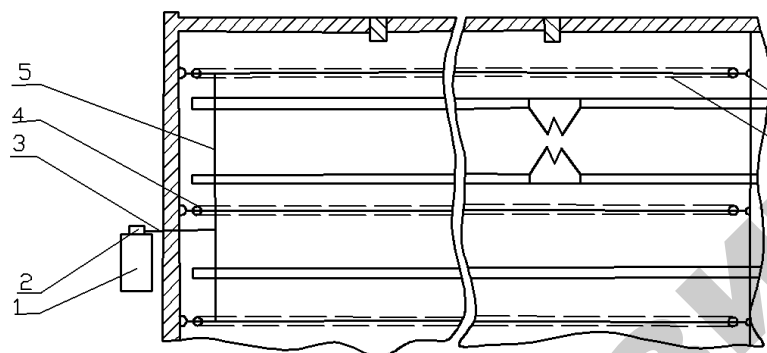


Рис. 6.2. Схема размещения аэроионизационной установки в животноводческом помещении: 1 – щит силовой; 2 – блок питания аэроионизатора; 3, 5 – кабель РК-75-17-21, соединяющий блок питания с разрядной линией; 4 – изоляторы; 6 – трос; 7 – линия разрядная (провод ПБД 1×2)

Пример 6.1. Рассчитать разрядное устройство аэроионизатора для помещения, в котором содержат телят в возрасте до 1 месяца. Размеры помещения и схема размещения животных показаны на рисунке 6.3. Расчетная высота 4 м.

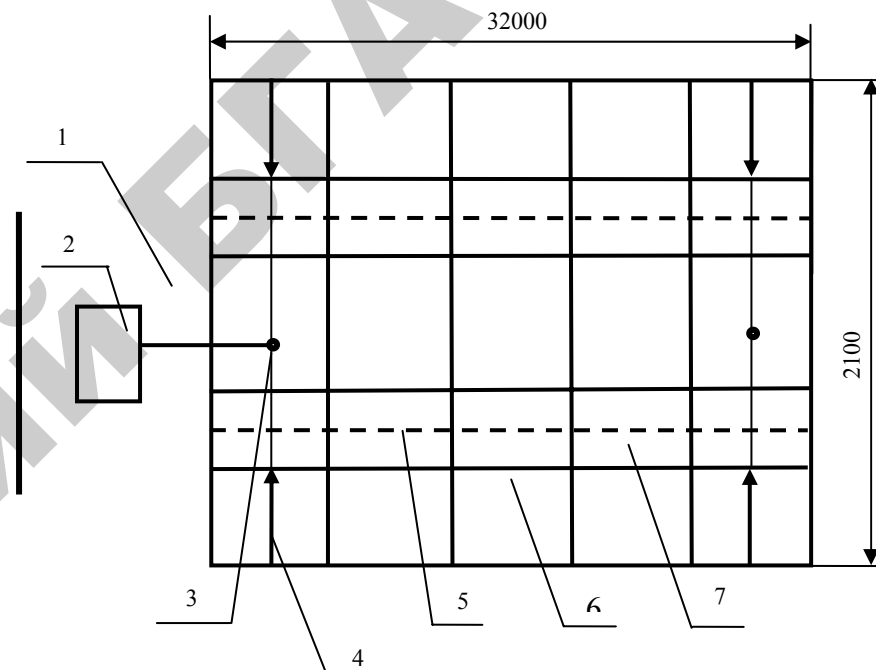


Рис. 6.3. План помещения с оборудованием для ионизации воздуха: 1 – тамбур; 2 – блок питания и управления; 3 – токоподводящие кабели; 4 – изоляторы, трос; 5 – провода разрядной линии; 6 – зона содержания телят; 7 – проход

Концентрация отрицательных аэроионов для телят возрастом до 1 месяца составляет $2 \cdot 10^{11}$ ион/м³ (таблица 6.1). Продолжительность ионизации воздуха – 6...8 ч в сутки.

Разрядное устройство выполняем из провода ПБД1×2. Провода натягиваем в помещении на высоте > 2,5 м от пола над зоной содержания животных. Расчетная схема расположения коронирующих электродов соответствует позиции 3 в таблице 6.2. Радиус коронирующего электрода равен радиусу ворсинок хлопчатобумажной оплетки провода $r = 3 \cdot 10^{-5}$ м. Высота h между коронирующим

проводом и полом составляет 2,5 м, потолком – 1,5 м. Расчетную высоту принимаем $h = 2,5$ м.

Напряжение зажигания короны (таблица 6.2):

$$U_3 = 30,3 \cdot 10^5 \left(1 + \frac{0,0298}{\sqrt{3 \cdot 10^{-5}}}\right) \cdot 3 \cdot 10^{-5} \ln \frac{4 \cdot 2,5}{3 \cdot 10^{-5}} = 7445 \text{ В.}$$

Напряжение, необходимое для создания требуемой концентрации аэроионов (6.1):

$$U_p = 7445 + \frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{4 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot 2,5^2 = 13095 \text{ В.}$$

Принимаем $U_p = 13100$ В.

Ток на единицу длины ворсинки хлопчатобумажной оплетки (таблица 6.2):

$$i_i = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,84 \cdot 10^{-4} \cdot 13100 \cdot (13100 - 7445)}{2 \cdot 2,25^2 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,5}{3,14 \cdot 3 \cdot 10^{-5}}} = 1,1 \cdot 10^{-8} \text{ А/м.}$$

Ток на единицу длины провода в 100...150 раз больше тока ворсинки:

$$i = 100 \cdot 1,1 \cdot 10^{-8} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ А/м.}$$

Поток аэроионов с единицы длины разрядной линии (6.2)

$$N_i = 1,1 \cdot 10^{-6} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 7 \cdot 10^{12} \text{ ион/м} \cdot \text{с.}$$

Длина разрядной линии (6.3)

$$l_i = 2 \cdot 10^{11} \cdot 21 \cdot 32 \cdot 4 / 7 \cdot 10^{12} \cdot 10 = 7,7 \text{ м.}$$

Разрядное устройство выполняем из трех проводов длиной по 2,6 м.

Ток разрядной линии (6.4)

$$I_{pi} = 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 7,8 = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ А.}$$

Мощность разрядной линии (6.5)

$$P_p = 1,1 \cdot 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot 13100 = 0,1 \text{ Вт.}$$

Мощность источника питания (6.6)

$$P_u = \frac{0,1}{0,2} = 0,5 \text{ Вт.}$$

Задача 6.1. Рассчитать проволочный ионизатор воздуха. Разрядное устройство выполнено проводом ПВД1×2. Расчетная схема расположения коронирующих электродов соответствует позиции 3 в таблице 6.2. Радиус коронирующего электрода равен радиусу ворсинок хлопчатобумажной оплетки провода, подвижность аэроионов $k = 1,84 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

Таблица 6.3

Номер варианта	Вид животных (птицы)	Исходные данные					
		Концентрация отрицательных аэроионов $n, 10^{11}$ ион/м ³	Продолжительность ионизации, ч	Расчетная высота помещения $H, \text{ м}$	Высота подвеса провода $h, \text{ м}$	Радиус коронирующего электрода $r, 10^{-5} \text{ м}$	Размеры помещения, м
1	Телята до 1 мес.	2,0	6...8	5,0	2,8	3,0	16×35
2	Коровы	2,5	5...8	5,6	3,1	3,5	18×50
3	Быки производители	3,0	8...10	6,0	3,5	3,0	21×68
4	Поросята	4,0	0,5	4,3	2,5	3,5	21×32
5	Свиньи	5,0	0,5	4,6	2,7	3,0	20×35
6	Цыплята	0,25	3	4,8	2,9	3,5	16×25
7	Птица	0,5	0.5...4	5,7	3,0	3,0	18×27
8	Бройлеры	0,65	2.0	5,5	3,1	3,5	16×31
9	Куры-несушки	1,5	4...12	5,9	3,4	3,0	18×29
10	Телята до 1 мес.	2,0	6...8	5,2	3,0	3,5	18×57
11	Коровы	2,5	5...8	4,0	3,0	3,0	18×9
12	Быки-производители	3,0	8...10	5,8	3,2	3,5	68×18
13	Поросята	4,0	0,5	4,9	2,7	3,0	18×52
14	Свиньи	5,0	0,5	5,9	3,4	3,5	6×21
15	Цыплята	0,25	3,0	5,0	2,7	3,0	12×18
16	Птица	1,0	0.5...4	5,8	3,2	3,5	12×20
17	Бройлеры	0,65	2,0	4,7	2,9	3,0	9×26
18	Куры-несушки	2,0	4...12	5,5	3,2	3,5	12×12

Окончание таблицы 6.3

Номер варианта	Вид животных (птицы)	Концентрация отрицательных аэроионов $n, 10^{11}$ ион/м ³	Продолжительность ионизации, ч	Расчетная высота помещения $H, м$	Высота подвеса провода $h, м$	Радиус коронирующего электрода $r, 10^{-5} м$	Размеры помещения, м
19	Телята до 1 мес.	2,0	6...8	5,0	2,9	3,2	12×24
20	Коровы	2,5	5...8	3,0	2,6	3,4	9×72
21	Быки-производители	3,0	8...10	5,5	3,0	3,2	12×76
22	Поросята	4,0	0,5	4,7	2,9	3,4	24×18
23	Свиньи	5,0	0,5	5,6	3,1	3,2	12×32
24	Цыплята	0,25	3,0	4,9	2,7	3,4	9×24
25	Куры-несушки	2,2	4...12	5,5	2,8	3,2	16×36

Задача 6.2. Рассчитать игольчатый ионизатор воздуха. Расчетная схема расположения коронирующих электродов соответствует позиции 4 в таблице 6.2. Исходные данные приведены в таблице 6.3. Радиус закругления иглы r_3 принять из таблицы 6.4.

Таблица 6.4

Радиус закругления иглы													
$r_3, 10^{-5} м$	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,5
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$r_3, 10^{-5} м$	3,0	3,5	3,0	3,5	3,0	3,4	3,2	3,4	3,2	3,4	3,2	3,4	
Номер варианта	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	

7. УСТАНОВКИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЗЕРНА

Задача расчета. Разместить стационарные облучатели в помещении зернохранилища, определить витальную облученность и время работы установки.

Исходные данные. Размеры облучаемой площадки, тип облучателя, вид обрабатываемого зерна.

Последовательность расчета.

Размещение облучателей.

Расчетная высота подвеса облучателей

$$H_p \geq \sqrt{\frac{I_0}{E_{\text{доп}}}}, \quad (7.1)$$

где I_0 – значение силы эффективного излучения при зональном угле, равном нулю;

$E_{\text{доп}}$ – допустимая облученность для данного вида обрабатываемого зерна.

Расстояние между рядами облучателей и между облучателями в ряду

$$L_B = L_A = \lambda_{\text{Э}} H_p, \quad (7.2)$$

где $\lambda_{\text{Э}}$ – относительное наимыгоднейшее расстояние, определяется по кривой витального излучения облучателя;

H_p – расчетная высота подвеса облучателей, м.

Расстояние от краев площадки до облучателей

$$l_a = l_b = (0,3...0,5) L_{A,B}. \quad (7.3)$$

Количество рядов облучателей

$$N_2 = \frac{B - 2l_e}{L_B} + 1, \quad (7.4)$$

где B – ширина облучаемой площадки.

Количество облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{A - 2l_a}{L_A} + 1, \quad (7.5)$$

где A – длина облучаемой площадки.

Общее число облучателей:

$$N_\Sigma = N_1 \cdot N_2. \quad (7.6)$$

Действительное расстояние между рядами

$$L_B = \frac{B - 2l_e}{N_2 - 1}. \quad (7.7)$$

Действительное расстояние между облучателями в ряду

$$L_A = \frac{A - 2l_a}{N_1 - 1}. \quad (7.8)$$

Расчет облучателей

а) Метод коэффициента использования эффективного потока

Индекс установки

$$i = \frac{S}{H_p (A + B)}, \quad (7.9)$$

где S – площадь облучаемой площадки;

A, B – размеры облучаемой площадки.

Средняя облученность объекта

54

$$E_{cp} = \frac{\Phi_\Sigma \cdot N_\Sigma \cdot \eta_\Sigma \cdot \kappa_\Phi}{\kappa_3 \cdot S}, \quad (7.10)$$

где Φ_Σ – эффективный поток излучателя в эффективных единицах;

N_Σ – суммарное число горелок установки ультрафиолетового облучения;

η_Σ – коэффициент использования эффективного потока;

κ_Φ – коэффициент формы (для сферы $\kappa_\Phi = 0,5$, для цилиндра $\kappa_\Phi = 0,64$);

κ_3 – коэффициент запаса, равный 1,5...2,0;

S – площадь облучаемой поверхности.

$$\text{Время облучения} \quad t = \frac{H_\Sigma}{E_{cp}}, \quad (7.11)$$

где H_Σ – рекомендуемая суточная доза облучения.

б) Точечный метод

Облученность в контрольной точке на расчетной поверхности, создаваемой совместным действием несколькими ближайшими облучателями,

$$E_\Sigma = \frac{\mu \cdot \kappa_\Phi}{H_p^2 \cdot \kappa_3} \sum I_{ai} \cdot \cos^2 \alpha_i, \quad (7.12)$$

где μ – коэффициент добавочной облученности, создаваемой неучтенными облучателями (принимается равным 1,1...1,3);

I_{ai} – сила витального излучения i -го облучателя под углом α_i к вертикальной оси симметрии облучателя.

$$\text{Время облучения} \quad t = \frac{H_\Sigma}{E_\Sigma}, \quad (7.13)$$

где H_Σ – рекомендуемая суточная доза облучения.

Пример 7.1. В помещении для ультрафиолетового обеззараживания семян пшеницы разместить стационарные облучатели. Рассчитать витальную облученность, время работы установки методами коэффициента использования эффективного потока и точечным.

Исходные данные: размеры облучаемой площадки 18×36 м, тип облучателя ОРК-2.

55

Размещаем облучатели над облучаемой площадкой.

Расчетная высота подвеса облучателей (7.1)

$$H_p \geq \sqrt{\frac{1200}{3000}} = 0,63 \text{ м.}$$

Принимаем $H_p = 0,65 \text{ м.}$

Расстояние между рядами облучателей и между облучателями в ряду (7.2)

$$L_B = L_A = 1,4 \cdot 0,65 = 0,9 \text{ м.}$$

Расстояние от краев площадки до облучателей (7.3)

$$l_a = l_g = 0,3 \cdot 0,65 = 0,2 \text{ м.}$$

Количество рядов облучателей (7.4)

$$N_2 = \frac{18 - 2 \cdot 0,2}{0,9} + 1 = 20,6 \approx 21 \text{ ряд.}$$

Количество облучателей в ряду (7.5):

$$N_1 = \frac{36 - 2 \cdot 0,2}{0,9} + 1 = 40,6 \approx 41.$$

Общее число облучателей (7.6)

$$N_{\Sigma} = 41 \cdot 21 = 861.$$

Действительное расстояние между рядами (7.7)

$$L_B = \frac{18 - 2 \cdot 0,2}{21 - 1} = 0,9 \text{ м.}$$

Действительное расстояние между облучателями в ряду (7.8)

$$L_A = \frac{36 - 2 \cdot 0,2}{41 - 1} = 0,9 \text{ м.}$$

Расчет облучателей

а) Метод коэффициента использования эффективного потока

Индекс установки определяем по формуле (7.9):

$$i = \frac{18 \cdot 36}{0,65 \cdot (36 + 18)} = 18,5.$$

По таблице 7.1 определяем $\eta_{\Sigma} = 0,62.$

По таблице 7.2 определяем $\Phi_{\Sigma} = 4750$ мвит и рассчитываем среднюю облученность (формула 7.10):

$$E_{\text{ср}} = \frac{4750 \cdot 861 \cdot 0,62 \cdot 0,64}{2 \cdot 18 \cdot 36} = 1252 \text{ мвит/м}^2.$$

Время облучения (7.11)

$$t = \frac{1540}{1252} = 1,23 \text{ ч.}$$

Таблица 7.1

Значение коэффициента использования эффективного потока

Индекс установки	Облучатели с лампами ДРТ в стандартной арматуре	Облучатели с лампами ЛЭ и ЛЭО в стандартной арматуре
0,5	0,16	0,20
0,6	0,21	0,24
0,7	0,29	0,28
0,8	0,33	0,31
0,9	0,36	0,34
1,0	0,37	0,36
1,1	0,39	0,39
1,25	0,41	0,42
1,5	0,44	0,46
1,75	0,46	0,49
2,0	0,49	0,52
2,25	0,51	0,54
3,0	0,56	0,58
3,5	0,59	0,60
4,0	0,60	0,62
5,0	0,62	0,64

Таблица 7.2

Технические характеристики ультрафиолетовых ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лк	Витальный поток, мвит	Бактерицидный поток, мбк	Срок службы, ч
ЛЭ-15	15	127	40	300	55	3000
ЛЭО-15	15	127	650	110	-	5000
ЛЭЗО-1	30	220	110	750	125	5000
ЛЭР-40	40	220	120	1600	-	1500
ДРТ-400	400	220	8000	4750	10500	2500
ДРВЭД-220-160	160	220	2100	350	-	1500

б) Точечный метод

Вычерчиваем план помещения и намечаем контрольную точку с максимальной облученностью (см. рис. 7.1). Нумеруем облучатели и по формуле $\alpha_i = \text{arctg}(d_i / H_p)$ вычисляем угол α_i между векторами силы излучения i -го излучателя в направлении контрольной точки и вертикальной осью симметрии. Пользуясь кривыми силы витального излучения (рис. 7.2) по углу α_i определяем значение силы излучения I_{ai} . По формуле (7.12) вычисляем облученность в контрольной точке от принятых облучателей. При расчете учитываем «ближайшие» облучатели. Результаты расчетов представим в виде таблицы 7.3.

Рассчитываем время облучения по формуле (7.13).

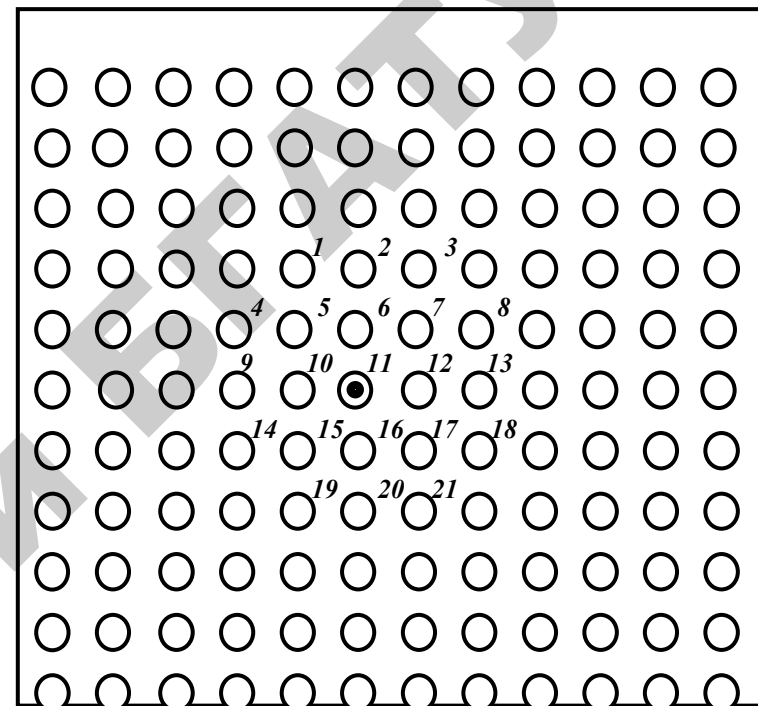


Рис. 7.1. К расчету облучательной установки точечным методом

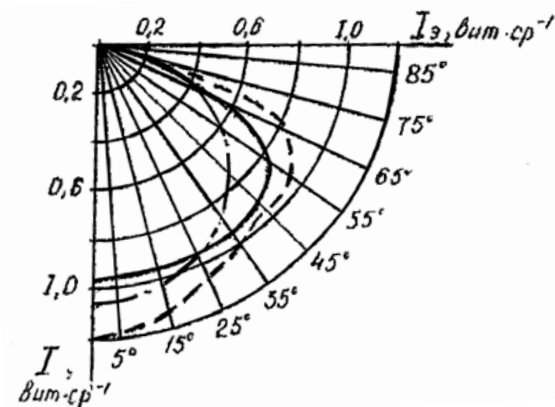


Рис. 7.2. Кривые пространственного распределения силы витального излучения облучателей установки УО-4М (—), ОРК-2 (---) и кривая $I = I_0 \cos \alpha$ (- . - . -)

Таблица 7.3

Расчет витальной облученности в контрольной точке

Номера облучателей	Расстояние от контр. точки до проекции i -го облучателя d_{i2} , м	Угол α_i , град	Сила излучения I_{ai} , мвит/ср	$\cos^2 \alpha_i$	Витальная облученность E_{2i} , мвит/м ²
1	2,0	72,0	-	0,095	-
2	1,8	70,2	500	0,115	7,6
3	2,0	72,0	-	0,095	-
4	2,0	72,0	-	0,095	-
5	1,27	62,9	830	0,207	22,8
6	0,9	54,2	920	0,342	41,8
7	1,27	62,9	830	0,207	22,8
8	2,0	72,0	-	0,095	-
9	1,8	70,2	500	0,115	7,6
10	0,9	54,2	920	0,342	41,8
11	0	0	1200	1,0	159,6
12	0,9	54,2	920	0,342	41,8
13	1,8	70,2	500	0,115	7,6
14	2,0	72,0	-	0,095	-
15	1,27	62,9	830	0,207	22,8
16	0,9	54,2	920	0,342	41,8
17	1,27	62,9	830	0,207	22,8
18	2,0	72,0	-	0,095	-
19	2,0	72,0	-	0,095	-
20	1,8	70,2	500	0,115	7,6
21	2,0	72,0	-	0,095	-
					$\sum E_i =$ 448,4

Время облучения определяется по формуле (7.13):

$$t = \frac{1540}{448,4} = 3,43 \text{ ч.}$$

Задача 7.1. Разместить стационарные облучатели в помещении для ультрафиолетового обеззараживания семян различных культур. Рассчитать витальную облученность, время работы установки методами коэффициента использования эффективного потока и точечным. Исходные данные приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4

Исходные данные

Номер варианта	Вид семян	Размеры облучаемой площадки	Тип облучателя	Доза (эритемного) витального облучения, мвит·ч/м ²	Допустимая облученность, мвит/м ²
1	Пшеница	12×24	ЭО-1	2800	3000
2	Кукуруза	18×36	ЭО-2	3500	4000
3	Рожь	18×72	ОРК-2	1540	3000
4	Ячмень	24×56	ОРК-2	1540	3000
5	Овес	18×80	ЭО-1	2800	3000
6	Клевер	12×36	ЭО-2	3500	4000
7	Лен	14×72	ОРК-2	1540	4000
8	Вика	18×54	ЭО-1	2800	3000
9	Люцерна	12×52	ОРК-2	1540	4000
10	Горох полевой	12×64	ОРК-2	1540	4000
11	Пшеница	24×46	ЭО-1	1540	3000
12	Кукуруза	36×54	ОРК-2	1540	4000
13	Рожь	24×24	ЭО-1	2800	3000

Окончание таблицы 7.4

Номер варианта	Вид семян	Размеры облучаемой площадки	Тип облучателя	Доза (эритемного) витального облучения, мвит·ч/м ²	Допустимая облученность, мвит/м ²
14	Ячмень	18×24	ЭО-2	2800	3000
15	Овес	36×36	ОРК-2	1540	3000
16	Клевер	24×36	ЭО-1	2800	4000
17	Лен	36×72	ЭО-2	3500	4000
18	Вика	24×56	ОРК-2	1540	3000
19	Люцерна	24×42	ЭО-2	3500	4000
20	Горох полевой	18×42	ЭО-1	2800	4000
21	Пшеница	24×48	ОРК-2	1540	3000

8. ИНФРАКРАСНАЯ СУШКА СЕЛЬХОЗМАТЕРИАЛОВ

Задача расчета. Определить необходимую облученность материала, время нагрева, выбрать тип излучателей и разместить их в установке.

Исходные данные. Температура материала, его оптические и теплофизические свойства, производительность установки, допустимая скорость нагрева и др.

Последовательность расчета. Необходимая облученность, Вт/м²,

$$E = \frac{\alpha \bar{A}(t - t_{\text{в}})}{\varepsilon}, \quad (8.1)$$

где $\alpha = 18..24 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ – коэффициент теплоотдачи от нагреваемого материала к окружающей среде;

t – конечная температура нагрева, °С;

$t_{\text{в}}$ – температура воздуха в установке, °С. Принимают на 10 °С выше начальной температуры материала $t_{\text{н}}$;

$\bar{A} = A / A_0$ – отношение площадей полной поверхности A к облучаемой ее части A_0 ;

ε – коэффициент поглощения излучения материалом (таблица 8.1).

Продолжительность сушки, с:

$$\tau = \frac{1}{D} \ln \frac{B + D(t - t_{\text{в}})}{B - D(t_{\text{н}} - t_{\text{в}})}, \quad (8.2)$$

где величины B (°C/c) D (с⁻¹) определяют по формулам:

$$B = \varepsilon E \tau / C_{\text{рн}} \bar{A}; \quad (8.3)$$

$$D = -\alpha \sigma / C_{\text{рн}}, \quad (8.4)$$

где $\sigma = A/V$ – отношение площади полной поверхности облучаемого материала к его объему, м^{-1} ;

C – удельная теплоемкость материала, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$;

ρ_n – насыпная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таблица 8.1

Ориентировочные коэффициенты поглощения излучения

Материал	Кукуруза	Ячмень	Рожь	Пшеница
ϵ	0,45	0,50	0,85	0,90

Скорость перемещения материала под излучателем, $\text{м}/\text{с}$,

$$v = m_\tau / \rho_n b \delta, \quad (8.5)$$

где m_τ – производительность установки, $\text{кг}/\text{с}$;

b – ширина облучаемой поверхности (ширина транспортера, заполненного материалом), м ;

δ – толщина облучаемого слоя, м .

Площадь облучаемой поверхности

$$A_0 = b v \tau. \quad (8.6)$$

Длина облучаемой поверхности, м ,

$$L = A_0 / b. \quad (8.7)$$

Расчетная мощность излучателей, Вт ,

$$P = \frac{k_3 E A_0}{\eta u a}, \quad (8.8)$$

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

η – энергетический КПД излучателя (таблица 8.2);

$u = 0,75 \dots 0,85$ – коэффициент эффективности излучателей;

$a = 1,07 \dots 1,09$ – коэффициент многократных отражений.

Количество излучателей (должно быть кратно трем)

$$N = P / P_1, \quad (8.9)$$

где P_1 – номинальная мощность одного излучателя, Вт .

Расстояние между излучателями l в камере облучения должно отвечать следующим условиям:

при расположении облучателей в коридорном порядке

$$l = \sqrt{P_1 u a / E}; \quad (8.10)$$

для шахматного расположения

$$l = 0,93 \sqrt{P_1 u a / E}. \quad (8.11)$$

Высоту подвеса излучателей h рассчитывают методом угловых коэффициентов. В упрощенных расчетах

$$h = l / u. \quad (8.12)$$

Пример 8.1. Рассчитать параметры установки транспортерного типа (рис. 8.1) производительностью $m_\tau = 300$ $\text{кг}/\text{ч}$ для сушки инфракрасным излучением семян пшеницы до температуры $t = 55$ $^\circ\text{C}$. Начальная температура семян $t_n = 18$ $^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость $C = 1650$ $\text{Дж}/\text{кг}\cdot^\circ\text{C}$, начальная плотность $\rho_n = 650$ $\text{кг}/\text{м}^3$. Семена поступают на транспортерную ленту слоем в одно зерно ($\delta = 3 \cdot 10^{-3}$ м).

Принимаем температуру воздуха в установке на 10 $^\circ\text{C}$ выше начальной температуры семян

$$t_b = 18 + 10 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Необходимая облученность (8.1)

$$E = \frac{24 \cdot 2 \cdot (55 - 28)}{0,9} = 1470 \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

где \bar{A} принимаем равным 2.

Отношение площади поверхности облучаемого материала к его объему

$$\tau = \bar{A} / \delta = 2 / (3 \cdot 10^{-3}) = 667 \text{ м}^{-1}.$$

Величины D , B – по (8.3), (8.4):

$$D = -\frac{24 \cdot 667}{1650 \cdot 650} = -0,15 \text{ с.}$$

$$B = \frac{0,9 \cdot 1470 \cdot 667}{1670 \cdot 650 \cdot 2} = 0,45 \text{ } ^\circ\text{C/с.}$$

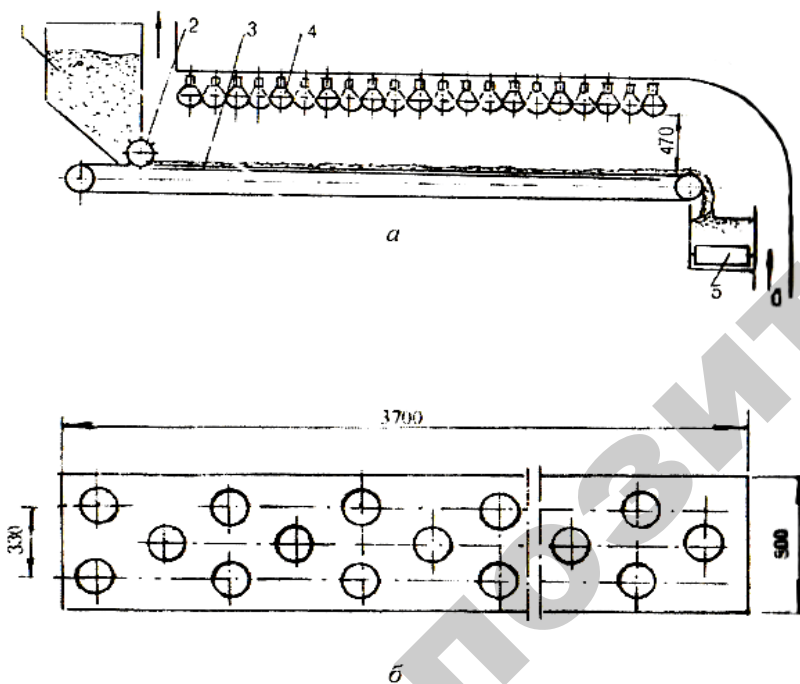


Рис. 8.1. К расчету установки инфракрасной (ИК) сушки:
а – конструктивная схема ИК сушилки зерна; б – схема размещения

Продолжительность сушки (8.2)

$$\tau = \frac{1}{-0,015} \ln \frac{0,45 + (-0,015)(55 - 28)}{0,45 - (-0,015)(18 - 28)} = 74 \text{ с.}$$

Принимаем по конструктивным соображениям ширину транспортерной ленты $b = 0,8$ м. Скорость перемещения семян (8.5)

$$v = \frac{300}{3600 \cdot 650 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = 0,05 \text{ м/с.}$$

Площадь облучаемой поверхности (8.6)

$$A_0 = 0,8 \cdot 0,05 \cdot 74 = 2,96 \text{ м}^2.$$

Рабочая длина транспортера (8.7)

$$L = 2,96 / 0,8 = 3,7 \text{ м.}$$

Расчетная мощность излучателей (8.8)

$$P = \frac{1,1 \cdot 1470 \cdot 2,96}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,07} = 7988 \text{ Вт.}$$

Выбираем инфракрасные лампы ИКЗ-220-250 и, в соответствии с рекомендациями (8.10), (8.11), размещаем их в шахматном порядке.

Количество ламп

$$N = 7988 / 250 = 31,9. \text{ Принимаем } N \text{ равным } 33.$$

Расстояние между лампами (8.11)

$$l = 0,93 \sqrt{250 \cdot 0,7 \cdot 1,07 / 1470} = 0,33 \text{ м.}$$

Длина облучаемой части транспортера (рис. 8.1)

$$L = 11 \cdot 0,33 = 3,63 \text{ м,}$$

практически не отличается от ранее полученного значения L (где 11 – число промежутков между лампами и краями облучаемой поверхности).

Высота подвеса ламп (8.12)

$$h = \frac{0,33}{0,7} = 0,47 \text{ м.}$$

Задача 8.1. Рассчитать основные параметры установки транспортерного типа (рис. 8.1) для прогрева инфракрасным излучением семян. Семена поступают на транспортерную ленту слоем в одно зерно.

Таблица 8.2

Характеристика ламп для инфракрасного нагрева

Тип лампы	Напряжение, В	Мощность, Вт	Цветовая температура, К	Габариты, мм		λ_{\max} , мкм	η
				длина	диаметр		
ИКЗК 127-250	127	250	2350 ± 100	130	185	1,5...1,15	0,65...0,80
ИКЗС 127-250-1	127	250			185		
ИКЗ 127-250	127	250			215		
ИКЗ 127-500	127	500			267		
ИКЗ 127-500-1	127	500			195		
ИКЗК 220-250	220	250			185		
ИКЗС 220-250-1	220	250			185		
ИКЗ 220-250	220	250			215		
ИКЗ 220-500	220	500			267		
ИКЗ 220-500-1	220	500			195		

Обозначение типа ламп:

ИК – инфракрасная; З – зеркальная; К – красная; С – синяя

Таблица 8.3

Исходные данные

Номер варианта	Материал	Производительность установки m_{τ} , кг/ч	Начальная температура семян $t_{\text{н}}$, °С	Конечная температура семян $t_{\text{к}}$, °С	Удельная теплоемкость материала C , Дж/кг·°С	Насыпная плотность $\rho_{\text{н}}$, кг/м ³	Толщина слоя δ , м	Отношение полной площади поверхности слоя семян к облучаемой: \bar{A}/A_0
1	Пшеница	300	18	55	1650	760	3,0	2,0
2	Рожь	400	15	50	660	720	3,5	2,4

Окончание таблицы 8.3

Номер варианта	Материал	Производительность установки m_{τ} , кг/ч	Начальная температура семян $t_{\text{н}}$, °С	Конечная температура семян $t_{\text{к}}$, °С	Удельная теплоемкость материала C , Дж/кг·°С	Насыпная плотность $\rho_{\text{н}}$, кг/м ³	Толщина слоя δ , м	Отношение полной площади поверхности слоя семян к облучаемой: \bar{A}/A_0
3	Ячмень	500	20	60	1330	650	3,2	2,2
4	Кукуруза	450	16	65	1550	700	4,0	2,6
5	Пшеница	400	13	50	1465	760	3,0	2,0
6	Рожь	500	14	55	670	720	3,5	2,4
7	Ячмень	400	15	65	1350	650	3,2	2,2
8	Кукуруза	300	16	60	1550	700	4,0	2,6
9	Пшеница	450	17	50	1500	760	3,0	2,0
10	Рожь	300	18	55	680	720	3,5	2,4
11	Ячмень	400	13	60	1400	650	3,2	2,2
12	Кукуруза	500	14	65	1550	700	4,0	2,6
13	Пшеница	500	15	70	1510	760	3,0	2,0
14	Рожь	500	16	50	690	720	3,5	2,4
15	Ячмень	500	17	55	1450	650	3,2	2,2
16	Кукуруза	500	18	60	1550	700	4,0	2,6
17	Пшеница	500	19	65	1520	760	3,0	2,0
18	Рожь	500	20	70	700	720	3,5	2,4
19	Ячмень	500	13	50	1500	650	3,2	2,2
20	Кукуруза	500	14	55	1550	700	4,0	2,6
21	Пшеница	500	15	60	1530	760	3,0	2,0
22	Рожь	500	16	65	790	720	3,5	2,4
23	Ячмень	500	17	70	1590	650	3,2	2,2
24	Кукуруза	500	18	55	1550	700	4,0	2,6
25	Пшеница	500	19	60	1540	760	3,0	2,0

9. УСТАНОВКИ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА

Задача расчета. Определить заряд аэрозольной частицы, концентрацию частиц в помещении, объемный расход аэрозоля, ток генератора и частоту вращения распыливающего диска.

Исходные данные. Размеры помещения зернохранилища, радиус заряженной аэрозольной частицы и распыливающего диска, напряжение на диске, объемный расход аэрозольной жидкости в помещении и др.

Последовательность расчета.

Минимально необходимый заряд частицы, Кл,

$$q = \frac{4}{3} \pi r^3 \sqrt{\frac{g S \rho_{\text{ж}}^2 \varepsilon_0}{V \beta}}, \quad (9.1)$$

где V – объем помещения, м^3 ; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; r – радиус заряженной частицы, м;
 $\beta = 0,2 \dots 0,3 \cdot 10^{-3}$ $\text{кг}/\text{м}^3$ – концентрация жидкой фазы в аэрозоле.

Концентрация частиц в помещении, $1/\text{м}^3$,

$$n_1 = \frac{3\beta}{4\pi r^3 \rho_{\text{ж}}}. \quad (9.2)$$

Производительность аэрозольного генератора, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$Q_1 = \frac{Q}{n_{\Gamma}}, \quad (9.3)$$

где Q – объемный расход аэрозольного препарата в помещении, $\text{м}^3/\text{с}$;
 n_{Γ} – число аэрозольных генераторов в помещении.

Ток аэрозольного генератора, А,

$$I_{\Gamma} = \frac{3Q_1 q}{4\pi r^3}. \quad (9.4)$$

Линейная скорость движения пленки аэрозольной жидкости по поверхности распылительного диска в момент отрыва, м/с,

$$v_{\text{п}} = \frac{I_{\Gamma}}{\left[k_q 2\pi R \varepsilon_0 U (\varepsilon_1 / d_1 + \varepsilon_2 / d_2) \right]}, \quad (9.5)$$

где $k_q = 0,5$ – коэффициент, учитывающий влияние неучтенных факторов на зарядку аэрозолей;

R – радиус распыливающего диска, м;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – относительная диэлектрическая проницаемость соответственно диэлектрического слоя и диэлектрического диска;

d_1, d_2 – толщина соответственно диэлектрического слоя и диска, м;

U – напряжение на распыливающем диске, В.

Частота вращения распыливающего диска, рад/с,

$$\omega = \sqrt{\frac{32v_{\text{п}}^3 \pi^2 \eta_{\text{ж}} R}{9\rho_{\text{ж}} Q_1^2}}, \quad (9.6)$$

где $\eta_{\text{ж}}$ – динамическая вязкость распыливаемой жидкости, Па·с.

Пример 9.1 Рассчитать для зернохранилища площадью $S = 18 \times 96 \text{ м}^2$ и высотой $h = 4$ м параметры процесса и установки для электроаэрозольной обработки зерна.

Исходные данные: $r = 1,6 \cdot 10^{-6}$ м; $R = 0,15$ м; $U = 1,5$ кВ;
 $Q = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$; $\rho_{\text{ж}} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$; $k_u = 1$; $\eta_{\text{ж}} = 1,6 \cdot 10^{-3}$ Па·с; $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 4$; $d_1 = d_2 = 4 \cdot 10^{-3}$ м.

Минимально необходимый заряд частицы (9.1)

$$q = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-6})^3 \sqrt{\frac{9,81 \cdot (1 \cdot 10^3)^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}} = 5 \cdot 10^{-18} \text{ Кл.}$$

Концентрация частиц в помещении (9.2)

$$n_1 = \frac{3 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1 \cdot 10^3} = 1,46 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}.$$

Принимаем, что в зернохранилище используются 4 аэрозольных генератора. Производительность одного аэрозольного генератора по жидкости (9.3)

$$Q_1 = \frac{5 \cdot 10^{-6}}{4} = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ток аэрозольного генератора (2.4)

$$I_r = \frac{3 \cdot 1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-18}}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-6})^3} = 0,36 \cdot 10^{-6} \text{ А}.$$

Линейная скорость движения жидкостной пленки (9.5)

$$v_{\text{пл}} = \frac{0,36 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,15 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 8} = 0,03 \text{ м/с}.$$

Частота вращения распыливающего диска (9.6)

$$\omega = \sqrt{\frac{32 \cdot (3 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 3,14^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,15}{9 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot (1,25 \cdot 10^{-6})^2}} = 12,06 \text{ рад/с}$$

или 115 мин⁻¹.

Задача 9.1. Рассчитать для зернохранилища параметры процесса и установки для электроаэрозольной обработки зерна. Динамическая вязкость жидкости $\eta_{\text{ж}} = 1,65 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Исходные данные приведены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Номер варианта	Исходные данные										
	Размеры помещения, м			Радиус аэрозольной частицы $r, 10^{-6}$ м	Число аэрозольных генераторов в помещении n_r , шт.	Радиус распыливающего диска R , м	Относительная диэлектрическая проницаемость		Толщина 10^3 м		Напряжение на распыляющем диске U , кВ
	длина A	ширина B	высота h				диэлектрического слоя ϵ_1	диэлектрического диска ϵ_2	диэлектрического слоя d_1	диэлектрического диска d_2	
1	72	9	4,0	2,0	4	0,2	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0
2	78	18	3,8	2,1	4	0,3	4,5	4,5	3,2	3,2	1,5
3	68	12	4,2	2,2	5	0,4	4,3	4,3	3,4	3,4	2,0
4	68	9	3,8	2,3	3	0,1	4,0	4,0	3,6	3,6	1,0
5	96	18	4,0	2,4	5	0,2	4,5	4,5	3,8	3,8	1,5
6	78	12	3,8	2,5	4	0,3	4,3	4,3	4,0	4,0	2,0
7	92	16	4,2	2,6	4	0,4	4,0	4,0	4,2	4,2	1,0
8	72	12	4,0	2,7	5	0,1	4,3	4,3	4,4	4,4	1,5
9	72	9	4,2	2,8	3	0,2	4,5	4,5	4,6	4,6	2,0
10	96	16	3,8	2,9	5	0,3	4,0	4,0	3,0	3,0	1,0
11	78	18	4,0	1,8	4	0,4	4,3	4,3	3,2	3,2	1,5
12	84	16	4,2	2,0	4	0,1	4,5	4,5	3,4	3,4	2,0

Окончание таблицы 9.1

Номер варианта	Размеры помещения, м			Радиус аэрозольной частицы $r, 10^{-6}$ м	Число аэрозольных генераторов в помещении n_r шт.	Радиус распыливающего диска R , м	Относительная диэлектрическая проницаемость		Толщина 10^{-3} м		Напряжение на распыляющем диске U , кВ
	длина A	ширина B	высота h				диэлектрического слоя ε_1	диэлектрического диска ε_2	диэлектрического слоя d_1	диэлектрического диска d_2	
13	94	18	3,8	2,1	5	0,2	4,0	4,0	3,6	3,6	2,0
14	62	9	4,0	2,2	3	0,3	4,3	4,3	3,8	3,8	1,5
15	92	18	4,2	2,3	5	0,4	4,5	4,5	4,0	4,0	1,0
16	64	9	3,8	2,4	4	0,1	4,0	4,0	4,2	4,2	2,0
17	72	18	4,0	2,5	4	0,2	4,3	4,3	4,4	4,4	1,5
18	86	16	4,2	2,6	5	0,3	4,5	4,5	4,6	4,6	1,0
19	62	12	3,8	2,7	3	0,4	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0
20	88	18	4,0	2,8	5	0,1	4,3	4,3	3,2	3,2	1,5
21	92	9	4,2	2,9	4	0,2	4,5	4,5	3,4	3,4	1,0
22	94	12	3,8	1,8	4	0,3	4,0	4,0	3,6	3,6	2,0
23	96	16	4,0	2,1	5	0,4	4,3	4,3	3,8	3,8	1,5
24	64	12	4,2	2,2	3	0,1	4,5	4,5	4,0	4,0	1,0
25	98	18	3,0	2,3	5	0,2	4,0	4,0	4,2	4,2	2,0

10. ТРУБЧАТЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛИ (ТЭН)

Задача расчета. Определить геометрические размеры нагревательного элемента. Расчеты выполняют методом удельной поверхностной мощности и по рабочему току.

Исходные данные. Мощность ТЭНа, напряжение питания, условия теплопередачи, конструктивное исполнение, температура нагревательного элемента, поверхности ТЭНа и среды, материал нагревательного элемента, его электро- и теплофизические характеристики.

Последовательность расчета.

Метод удельной поверхностной мощности. Чертят эскиз конструктивного исполнения ТЭНа (рис. 10.1).

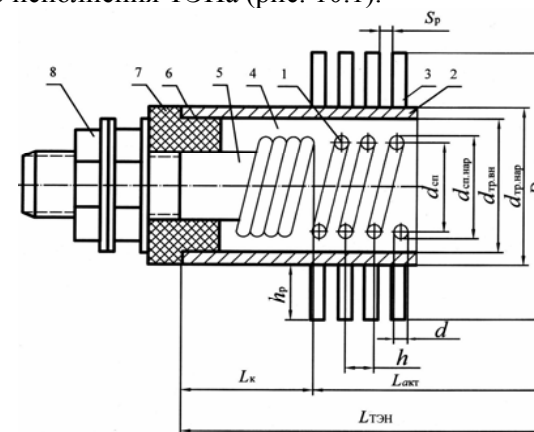


Рис. 10.1. Разрез ТЭНа с оребрением: 1 – нагревательная спираль; 2 – оболочка; 3 – алюминиевые ребра; 4 – наполнитель; 5 – контактный стержень; 6 – герметик; 7 – изолятор; 8 – контактная часть; d – диаметр проволоки; $d_{\text{сп}}$ – диаметр спирали; $d_{\text{сп.нар}}$ – наружный диаметр спирали; $d_{\text{тр.нар}}$ – наружный диаметр оболочки; $d_{\text{тр.вн}}$ – внутренний диаметр оболочки; D_p – наружный диаметр оребрения; h – шаг спирали; h_p – высота ребра; S_p – шаг оребрения; L_k – длина контактного стержня в заделке; $L_{\text{акт}}$ – длина активной (греющей) части; $L_{\text{ТЭН}}$ – развернутая длина

ТЭН (рис. 10.1) представляет собой металлическую трубку 2, заполненную теплопроводящим электроизоляционным материалом (наполнителем) 4, в котором находится нагревательная спираль 1. Концы спирали соединены с контактным стержнем 5, наружные выводы 8 которого служат для подключения ТЭНа к питающей сети. Контактные стержни изолируют от оболочки изолятором 7, а торцы герметизируют влагозащитным кремнийорганическим лаком (герметиком) 6.

Материал оболочки ТЭНа (медь, латунь, углеродистая и нержавеющая сталь) определяет его механическую прочность, химическую стойкость и зависит от его назначения.

В качестве наполнителя используют кристаллический оксид магния MgO (периклаз). Нагревательную спираль выполняют из нихрома марок Х20Н80-Н, Х60Н15-Н, техническая характеристика которого представлена в таблице 10.1.

Таблица 10.1

Техническая характеристика нихрома

Марка	Допустимая температура нагрева $t_{\text{доп}}$, °С	Температурный коэффициент сопротивления α , $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Удельное электрическое сопротивление при 20 °С ρ_{20} , $10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$
Х20Н80-Н	1100	16,8	1,10
Х15Н60-Н	1000	16,0	1,12

Расчет ведут в следующей последовательности.

1. Задают ряд значений (4–5) диаметра проволоки d в пределах 0,2...1,6 мм. Определяют диаметр спирали, м,

$$d_{\text{сп}} = (8 \dots 10)d. \quad (10.1)$$

2. Принимают зазор между спиралью и трубкой равным 2 мм, толщину стенки оболочки 1 мм и определяют:

– внутренний диаметр трубки, м,

$$d_{\text{тр.вн}} = d_{\text{сп}} + 4 \cdot 10^{-3}; \quad (10.2)$$

– наружный диаметр трубки, м,

$$d_{\text{тр.нар}} = d_{\text{тр.вн}} + 2 \cdot 10^{-3}. \quad (10.3)$$

3. Рассчитывают термическое сопротивление теплопередачи, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$:

– наполнителя

$$R_{\text{н}} = \frac{d_{\text{э1}}}{2\lambda_{\text{н}}} \ln \frac{d_{\text{тр.вн}}}{d_{\text{сп}}}, \quad (10.4)$$

где $\lambda_{\text{н}} = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ – теплопроводность наполнителя (периклаза);

$$d_{\text{э1}} = \sqrt{d_{\text{сп}} \cdot d_{\text{тр.вн}}} \text{ – эквивалентный диаметр наполнителя, м;}$$

– трубки

$$R_{\text{тр}} = \frac{d_{\text{э2}}}{2\lambda_{\text{тр}}} \ln \frac{d_{\text{тр.нар}}}{d_{\text{тр.вн}}}, \quad (10.5)$$

где $\lambda_{\text{тр}} = 15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ – теплопроводность трубки;

$$d_{\text{э2}} = \sqrt{d_{\text{тр.нар}} \cdot d_{\text{тр.вн}}} \text{ – эквивалентный диаметр трубки, м;}$$

– суммарное (от спирали к нагреваемой среде)

$$R_{\text{т}} = R_{\text{н}} + R_{\text{тр}}. \quad (10.6)$$

5. Определяют удельную поверхностную мощность, $\text{Вт}/\text{м}^2$:

– выделяемую в спирали

$$\varphi_1 = \frac{4\rho_t P_1^2}{U^2 \pi^2 d^3}, \quad (10.7)$$

где $\rho_t = \rho_{20}[1 + \alpha(t_{\text{доп}} - 20)]$ – удельное электрическое сопротивление материала спирали при температуре $t_{\text{сп}}$, Ом·м;

ρ_{20} – удельное электрическое сопротивление нихрома при 20 °С, Ом·м (таблица 10.1);

α – температурный коэффициент сопротивления нихрома, $^\circ\text{C}^{-1}$ (таблица 10.1);

$t_{\text{доп}}$ – допустимая температура нагрева спирали, °С (таблица 10.1);

– отдаваемую спиралью

$$\varphi_2 = \frac{t_{\text{тр}} - t_c}{R_T}, \quad (10.8)$$

где t_c – температура нагреваемой среды, °С.

Результаты расчета сводят в таблицу 10.2.

Таблица 10.2

Результаты расчета ТЭНа								
d , 10^{-3} м	$d_{\text{сп.}}$, 10^{-3} м	$d_{\text{тр.вн.}}$, 10^{-3} м	$d_{\text{тр.нар}}$, 10^{-3} м	$R_{\text{нп}}$, 10^{-3} М ² ·°С/Вт	$R_{\text{тп}}$, 10^{-3} М ² ·°С/Вт	$R_{\text{тв}}$, 10^{-3} М ² ·°С/Вт	φ_1 , Вт/м ²	φ_2 , Вт/м ²

По данным таблицы 10.2 на графике строят зависимости $\varphi_1(d)$ и $\varphi_2(d)$. Точка их пересечения ($\varphi_1 = \varphi_2$) дает искомый диаметр проволоки d , который округляют до ближайшего большего стандартного значения и принимают для дальнейших расчетов. Уточняют $d_{\text{сп.}}$, $d_{\text{тр.вн.}}$, $d_{\text{тр.нар}}$.

Длина проволоки:

$$l' = \frac{U^2 \pi d^2}{4 \rho_1 P_1}. \quad (10.9)$$

В процессе изготовления ТЭНа сопротивление спирали изменяется. При опрессовке ТЭНа проволока деформируется, ее сопротивление снижается на 20...24 %. Кроме того, в процессе работы материал проволоки подвергается отжигу, который повышает электрическое сопротивление нихрома на 3...5 %. Эти изменения следует учитывать путем увеличения длины проволоки, рассчитанной по (10.9), на 26 %. Окончательно длина проволоки, м,

$$l = 1,26l'. \quad (10.10)$$

Расстояние между соседними витками спирали (шаг спирали), м,

$$h = (2 \dots 4) d. \quad (10.11)$$

Количество витков спирали

$$n = \frac{l}{\sqrt{(\pi d_{\text{сп}})^2 + h^2}}. \quad (10.12)$$

Длина спирали, м,

$$L_{\text{акт}} = nh. \quad (10.13)$$

Расчет по рабочему току. Чертят эскиз нагревателя (рис. 10.1). Ток нагревательного элемента, А,

$$I = P/U, \quad (10.14)$$

где P , U – мощность ТЭНа и напряжение на нем.

Расчетная температура нагревательного элемента

$$t_{\text{расч}} = k_m k_c t_{\text{раб}}, \quad (10.15)$$

где k_m – коэффициент монтажа, учитывающий улучшение условий теплопередачи (таблица П 8.1);

k_c – коэффициент среды, учитывающий ухудшение условий теплопередачи (таблица П 8.1);

$t_{\text{раб}}$ – рабочая температура нагревательного элемента, °С:

$$t_{\text{раб}} = (0,4 \dots 0,8) t_{\text{доп}}, \quad (10.16)$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимая температура материала нагревательного элемента, °С (таблица 10.1).

По величине I и $t_{\text{расч}}$ из таблицы П 8.2 находят диаметр проволоки d . Остальные размеры определяют по формулам (10.9–10.13).

Пример 10.1. Рассчитать ТЭН мощностью 1 кВт, напряжением 220 В для нагрева воды до температуры 100 °С. Температура оболочки ТЭНа – 400 °С, спирали – 900 °С. Оболочка выполнена из углеродистой стали Ст.10, материал спирали – нихром Х20Н80-Н. Расчеты выполнить методом удельной поверхностной мощности и по рабочему току.

Выполним расчет методом удельной поверхностной мощности. Пользуясь рекомендациями, зададим диаметр проволоки d и по формулам (10.1–10.3) определим $d_{сп.}$, $d_{тр.вн.}$, $d_{тр.нар.}$.

По формулам (10.4–10.6) рассчитываем $R_{т.}$, а по (10.7–10.8) – φ_1 , φ_2 . Результаты расчетов сводим в таблицу 10.3. По результатам таблицы 10.3 строим графические зависимости $\varphi_1(d)$ и $\varphi_2(d)$ и находим значение d , при котором $\varphi_1 = \varphi_2$ (рис. 10.2). Для дальнейших расчетов принимаем $d = 0,35 \cdot 10^{-3}$ м.

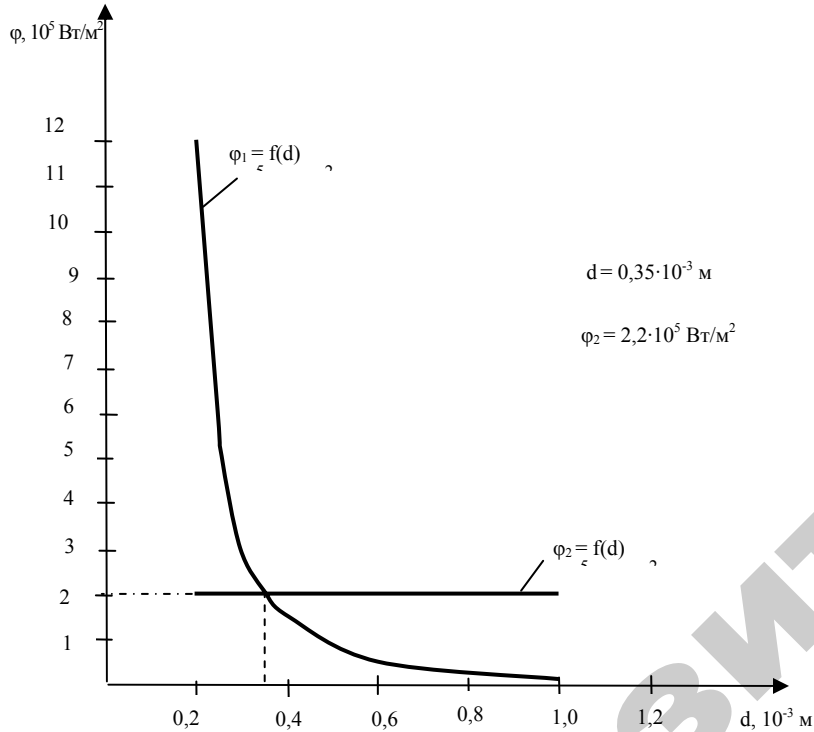


Рис. 10.2. Графическая зависимость φ от d

Длина проволоки

$$l = \frac{220^2 \cdot 3,14 \cdot (0,35 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 4,2 \text{ м.}$$

Результаты расчета к примеру 10.1

$d, 10^{-3}$ м	$d_{сп.}, 10^{-3}$ м	$d_{тр.вн.}, 10^{-3}$ м	$d_{тр.нар.}, 10^{-3}$ м	$R_{т.}, 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	0,066	$R_{т.}, 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	$\varphi_1, 10^5 \text{ Вт/м}^2$	$\varphi_2, 10^5 \text{ Вт/м}^2$
0,2	2	6	8	1,267		1,333	11,5	2,3
0,4	4	8	10	1,308		1,374	1,4	2,2
0,6	6	10	12	1,320		1,386	0,4	2,2
0,8	8	12	14	1,325		1,391	0,2	2,1

Окончательная длина проволоки (10.9)

$$l = 1,26 \cdot 4,2 = 5,3 \text{ м.}$$

Диаметр спирали (10.1)

$$d_{сп} = 10 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Внутренний диаметр трубки (10.2)

$$d_{тр.вн} = (0,35 + 4) \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Наружный диаметр трубки (10.3)

$$d_{тр.нар} = (7,5 + 2) \cdot 10^{-3} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Шаг спирали (10.11)

$$h = 2 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Количество витков спирали (10.12)

$$n = \frac{5,3}{\sqrt{(3,14 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3})^2 + (0,7 \cdot 10^{-3})^2}} = 849.$$

Длина спирали (10.13)

$$L_{\text{акт}} = 849 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} = 0,6 \text{ м.}$$

Выполним расчет по рабочему току. Ток нагревательного элемента (10.14)

$$I = 1000/220 = 4,5 \text{ А.}$$

Согласно таблице П 8.1 $k_m = 0,5$; $k_c = 2,5$.

Рабочая температура нагревательного элемента (10.16)

$$t_{\text{раб}} = 800 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Расчетная температура нагревательного элемента (10.15)

$$t_{\text{расч}} = 0,5 \cdot 2,5 \cdot 800 = 1000 \text{ }^\circ\text{C.}$$

По току и температуре $t_{\text{расч}}$ из таблицы П 8.2 находим диаметр проволоки

$$d = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Остальные размеры рассчитывают аналогично расчету методом удельной поверхностной мощности.

Задача 10.1. Рассчитать ТЭН с оболочкой из углеродистой стали Ст.10. Исходные данные принять из таблицы 10.4. Расчеты выполнить методом удельной поверхностной мощности и по рабочему току.

Таблица 10.4

Номер варианта	Исходные данные				Температура, °C	
	Мощность ТЭНа P, кВт	Напряжение питания U, В	Материал спирали	Нагреваемая среда	t_c	$t_{тр}$
1	1,0	220	X15H60-H	Неподвижная вода	70	350
2	1,2	220	X20H80-H	Поток воды	95	350
3	1,5	220	X15H60-H	Воздух со скоростью 3 м/с	35	100
4	1,8	220	X20H80-H	Воздух со скоростью 5 м/с	40	100
5	2,0	220	X15H60-H	Воздух со скоростью 10 м/с	45	100

Окончание таблицы 10.4

Номер варианта	Мощность ТЭНа P, кВт	Напряжение питания U, В	Материал спирали	Нагреваемая среда	Температура, °C	
					t_c	$t_{тр}$
6	2,2	220	X20H80-H	Неподвижный воздух	35	90
7	2,5	220	X15H60-H	Неподвижная вода	55	350
8	2,8	220	X20H80-H	Поток воды	80	350
9	1,0	380	X15H60-H	Воздух со скоростью 3 м/с	45	100
10	1,2	380	X20H80-H	Воздух со скоростью 5 м/с	35	100
11	1,5	380	X15H60-H	Воздух со скоростью 10 м/с	40	100
12	1,8	380	X20H80-H	Неподвижный воздух	40	90
13	2,0	380	X15H60-H	Неподвижная вода	95	350
14	2,2	380	X20H80-H	Поток воды	60	350
15	2,5	380	X15H60-H	Воздух со скоростью 3 м/с	35	100
16	2,8	380	X20H80-H	Воздух со скоростью 5 м/с	45	100
17	1,0	220	X20H80-H	Воздух со скоростью 10 м/с	40	100
18	1,2	220	X15H60-H	Неподвижная вода	100	350
19	1,5	220	X20H80-H	Поток воды	75	350
20	1,8	220	X15H60-H	Воздух со скоростью 3 м/с	40	100
21	2,0	220	X20H80-H	Воздух со скоростью 5 м/с	45	100
22	2,2	220	X15H60-H	Воздух со скоростью 10 м/с	35	100
23	2,5	220	X20H80-H	Неподвижный воздух	45	90
24	2,8	220	X15H60-H	Неподвижная вода	85	350
25	1,0	380	X15H60-H	Поток воды	65	350

11. ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ И АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ

Критерий выбора. Электрокалориферные установки (ЭКУ) выбирают по назначению, мощности и подаче воздуха.

Исходные данные. Технологический процесс и его характеристики, конструктивные особенности оборудования, к которому присоединяются ЭКУ и др.

Последовательность выбора. В системах вентиляции, сушки, отопления применяют электрокалориферные установки типа СФОЦ, состоящие из электрокалорифера СФО (рис. 11.2) и вентилятора. Технологическая схема сушки представлена на рисунке 11.1.

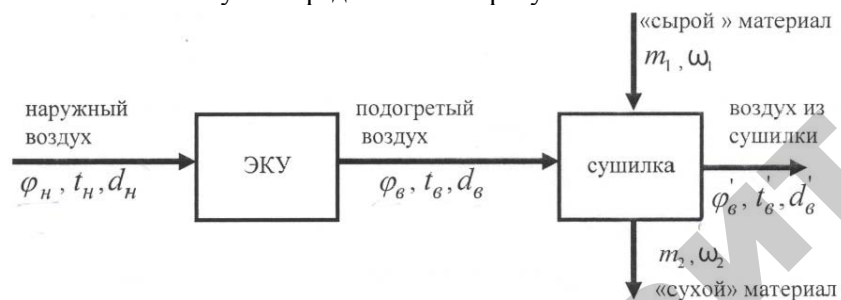


Рис. 11.1. Технологическая схема сушки: t_n, t_v, t'_v – температура наружного, подогретого и выходящего из сушилки воздуха, °С; $\varphi_n, \varphi_v, \varphi'_v$ – влажность воздуха соответственно, %; d_n, d_v, d'_v – влагосодержание воздуха соответственно, г/кг; m_1, m_2 – масса материала до и после сушки, кг; ω_1, ω_2 – начальная и конечная влажность материала, %

Необходимая мощность на подогрев воздуха при сушке материалов, Вт,

$$P = \rho_v L (h_v - h_n), \quad (11.1)$$

где $\rho_v = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при 20 °С;

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

h_n, h_v – энтальпия входящего и выходящего (подогретого) воздуха из ЭКУ, Дж/кг.

Определяют из t_n, t_v и влажности φ_n, φ_v воздуха, учитывая, что минимальное значение влажности, при котором возможна сушка или активное вентилирование материалов $\varphi_{\text{мин}} = \varphi_v = 65 \%$.

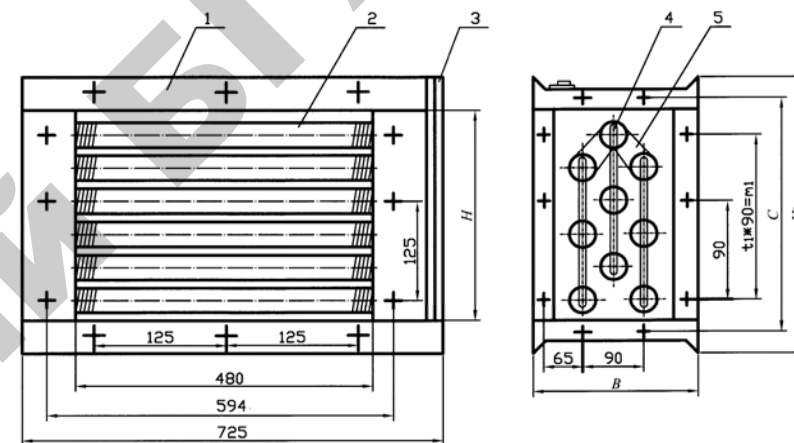


Рис. 11.2. Конструктивная схема электрокалорифера СФО:

1 – каркас; 2 – трубчатый электронагреватель (ТЭН);

3 – крышка вывода; 4 – шина соединения ТЭНов; 5 – скоба

Таблица 11.1

Основные размеры электрокалориферов СФО

Тип электрокалорифера	Размеры, мм			
	H	H ₁	C	B
СФО-5/1Т-И1	140	220	184	185
СФО-10/1Т-И1				
СФО-16/1Т-И1				
СФО-25/1Т-И1	170	250	215	244
СФО-40/1Т-И1	305	385	350	
СФО-60/1Т-И1	440	520	484	
СФО-100/1Т-И1	575	655	620	

Подача воздуха при сушке материалов, м³/с,

$$L = \frac{m_{\text{вл}} \cdot 10^3}{\rho_{\text{в}}(d_{\text{в}} - d'_{\text{в}})}, \quad (11.2)$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса влаги, удаляемая при сушке, кг/с; $d_{\text{в}}$, $d'_{\text{в}}$ – влагосодержание подаваемого (наружного) и удаляемого воздуха, г/кг (рис. 11.1).

При использовании ЭКУ для бункеров активного вентилирования относительная влажность воздуха, выходящего из сушилки, $\phi'_{\text{в}} = 80\%$. Температуру подогретого воздуха определяют по рисунку 11.3, приняв $\phi_{\text{в}} = 65\%$.

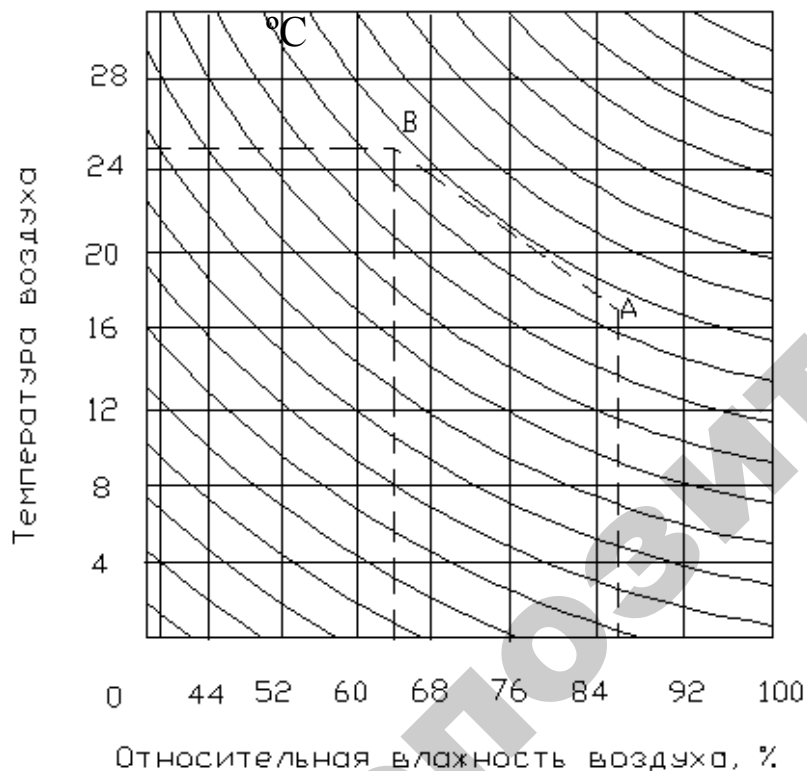


Рис. 11.3. Температура подогретого воздуха

Количество влаги, которое необходимо удалить при сушке, кг,

$$m_{\text{вл}} = \frac{m_{\tau}(\omega_1 - \omega_2)}{100 - \omega_2}, \quad (11.3)$$

где m_{τ} – производительность установки при сушке сырого материала, кг/с;

ω_1 , ω_2 – начальная и конечная влажность материала, %.

Расчетная мощность электрокалориферных установок, Вт,

$$P_{\text{ЭКУ}} = \frac{\kappa_3 \cdot P}{\eta}, \quad (11.4)$$

где $\kappa_3 = 1,05..1,1$ – коэффициент запаса;

$\eta = 0,85..0,9$ – КПД установки.

Для привода вентилятора используют трехфазный асинхронный электродвигатель серии АИР, который выбирают по мощности $P_{\text{дв}}$ и подаче $L_{\text{в}}$ (таблица П 1.2).

Подача вентилятора, м³/с,

$$L_{\text{в}} = K_1 L, \quad (11.5)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий потери и подсос воздуха в воздуховодах.

Мощность электродвигателя, Вт,

$$P_{\text{дв}} = \kappa_{\text{здв}} L_{\text{в}} \Delta p / (\eta_{\text{в}} \eta_{\text{п}}), \quad (11.6)$$

где $\kappa_{\text{здв}}$ – коэффициент запаса, зависящий от мощности (таблица 11.2);

Δp –напор вентилятора, Па;

$\eta_{\text{в}}$, $\eta_{\text{п}}$ – КПД вентилятора и передачи.

Таблица 11.2

Зависимость коэффициента запаса от мощности двигателя вентилятора

$P_{\text{дв}}$, кВт	до 0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	2,0-3,0	3,0 и больше
$\kappa_{\text{здв}}$	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1

В ЭКУ типа СФОЦ используют центробежные вентиляторы типа ВЦ-4-75. КПД вентилятора определяют в зависимости от напора Δp и подачи L_b по технологической характеристике. В расчетах η_b принять 0,7...0,85. Так как частоты вращения вентилятора и электродвигателя совпадают, то $\eta_n = 1$.

По расчетной мощности $P_{ЭКУ}$ и подаче L , необходимой на вентиляцию, сушку или другой технологический процесс, выбирают ЭКУ из числа выпускаемых промышленностью (таблица 11.6).

Проверяют выбранную ЭКУ по температуре поверхности оболочки ТЭНа $t_{тр}$, температуре воздуха, выходящего из калорифера, t_b .

Температура поверхности оболочки

$$t_{тр} = t_{ср} + P_k / (\alpha A_n), \quad (11.8)$$

где $t_{ср} = 0,5(t_n + t_b)$ – средняя температура воздуха в электрокалорифере, °С;

$$t_b = t_n + P_k \eta / (\kappa_3 L \rho_b C_b), \quad (11.9)$$

где $C_b = 1 \cdot 10^3$ Дж/(кг · °С) – удельная теплоемкость воздуха;

$A_n = A_1 z$ – общая активная (теплоотдающая) площадь поверхности ТЭНов, м²;

A_1 – активная площадь поверхности ТЭНа, м² (таблица 11.3);

z – количество ТЭНов, шт;

α – коэффициент теплоотдачи от поверхности ТЭНа к воздуху, Вт/(м²·°С).

Коэффициент теплоотдачи находят по номограмме (рис. 11.4). Для этого определяют скорость воздуха в калорифере

$$v = L / [0,48(H - z_1 \cdot d_{тр.нар})], \quad (11.10)$$

где 0,48 – ширина входного отверстия калорифера, м;

H – высота входного отверстия (окна) калорифера, м (таблица 11.1);

z_1 – число ТЭНов в одном вертикальном ряду;

$d_{тр.нар}$ – наружный диаметр трубки ТЭНа, м (таблица 11.3, рис. 11.5).

Температура $t_{тр}$ не должна превышать допустимую для выбранного материала трубки (для углеродистых сталей – не более 350 °С).

Температура воздуха на выходе $t_b \leq 50$ °С.

Если условия (11.8, 11.9) не выполняются, необходимо увеличить подачу воздуха.

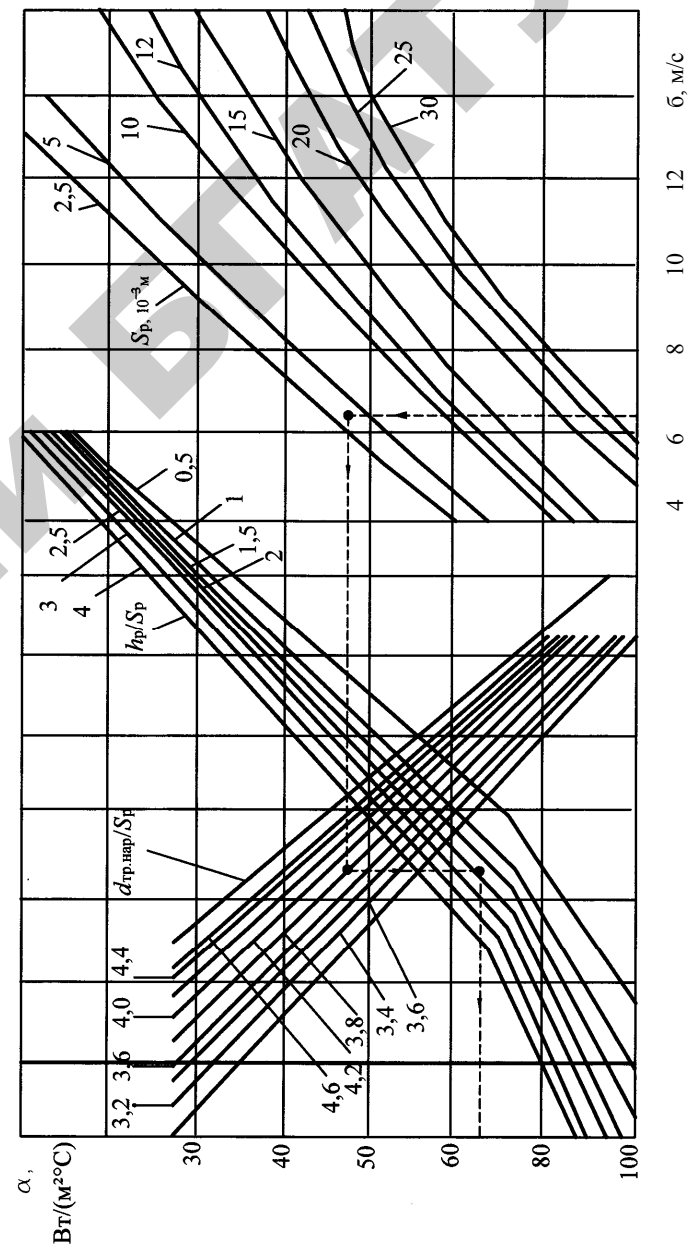


Рис. 11.4. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи от оребренных трубах электронагревателей, обогреваемых поперечных потоков воздуха

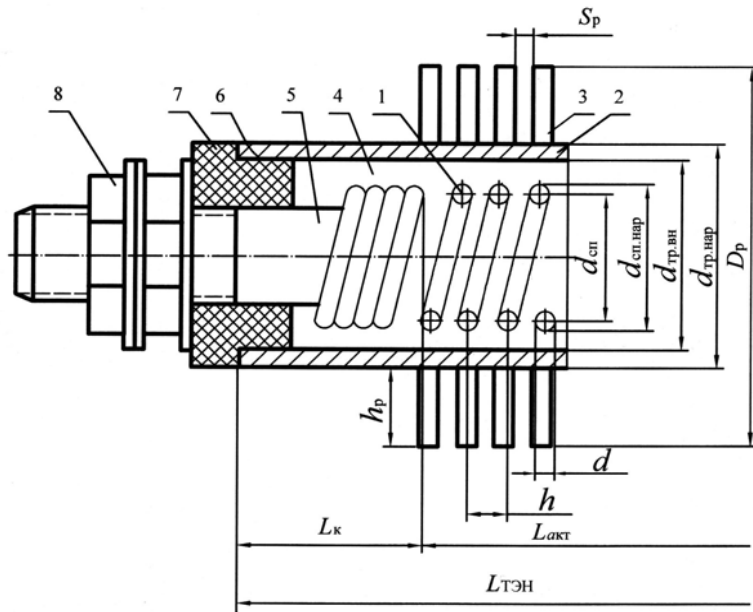


Рис. 11.5. Разрез ТЭНа с оребрением:

1 – нагревательная спираль; 2 – оболочка; 3 – алюминиевые ребра;
 4 – наполнитель; 5 – контактный стержень; 6 – герметик; 7 – изолятор;
 8 – контактная часть; d – диаметр проволоки; $d_{сп}$ – диаметр спирали;
 $d_{сп.нар}$ – наружный диаметр спирали; $d_{гр.нар}$ – наружный диаметр оболочки;
 $d_{гр.вн}$ – внутренний диаметр оболочки; D_p – наружный диаметр оребрения;
 h – шаг спирали; h_p – высота ребра; S_p – шаг оребрения; L_k – длина контактного стержня в заделке; $L_{акт}$ – длина активной (греющей) части; $L_{ТЭН}$ – развернутая длина

Таблица 11.3

Техническая характеристика ТЭНов электрокалорифера СФО

P_1 , кВт	$d_{гр.нар}$, 10^{-3} м	D_p , 10^{-3} м	S_p , 10^{-3} м	L_k , 10^{-3} м	A_1 , м ²	h_p , 10^{-3} м
1,6	13	40	3,5	40	0,26	11
2,5	16	40	3,5	40	0,30	14

Пример 11.1. Выбрать ЭКУ для бункера активного вентилирования зерна вместимостью $m = 50$ т. Зерно влажностью $\omega_1 = 20$ %, подступающее в бункер в течение $\tau = 300$ ч высушивают до влажности $\omega_2 = 14$ %. Наружный воздух имеет параметры: температура $t_n = 20$ °С, влажность $\phi_n = 85$ %. Напор вентилятора $\Delta p = 500$ Па.

Производительность установки по «сырому» зерну

$$m_\tau = \frac{m}{\tau} = \frac{50000}{3600 \cdot 300} = 0,05 \text{ кг/с.}$$

Масса влаги, которую необходимо удалить при сушке,

$$m_{вл} = \frac{0,05(20 - 14)}{100 - 14} = 0,003 \text{ кг/с.}$$

По t_n и ϕ_n из $h-d$ -диаграммы (рис. 11.6) определяем энтальпию наружного воздуха $h_n = 50$ кДж/кг.

Температуру подогретого воздуха t_b (рис. 11.3) находят следующим образом. Проводят перпендикулярную линию из точки оси абсцисс (ось, показывающая влажность воздуха), соответствующей влажности наружного воздуха $\phi_n = 85$ %, до пересечения с горизонтальной прямой температуры $t_n = 20$ °С (точка A). Из точки A проводят параллельную линию к кривой, расположенной ниже точки A , до пересечения с вертикальной линией, соответствующей влажности воздуха $\phi_n = 65$ % (точка B). Из точки B опускают перпендикуляр на ось ординат (ось, показывающая температуру воздуха) и определяют температуру подогретого воздуха, выходящего из сушилки $t_b = 24$ °С.

По t_b и ϕ_b (рис. 11.6) определяем энтальпию подогретого воздуха $h_b = 56$ кДж/кг и его влагосодержание $d_b = 12,5$ г/кг.

По $\phi_b = 80$ % и $t'_b = t_b = 24$ °С определяем влагосодержание воздуха, выходящего из сушилки $d'_b = 14$ г/кг (рис. 11.6).

Подача воздуха (11.2)

$$L = \frac{0,003 \cdot 10^3}{1,29 \cdot (14 - 12,5)} = 1,6 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Мощность, необходимая на подогрев воздуха (11.1),

$$P = 1,29 \cdot 1,6 \cdot (56 - 50) 10^3 = 12,4 \text{ кВт.}$$

Расчетная мощность электрокалорифера (11.4)

$$P_{\text{ЭКУ}} = \frac{1,1 \cdot 12,4 \cdot 10^3}{0,9} = 15,2 \text{ кВт.}$$

Подача вентилятора, м³/с (11.5),

$$L_{\text{в}} = 1,1 \cdot 1,6 = 1,76 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Мощность электродвигателя (11.6), Вт,

$$P_{\text{дв}} = 1,15 \cdot 1,76 \cdot 500 / (0,75 \cdot 1) = 1,3 \text{ кВт.}$$

Для привода вентилятора выбираем трехфазный асинхронный электродвигатель серии АИР80В4 (таблица П 1.2).

По $P_{\text{ЭКУ}} = 15,2$ кВт и $L = 1,6$ м³/с принимаем ЭКУ СФОЦ-16/0,5Т (таблица 11.1). Проверим правильность выбора.

Температура подогретого воздуха, выходящего из калорифера (11.9),

$$t_{\text{в}} = 20 + (15000 \cdot 0,9) / (1,1 \cdot 0,77 \cdot 1,29 \cdot 1000) = 32 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Средняя температура воздуха в электрокалорифере, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (20 + 32) = 26 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Общая поверхность ТЭНов

$$A_{\text{н}} = 0,26 \cdot 6 = 1,56 \text{ м}^2.$$

Скорость воздуха в калорифере (11.10)

$$v = 0,77 / [0,48(140 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 13 \cdot 10^{-3})] = 7,7 \text{ м/с.}$$

$$d_{\text{тр.нар}} / S_{\text{п}} = 13 \cdot 10^{-3} / (3,5 \cdot 10^{-3}) = 3,7 \text{ (таблица 11.3).}$$

Коэффициент теплоотдачи $\alpha = 62$ Вт/(м²· $^\circ\text{C}$) (рис. 11.4).

Температура поверхности оболочки (11.8):

$$t_{\text{тр}} = 26 + 15 \cdot 10^3 / (62 \cdot 1,56) = 181 \text{ }^\circ\text{C.}$$

$$t_{\text{тр}} < 350 \text{ }^\circ\text{C}; \quad t_{\text{в}} < 50 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Пример 11.2. Выбрать ЭКУ для сушки пшеницы влажностью $\omega_1 = 22$ %. Зерно высушивают в установке производительностью 0,07 кг/с до влажности $\omega_1 = 14$ %. Температура входящего (наружного воздуха), поступающего в ЭКУ, $t_{\text{н}} = 20$ $^\circ\text{C}$; выходящего (подогретого) – $t_{\text{в}} = 24$ $^\circ\text{C}$. Влажность воздуха, выходящего из ЭКУ,

$\varphi_{\text{в}} = 70$ %, из сушилки $\varphi_{\text{в}} = 80$ %. Напор вентилятора $\Delta p = 450$ Па. Технологическая схема сушки представлена на рисунке 11.1.

Масса влаги, удаляемая при сушке (11.3),

$$m_{\text{вл}} = \frac{0,07(22-14)}{100-14} = 0,007 \text{ кг/с.}$$

По $t_{\text{н}} = 20$ $^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{н}} = 70$ % из h - d -диаграммы (рис. 11.6) определяют энтальпию наружного воздуха $h_{\text{н}} = 46$ кДж/кг. Аналогично, зная, что $t_{\text{в}} = t'_{\text{в}} = 24$ $^\circ\text{C}$, $\varphi_{\text{в}} = 65$ %, находят энтальпию $h_{\text{в}} = 56$ кДж/кг, влагосодержание $d_{\text{в}} = 12,5$ г/кг, выходящего из ЭКУ и сушилки $d'_{\text{в}} = 14$ г/кг.

Подача воздуха (11.2)

$$L = \frac{0,007 \cdot 10^3}{1,29 \cdot (14 - 12,5)} = 3,6 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Мощность на подогрев воздуха (11.1)

$$P = 1,29 \cdot 3,6 \cdot (56 - 46) 10^3 = 46 \text{ кВт.}$$

Расчетная мощность электрокалорифера (11.4)

$$P_{\text{ЭКУ}} = \frac{1,05 \cdot 46 \cdot 10^3}{0,95} = 51 \text{ кВт.}$$

Подача вентилятора (11.5)

$$L_{\text{в}} = 1,1 \cdot 3,6 = 3,96 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Мощность электродвигателя

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,1 \cdot 3,96 \cdot 450}{0,75 \cdot 1} = 2,6 \text{ кВт.}$$

Для привода вентилятора выбираем трехфазный асинхронный электродвигатель АИР100S4 (таблица П 1.2).

По $P_{\text{ЭКУ}} = 51$ кВт и $L = 3,6$ м³/с принимаем ЭКУ СФОЦ-40/0,5Т (таблица 11.6).

Температура подогретого воздуха, выходящего из калорифера (11.9),

$$t_{\text{в}} = 20 + (45000 \cdot 0,95) / (1,05 \cdot 1,29 \cdot 1000 \cdot 1,2) = 46,3 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Средняя температура воздуха в калорифере

$$t_{\text{ср}} = 0,5(t_{\text{н}} + t_{\text{в}}) = 0,5(20 + 46,3) = 33 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Общая поверхность ТЭНов

$$A_{\text{н}} = 0,3 \cdot 18 = 5,4 \text{ м}^2.$$

Скорость воздуха в калорифере (11.10)

$$v = 1,2 / [0,48 \cdot (305 \cdot 10^{-3} - 6 \cdot 16 \cdot 10^{-3})] = 12 \text{ м/с.}$$

Шаг оребрения $S_p = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$

$$h_p / S_p = 14 \cdot 10^{-3} / (3,5 \cdot 10^{-3}) = 4;$$

$$d_{\text{тр.нар}} / S_p = 16 \cdot 10^{-3} / (3,5 \cdot 10^{-3}) = 4,6 \text{ (таблица 11.3).}$$

Коэффициент теплопередачи: $\alpha = 75 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}.$

Температура поверхности оболочки

$$t_{\text{тр}} = 33 + 45 \cdot 10^3 / (75 \cdot 5,4) = 144 \text{ °C};$$

$$t_{\text{тр}} < 350 \text{ °C}; \quad t_{\text{тр}} < 50 \text{ °C.}$$

Задача 11.1. Выбрать ЭКУ для бункера активного вентилирования зерна. Исходные данные приведены в таблице 11.4.

Таблица 11.4

Номер варианта	Вместимость бункера $m, \text{ т}$	Продолжительность сушки $\tau, \text{ ч}$	Влажность зерна, %		Температура наружного воздуха $t_{\text{н}} \text{ °C}$	Влажность наружного воздуха $\varphi_{\text{н}} \text{ %}$	Напор вентилятора $\Delta p, \text{ Па}$
			«сырого» зерна ω_1	«сухого» зерна ω_2			
1	12,5	200	20	14	20	86	500
2	50	300	19	13	19	89	450
3	25	250	18	12	18	80	400
4	6	200	20	11	20	82	550
5	12,5	300	19	12	19	84	500
6	50	350	20	13	20	84	450
7	25	300	20	14	20	85	400
8	6	250	18	14	18	86	550
9	12,5	300	15	13	15	88	500
10	50	300	16	12	16	89	450

Окончание таблицы 11.4.

Номер варианта	Вместимость бункера $m, \text{ т}$	Продолжительность сушки $\tau, \text{ ч}$	Влажность зерна, %		Температура наружного воздуха $t_{\text{н}} \text{ °C}$	Влажность наружного воздуха $\varphi_{\text{н}} \text{ %}$	Напор вентилятора $\Delta p, \text{ Па}$
			«сырого» зерна ω_1	«сухого» зерна ω_2			
11	25	350	16	11	16	90	400
12	6	300	16	11	16	82	550
13	12,5	350	18	12	18	80	500
14	50	400	17	13	17	84	450
15	6	150	19	14	19	78	450
16	12,5	350	17	14	17	80	400
17	50	340	19	13	19	82	500
18	25	240	20	12	20	84	530
19	6	180	21	11	21	84	400
20	12,5	220	17	11	17	82	450
21	50	320	18	12	18	86	500
22	25	260	16	13	16	82	450
23	6	190	20	14	20	80	400
24	12,5	240	20	14	20	80	450
25	50	360	16	13	16	78	500

Задача 11.2. Выбрать ЭКУ для сушки культур. Исходные данные приведены в таблице 11.5.

Таблица 11.5

Номер варианта	Культура	Производительность по сырому материалу, $m^3/\text{ч}$	Влажность продукта, %		Влажность воздуха, %		Температура продукта, °C		Напор вентилятора, $\Delta p, \text{ Па}$
			«сырого» материала, ω_1	«сухого» материала, ω_2	выходящего (недогретого),	входящего (недогретого),	выходящего (недогретого), $t_{\text{в}}$	входящего (недогретого),	
1	Пшеница	0,04	20	14	65	80	20	23	500
2	Кукуруза	0,07	25	16	70	85	18	22	450

Окончание таблицы 11.5

Номер варианта	Культура	Производительность по сырому материалу, т/с	Влажность продукта, %		Влажность воздуха, %		Температура продукта, °С		Напор вентилятора, Δр, Па
			«сырого» материала, ω ₁	«сухого» материала, ω ₂	выходящего (недогретого),	входящего (недогретого),	выходящего (недогретого),	входящего (недогретого), t _в	
3	Овес	0,08	22	14	70	80	22	24	400
4	Рожь	0,06	24	16	65	85	24	26	450
5	Ячмень	0,08	21	14	60	80	17	22	500
6	Гречиха	0,05	20	16	65	85	19	21	450
7	Просо	0,04	25	14	70	80	20	24	400
8	Пшеница	0,07	22	16	75	85	18	21	550
9	Кукуруза	0,05	24	14	60	80	22	25	500
10	Овес	0,06	21	16	65	85	24	26	400
11	Рожь	0,08	20	14	70	80	17	20	450
12	Ячмень	0,09	25	16	70	85	19	21	450
13	Гречиха	0,05	22	14	75	80	20	23	500
14	Просо	0,07	24	16	60	85	18	21	550
15	Пшеница	0,08	21	14	65	80	24	27	400
16	Кукуруза	0,09	20	16	70	85	20	25	450
17	Овес	0,07	25	14	70	80	22	26	500
18	Рожь	0,04	22	16	75	85	18	22	550
19	Ячмень	0,05	24	14	70	80	24	26	400
20	Гречиха	0,09	21	16	65	85	19	22	450
21	Просо	0,08	20	14	70	80	17	20	500
22	Пшеница	0,04	25	16	70	85	20	24	550
23	Кукуруза	0,09	22	14	75	80	22	25	400
24	Овес	0,04	24	16	65	85	24	26	450
25	Рожь	0,08	21	14	60	80	18	21	500

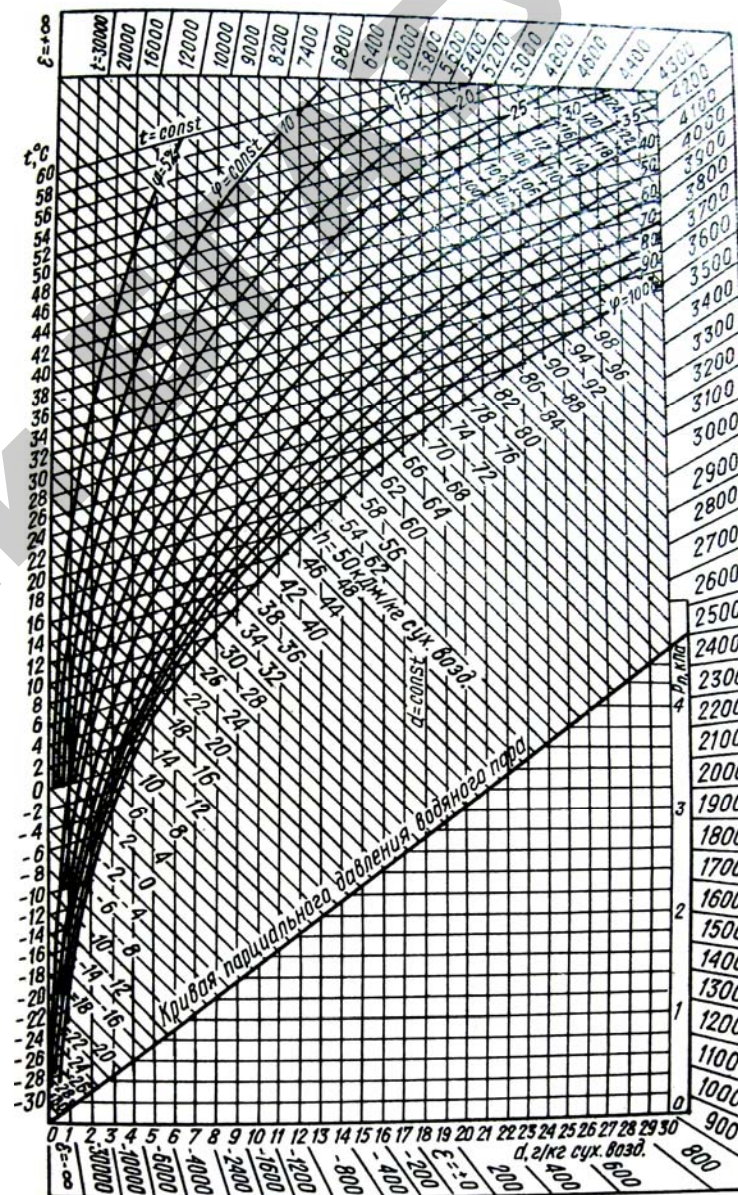


Рис. 11.6. Диаграмма влажного воздуха

Таблица 11.6

Техническая характеристика электрокалориферных установок типа СФОЦ

Показатель	СФОЦ-10/0, 5Т	СФОЦ-16/0, 5Т	СФОЦ-25/0, 5Т	СФОЦ-40/0, 5Т	СФОЦ-60/0, 5Т	СФОЦ-100/0,5Т
Мощность, кВт	9,85	15,75	23,25	46,5	69	94
В том числе электрокалорифера, кВт	9,6	15	22,5	45	67,5	90
Количество ТЭНов в одном вертикальном ряду, шт.	2	2	3	6	9	12
Количество ТЭНов, шт.	6	6	9	18	27	36
Подача воздуха, м ³ /с	0,22...0,33	0,44...0,77	0,44...0,77	0,664...1,2	0,9...1,6	1,25...2,5
Разность температур воздуха, °С	45...30	30...20	45...30	50...30	56...32	51...30
Аэродинамическое сопротивление сети, Па, не более	500	500	500	900	1000	1000

12. ЭЛЕКТРООБОГРЕВ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

Задача расчета. Выбрать конструктивное исполнение устройств обогрева почвы и воздуха, напряжения питания. Для элементного электрообогрева определить геометрические размеры нагревательного провода.

Исходные данные. Технологическое назначение и конструктивные исполнения теплицы или парника, температурные режимы выращивания растений и др.

Последовательность расчета. Принимают конструктивное исполнение нагревательного устройства и напряжение питания. При этом учитывают:

– трубные нагревательные элементы (ТНЭ), в которых натянута стальная проволока (диаметр 2...6 мм), электрообогревательные асфальтобетонные блоки подключают на сетевое напряжение 380/220 В;

– во всех остальных случаях принимают напряжение 48...65 В.

Парниковое хозяйство делят на кварталы по 18...24 парника в каждом, кварталы – на трехфазные группы. При почвенном обогреве предусматривают 3...4 почвенных ТНЭ, которые соединяют последовательно в одном парнике. Последовательно соединяют также несколько парников.

Расчетная мощность одного парника или теплицы, Вт,

$$P = \alpha_T A_{\text{пол}} k_{\text{инф}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (12.1)$$

где α_T – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С) (таблица 12.2);

$A_{\text{пол}}$ – полезная площадь теплицы, м²;

$\eta_{\text{пи}} = 0,85...0,9$ – коэффициент полезного использования инвентарной площади;

$k_{\text{инф}}$ – коэффициент инфильтрации. Для парников $k_{\text{инф}} = 1$, для теплиц $k_{\text{инф}} = 1,25...1,4$;

$t_{\text{в}}$ и $t_{\text{н}}$ – температура воздуха внутри и снаружи помещения, °С.

Расчетная мощность участка из N парников, Вт,

$$P_N = P \cdot N. \quad (12.2)$$

Мощность одной фазы, Вт,

$$P_{\text{ф}} = P_N / 3. \quad (12.3)$$

Расчет ведут на одну фазоветвь. Фазоветвь – это группа последовательно соединенных нагревателей, подключенных на фазное напряжение питания.

Мощность фазоветви, Вт,

$$P_1 = P_n, \quad (12.4)$$

где n – количество последовательно соединенных парников, шт.

Число параллельных групп, включенных в одну фазу:

$$n_1 = P_{\text{ф}} / P_1. \quad (12.5)$$

При использовании стальной проволоки в качестве нагревательного элемента ее длина на одну фазоветвь, м,

$$l_1 = m n l_{\text{ТТ}}, \quad (12.6)$$

где $l_{\text{ТТ}}$ – длина обогреваемого участка в парнике или теплице, м;

m – число нагревательных элементов в парнике, шт.

Общая длина, м,

$$L = 3 n_1 l_1. \quad (12.7)$$

Ток фазоветви, А,

$$I_1 = \frac{P_1}{U \cos \varphi}, \quad (12.8)$$

где $\cos \varphi = 0,86...0,93$ – коэффициент мощности для стальной проволоки;

U – напряжение питания нагревателя, В.

Активное сопротивление фазоветви, Ом,

$$R_1 = \frac{U^2 \cos^2 \varphi}{P_1} \quad (12.9)$$

Линейное сопротивление провода, Ом/м,

$$r_l = \frac{R_1}{l_1} \quad (12.10)$$

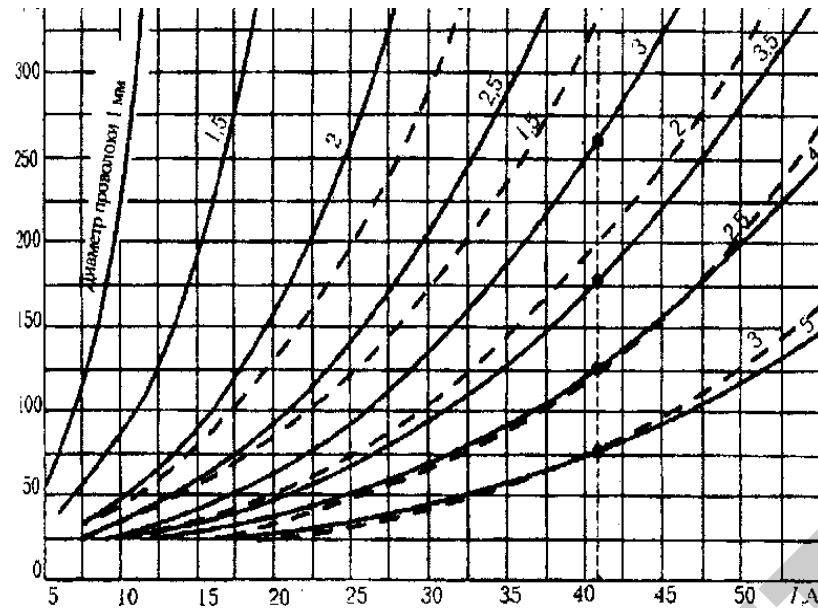


Рис. 12.1. Зависимость температуры стальной оцинкованной проволоки, расположенной в асбестоцементной трубе (----) и асфальтобетонном монолите (-----), от тока

По графическим зависимостям (рис. 12.1) для расчетного значения тока I_1 находят зависимость температуры провода t от его диаметра d : $t = f_1(d)$.

Аналогично, для расчетного значения линейного сопротивления r_l по графику (рис. 12.2) находят зависимость $t = f_2(d)$.

Строят графические зависимости $t = f_1(d)$ и $t = f_2(d)$, точка их пересечения дает расчетное значение d (рис. 12.3, а), которое округляют до ближайшего стандартного значения диаметра проволоки.

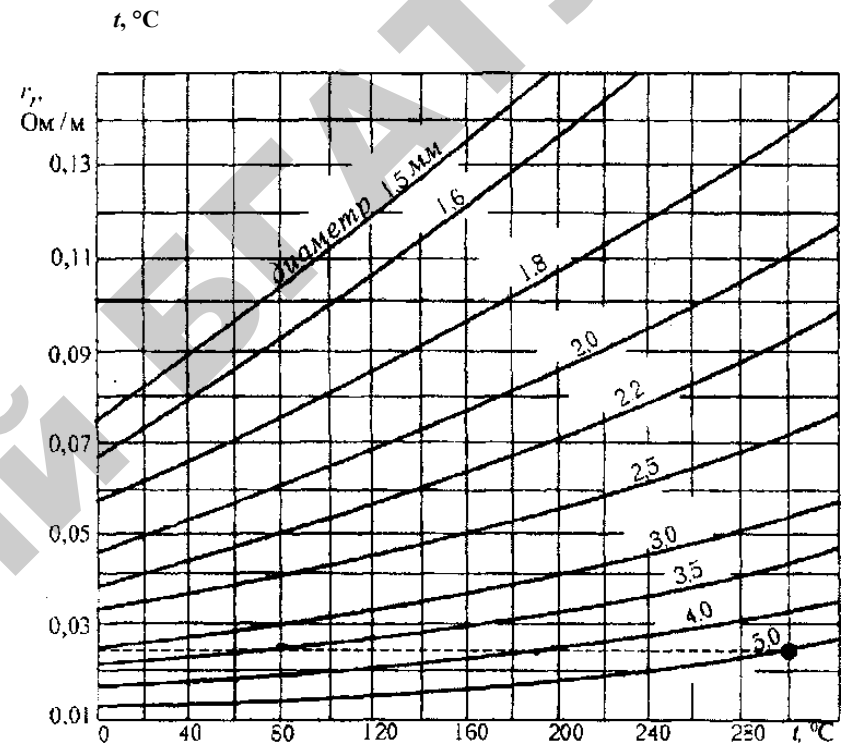


Рис. 12.2. Зависимость линейного сопротивления стальной оцинкованной проволоки от ее диаметра и температуры

Пример 12.1. Рассчитать ТНЭ со стальным оцинкованным проводом для почвенного нагрева квартала из 18 стандартных парников со стеклянным однослойным покрытием. Температура воздуха внутри парника $t_v = 10$ °С. Расчетная температура наружного воздуха $t_n = -3$ °С. Напряжение питания 380/220 В. На период ввода парников в работу предусмотреть ускоренный прогрев почвы. Внутренние размеры стандартного парника: ширина – 1,5 м, длина – 21,5 м. Рекомендуемое расстояние между трубами 0,8 м.

Исходя из рекомендуемого расстояния между трубами (0,8 м), принимаем три нагревательных элемента в одном парнике ($m = 3$). Соединяем последовательно эти нагревательные элементы в трех парниках ($n = 3$). Схема соединения фаз в нормальном режиме –

«звезда» ($U = 220$ В), в период разогрева – «треугольник» ($U = 380$ В).

Расчетная мощность одного парника (12.1)

$$P = 6,4 \cdot 1,5 \cdot 21,5 \cdot 1 \cdot (10 - (-3)) = 2713 \text{ Вт.}$$

Расчетная мощность участка из $N = 18$ парников (12.2)

$$P_N = 2713 \cdot 18 = 48834 \text{ Вт.}$$

Мощность одной фазы (12.3)

$$P_{\phi} = 48834 / 3 = 16278 \text{ Вт.}$$

Мощность фазоветви (12.4)

$$P_1 = 2713 \cdot 3 = 8139 \text{ Вт.}$$

Число параллельных групп, включенных в одну фазу (12.5)

$$n_1 = 16278 / 8139 = 2.$$

Длина проволоки на одну фазоветвь (12.6)

$$l_1 = 3 \cdot 3 \cdot 21,5 = 193,5 \text{ м.}$$

Общая длина проволоки (12.7)

$$L = 3 \cdot 2 \cdot 193,5 = 1161 \text{ м.}$$

Ток фазоветви (12.8)

$$I_1 = \frac{8139}{220 \cdot 0,93} = 41 \text{ А.}$$

Активное сопротивление фазоветви (12.9)

$$R_1 = \frac{220^2 \cdot 0,9^2}{8139} = 4,82 \text{ Ом.}$$

Линейное сопротивление (12.10)

$$r_l = \frac{4,82}{193,5} = 0,0250 \text{ Ом/м.}$$

Найдем зависимости $t = f_1(d)$, $t = f_2(d)$. Для этого на рисунке 12.1 проведем вертикальную линию, соответствующую $I_1 = 41$ А, и в точках ее пересечения со сплошными кривыми найдем значения температуры проволоки. Построим зависимость $t = f_1(d)$ (рис. 12.3, б, кривая 1). Аналогично, проведя горизонталь на рисунке, соответствующую $r_l = 0,025$ Ом/м, построим зависимость $t = f_2(d)$ (рис. 12.3, а, кривая 2).

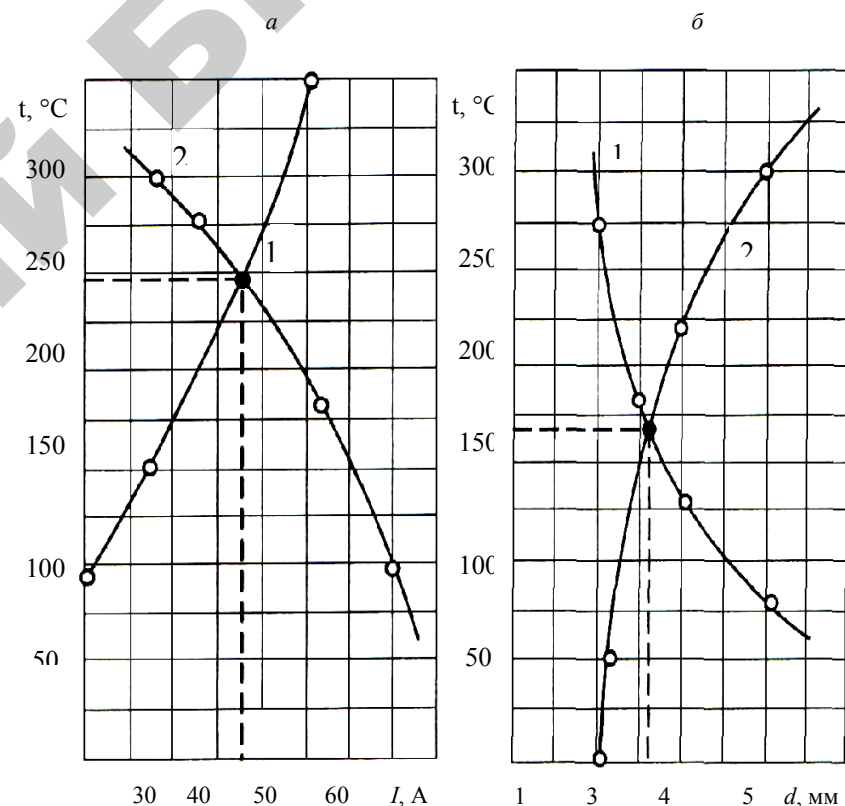


Рис. 12.3. Расчетные графики к примеру 12.1

Пересечение кривых 1 и 2 дает значение $d = 3,6$ мм, $t = 65$ °С. Принимаем $d = 3,5$ мм. Проверим возможность переключения нагре-

вательных элементов на напряжение 380 В. Для этого по известным значениям U , l , d необходимо определить зависимость температуры от тока при известном диаметре.

С рисунка 12.1 переносим на рисунок 12.3, а функцию $t(I)$ для $d = 3,5$ мм (кривая 1). Для найденных значений температуры по рисунку 12.2 находим соответствующие величины r_l для $d = 3,5$ мм.

По полученным данным составляем таблицу 12.1.

Таблица 12.1

Расчетные данные к примеру 12.1				
$t, ^\circ\text{C}$	100	180	280	300
$r_l, \text{Ом/м}$	0,026	0,030	0,039	0,044
$I, \text{А}$	65	56	42	38

Найдем зависимость $I(r_l)$ из формулы

$$I = \frac{U \cos \varphi}{r_l l} = \frac{380 \cdot 0,9}{r_l \cdot 193,5} = \frac{1,69}{r_l}$$

и занесем ее в третью строку таблицы 12.1. Зависимость $t(I)$ представлена на рисунке 12.3, а, кривая 2. Пересечение кривых дает значение тока 47,5 А, температуру 245 $^\circ\text{C}$. Учитывая непродолжительность работы нагревательных элементов в этом режиме, можно допустить их включение на 380 В на период разогрева почвы.

Таблица 12.2

Некоторые характеристики теплиц и парников				
Характеристики	Конструктивное выполнение ограждения			
	Стеклопанельное покрытие		Пленочное покрытие	
	однослойное	двухслойное	однослойное	двухслойное
Коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	6,4	3,3	7...8,1	4,7

Задача 12.1. Рассчитать трубчатый нагревательный элемент (ТНЭ) со стальным оцинкованным проводом для почвенного нагрева квартала из N стандартных парников (рис. 11.1[8]). Внутренние размеры стандартного парника: ширина – 1,5 м, длина – 21,5 м. Напряжение питания 380/220 В. На период ввода парников в работу предусмотреть ускоренный нагрев почвы.

Исходные данные приведены в таблице 12.3.

Таблица 12.3

Исходные данные				
Номер варианта	Начальная температура воздуха внутри парника $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Расчетная температура наружного воздуха $t_{н}, ^\circ\text{C}$	Покрытие ограждения	Количество стандартных парников в квартале N , шт.
1	10	-3	Стеклопанельное однослойное	18
2	7	-4	Стеклопанельное двухслойное с воздушным промежутком	20
3	8	-5	Пленочное однослойное сухое	22
4	9	-6	Пленочное однослойное влажное	24
5	12	-7	Пленочное двухслойное сухое	18
6	14	-8	Пленочное двухслойное влажное	20
7	7	-4	Стеклопанельное однослойное	22
8	8	-5	Стеклопанельное двухслойное с воздушным промежутком	24
9	9	-6	Пленочное однослойное сухое	18
10	10	-7	Пленочное однослойное влажное	20

Но- мер вари- анта	Начальная темпера- тура воз- духа внут- ри парника $t_b, ^\circ\text{C}$	Расчетная темпера- тура на- ружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	Покрытие ограждения	Количес- тво стан- дартных парников в квартале N , шт.
11	14	-8	Пленочное двухслойное сухое	22
12	12	-3	Пленочное двухслойное влажное	24
13	8	-5	Стеклянное однослойное	18
14	9	-6	Стеклянное двухслойное с воздушным промежутком	20
15	10	-7	Пленочное однослойное сухое	22
16	12	-8	Пленочное однослойное влажное	24
17	7	-3	Пленочное двухслойное сухое	18
18	8	-4	Пленочное двухслойное влажное	20
19	9	-6	Стеклянное однослойное	22
20	10	-7	Стеклянное двухслойное с воздушным промежутком	24
21	12	-8	Пленочное однослойное сухое	18
22	14	-3	Пленочное однослойное влажное	20
23	8	-4	Пленочное двухслойное сухое	22
24	9	-5	Пленочное двухслойное сухое	24
25	12	-7	Стеклянное однослойное	18

13. ОБМОТКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕКТОРА СЕМЯОЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Задача расчета. Восстановить параметры расчета электромагнитного сектора семяочистительной машины.

Исходные данные. Геометрические размеры сектора (сердечника), напряжение питания обмотки, частота вращения барабана, характеристика очищаемых семян и семян сорняков, применяемый ферритмагнитный порошок.

Последовательность расчета. Фрагмент обмотки электромагнитного сектора семяочистительной машины представлен на рисунке 13.1.

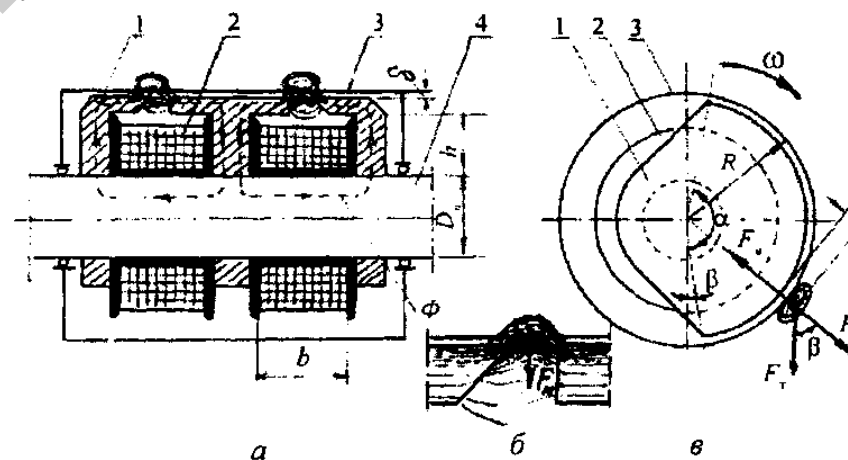


Рис. 13.1. К расчету обмотки электромагнитного сектора семяочистительной машины: а – упрощенная расчетная схема электромагнитной системы; б – характер электромагнитного поля в рабочей зоне (воздушном зазоре); в – силы, действующие на семя с порошком: 1 – магнитопровод; 2 – обмотка (катушка); 3 – немагнитный вращающийся барабан; 4 – подвижный вал; b, h – ширина и высота окна магнитопровода; Φ – магнитный поток; D_b – диаметр вала

Таблица 13.1

Необходимая напряженность магнитного поля в рабочей зоне электромагнитного сектора, А/м,

$$H \geq \sqrt{\frac{(g^2/R + g \cdot \cos\beta) \cdot l}{\mu_0 \cdot \chi \cdot V \cdot k}}, \quad (13.1)$$

где $g = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30}$ – линейная скорость вращения барабана, м/с;

$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная;

R – радиус барабана, м;

n – частота вращения барабана, мин⁻¹.

$g = 9,8$ м/с² – ускорение свободного падения;

χ – магнитная восприимчивость, отнесенная к 1 кг порошка (таблица 13.1);

β – угол между вертикалью и центральной линией кромки сектора (рис. 13.1, в);

$$\beta = (180 - \alpha) / 2, \quad (13.2)$$

где α – угол рабочей зоны сектора (рис. 13.1, в);

Расстояние от цилиндра до поверхности сектора, м:

$$l = \delta + \frac{c_c}{2},$$

где δ – расстояние от поверхности барабана до поверхности сектора;

c_c – толщина семени, м.

Объем семени, м³,

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot a_c \cdot b_c \cdot c_c, \quad (13.3)$$

где a_c, b_c – длина и ширина семени, м (таблица 13.2).

$$\text{Коэффициент } k = \frac{m_n}{m}, \quad (13.4)$$

где m_n – масса порошка на семени, кг

m – масса семени с порошком, кг (таблица 13.3).

Магнитная восприимчивость ферромагнитных порошков, используемых в магнитных семяочистительных машинах

Марка порошка	Наполнитель	Магнитная восприимчивость χ , кг ⁻¹
ВХК-80	Фосфоргипс	193,5
ВХК-60	Фосфоргипс	163,2
ВХК-40	Фосфоргипс	96,3
ВХК-80	Мел	188,7
ВХК-60	Мел	123,4
ВХК-40	Мел	88,4
ВХК-80	Гипс	109,1
ВХК-80	Гипс безводный	113,1
ВХК-40	Гипс	58,9
ВХК-40	Мел	82,8
Гомпера	Отсутствует (100 % железа)	2996,0

Таблица 13.2

Размеры и масса семян

Семена	Длина a_c , 10 ⁻³ м	Ширина b_c , 10 ⁻³ м	Толщина c_c , 10 ⁻³ м	Масса m_c , 10 ⁻⁶ кг
Пшеница	5,6	3,15	2,65	32,7
Овес	11,5	2,7	2,2	37,3
Овсяг	12,5	2,45	1,9	24,5
Дикая редька	5	4,0	3,2	23,4
Репей	1,9	3,8	3,0	25,1
Свиной	2,5	0,8	0,6	0,22
Плевел	4,2	2,0	1,3	4,7
Клевер	2,0	1,0	1,1	4,75
Лен	4,1	2,3	1,1	4,3
Вика	2,0	1,1	1,0	1,5
Люцерна	2,9	2,5	2,0	10,0
Повилика	1,3	1,2	0,85	1,2
Амброзия	5,0	4,0	4,0	2,5

Таблица 13.3

Внедряемость магнитного порошка в поверхность семени

Семена	Клевер	Люцерна	Лен	Повилика	Плевел	Свиной	Репей	Овсюг	Дикая редька	Вика	Амброзия
Внедряемость порошка (соотношение массы порошка и семени)	0,01	0,004	0,002	0,15	0,116	0,05	0,134	0,010	0,076	0,07	0,016

Необходимая МДС в рабочей зоне:

$$F_B = H \cdot l. \quad (13.5)$$

Основное сопротивление магнитному потоку сектора оказывает воздушный зазор. В приближенных расчетах суммарная МДС сектора

$$F_{\text{ЭМС}} = F_B + \alpha_p \cdot F_{\text{ЭМС}} = \frac{F_B}{(1 - \alpha_p)}, \quad (13.6)$$

где $\alpha_p = 0,15 \dots 0,35$ – коэффициент, учитывающий сопротивление магнитопровода и рассеяния потока.

Обмотку выполняют алюминиевым проводом АПБ.1 круглого сечения с двойной хлопчатобумажной изоляцией.

Диаметр жил обмоточного провода катушки:

$$d = 2 \cdot \sqrt{\frac{\rho_l \cdot D_{\text{ср}} \cdot F_{\text{ЭМС}}}{U}}, \quad (13.7)$$

где $D_{\text{ср}} = D_B + h$ – средний диаметр катушки, м;

D_B – диаметр вала, м (рис. 13.1);
 h – высота обмоточного пространства, м (рис. 13.1);
 U – напряжение на зажимах катушки, В;
 ρ_l – удельное электрическое сопротивление материала жилы провода, Ом·м.

$$\rho_l = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot (t_{\text{доп}} - 20)), \quad (13.8)$$

где $\rho_{20} = 2,8 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное электрическое сопротивление материала жилы провода при 20 °С;

$\alpha = 0,0049$ °С⁻¹ – температурный коэффициент сопротивления;

$t_{\text{доп}} = 105$ °С – допустимая температура катушки для данного класса изоляции обмоточного провода.

Число витков одной катушки электромагнита

$$\omega = \frac{k_3 \cdot \nu \cdot h}{S} = \frac{4k_3 \cdot \nu \cdot h}{\pi \cdot d^2}, \quad (13.9)$$

где ν, h – ширина и высота окна (обмоточного пространства) магнитопровода, м;

$k_3 = 0,45 \dots 0,55$ – коэффициент заполнения окна обмоткой.

Сила тока в катушке, А,

$$I = \frac{F_{\text{ЭМС}}}{\omega}. \quad (13.10)$$

Температура катушки, °С,

$$t = \frac{\rho_l \cdot F_{\text{ЭМС}}^2}{2 \cdot k_3 \cdot k_T \cdot \nu^2 \cdot h}, \quad (13.11)$$

где $k_T = 11 \dots 13$ Вт/(м²·°С) – коэффициент теплоотдачи от катушки.

Длина обмоточного провода на катушку, м,

$$L = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot \omega. \quad (13.12)$$

Активное сопротивление катушки:

$$R = \frac{\rho_l \cdot L}{S}. \quad (13.13)$$

Сила тока в катушке, А,

$$I = \frac{U}{R} \cdot \quad (13.14)$$

Значения I , вычисленные по формулам (13.10), (13.14), не должны существенно различаться.

Плотность тока в обмоточном проводе, А/м²,

$$j = \frac{I}{S} \leq j_{\text{доп}}, \quad (13.15)$$

где $j_{\text{доп}} = (1,5...3) \cdot 10^6$ А/м² – допустимая плотность тока для обмоточных алюминиевых проводов.

Активная мощность катушки, Вт,

$$P = U \cdot I. \quad (13.16)$$

Пример 13.1. Рассчитать обмотку электромагнитного сектора семяочистительной машины (рис. 13.1), служащей для разделения семян льна и плевела. Геометрические размеры магнитной системы: $\varrho = 250$ мм; $h = 140$ мм; $D_{\text{в}} = 150$ мм; $R = 235$ мм; $\delta = 10$ мм; $\alpha = 160^\circ$. Напряжение питания электромагнита $U = 60$ В, частота вращения барабана $n = 42$ мин⁻¹. Для обработки семян используют ферромагнитный порошок марки ВХК-60 с фосфорогипсом.

Линейная скорость барабана

$$v = 3,14 \cdot 235 \cdot 10^{-3} \cdot 42/30 = 1 \text{ м/с.}$$

Угол β (13.2):

$$\beta = \frac{(180 - 160)}{2} = 10^\circ; \quad \cos 10^\circ = 0,98.$$

Расстояние от центра поверхности сектора

$$l = \frac{10 \cdot 10^{-3} + 1,3 \cdot 10^{-3}}{2} = 10,65 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Магнитная восприимчивость порошка ВХК-60 с наполнителем фосфорогипсом (таблица 13.1).

$$\chi = 163,2 \text{ кг}^{-1}$$

Размеры семян плевела (таблица 13.2): длина $a_c = 4,2 \cdot 10^{-3}$ м; ширина $\varrho_c = 2 \cdot 10^{-3}$ м; толщина $c_c = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м; масса $m_c = 4,7 \cdot 10^{-6}$ кг.

Объем семян плевела

$$V = \frac{3,14}{6} \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 5,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Внедряемость порошка $k_c = \frac{m_{\text{п}}}{m_c} = 0,116$ (таблица 13.3).

Требуемая масса порошка на семена

$$m_{\text{п}} = k_c \cdot m_c = 0,116 \cdot 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ кг} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг.}$$

Масса семени с порошком

$$m = m_{\text{п}} + m_c = 0,5 \cdot 10^{-6} + 4,7 \cdot 10^{-6} = 5,2 \cdot 10^{-6} \text{ кг.}$$

Коэффициент (13.4)

$$k = \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{5,2 \cdot 10^{-6}} = 0,1.$$

Необходимая напряженность магнитного поля (13.1)

$$H \geq \sqrt{\frac{\left(\frac{1^2}{(235 \cdot 10^{-3})^2} + 9,8 \cdot 0,98 \right) \cdot 10,65 \cdot 10^{-3}}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 163,2 \cdot 5,7 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1}} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

МДС в рабочей зоне (13.5)

$$F_{\text{в}} = 1,1 \cdot 10^6 \cdot 10,65 \cdot 10^{-3} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ А.}$$

Суммарная МДС (13.6)

$$F_{\text{эмс}} = \frac{1,2 \cdot 10^4}{1 - 0,25} = 1,6 \cdot 10^4 \text{ А.}$$

Средний диаметр катушки

$$D_{\text{cp}} = (150 + 140) \cdot 10^{-3} = 290 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Удельное сопротивление жилы провода

$$\rho_t = 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 0,0049(105 - 20)) = 4,0 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Диаметр жилы обмоточного провода (13.7)

$$d = 2 \sqrt{\frac{4,0 \cdot 10^{-8} \cdot 290 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^4}{60}} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Число витков обмотки (13.9)

$$\omega = \frac{4 \cdot 0,5 \cdot 250 \cdot 10^{-3} \cdot 140 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2} = 1820.$$

Сила тока в катушке (13.10)

$$I = \frac{1,6 \cdot 10^4}{1820} = 8,8 \text{ А.}$$

Температура катушки (13.11)

$$t = \frac{4,0 \cdot 10^{-8} \cdot (1,6 \cdot 10^4)^2}{2 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot (250 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 140 \cdot 10^{-3}} = 98 \text{ }^\circ\text{C} < t_{\text{доп}}.$$

Необходимая длина обмоточного провода определяется по формуле (13.12).

$$L = 3,14 \cdot 290 \cdot 10^{-3} \cdot 1820 = 1657 \text{ м.}$$

Активное сопротивление катушки

$$R = \frac{4 \cdot 4,0 \cdot 10^{-8} \cdot 1657}{3,14 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2} = 6,9 \text{ Ом.}$$

Сила тока в катушке (13.14)

$$I = \frac{60}{6,9} = 8,7 \text{ А,}$$

что практически совпадает с результатом, полученным по формуле (13.10).

Плотность тока в обмоточном проводе (13.15):

$$j = \frac{4 \cdot 8,7}{3,14 \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})^2} = 0,9 \cdot 10^6 \text{ А/м}^2 < j_{\text{доп}} = (1,5 \dots 3) \cdot 10^6 \text{ А/м}^2.$$

Активная мощность катушки (13.16)

$$P = 60 \cdot 8,7 = 522 \text{ Вт.}$$

Задача 13.1. Рассчитать обмотку электромагнитного сектора семяочистительной машины, расчетная схема которого приведена на рисунке 13.1. Частота вращения барабана 42 мин^{-1} .

Таблица 13.1

Номер варианта	Состав смеси	Марка порошка с наполнителем	Исходные данные		Угол рабочей зоны сектора α	Расстояние от поверхности барабана до поверхности сектора $\delta, 10^{-3} \text{ м}$	Радиус барабана $R, 10^{-3} \text{ м}$	Напряжение питания электромагнита $U, \text{ В}$	
			Измеры магнитопровода 10^{-3} м	Диаметр вала $D_b, 10^{-3} \text{ м}$					
			ширина b	высота h					
1	Вика, свиной	ВХК-80, фосфоргипс	200	90	100	140	5	205	60
2	Вика, амброзия	ВХК-60, фосфоргипс	210	100	110	145	10	210	48
3	Клевер, повилика	ВХК-40, фосфоргипс	220	110	120	150	15	215	42
4	Овес, овсюг	ВХК-80, мел	230	120	130	160	5	220	36

Продолжение таблицы 13.1

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
5	Клевер, амброзия	ВХК-60, мел	240	130	140	165	10	230	36
6	Пшеница, дикая редька	ВХК-40, мел	250	140	150	170	15	235	48
7	Пшеница, овсюг	ДХЗ-80, гипс полуводный	260	140	150	170	15	235	48
8	Клевер, свиной	ДХЗ-80, гипс безводный	270	130	140	145	10	205	60
9	Люцерна, повилика	ДХЗ-30, гипс безводный	280	120	130	150	5	210	60
10	Люцерна, плевел	ДХЗ-40, мел	290	110	120	160	15	215	36
11	Лен, репей	ГОМПЕРА	300	100	110	165	10	220	36
12	Лен, амброзия	ВХК-80, фосфоргипс	200	150	160	170	5	240	42
13	Лен, свиной	ВХК-60, форсоргипс	210	160	170	140	5	255	42
14	Клевер, овсюг	ВХК-40, фосфоргипс	220	170	180	145	10	280	48
15	Пшеница, свиной	ВХК-80, мел	230	180	190	150	15	300	48
16	Пшеница, плевел	ВХК-60, мел	240	190	200	155	5	305	60
17	Овес, дикая редька	ВХК-40, мел	250	90	100	160	10	200	36

Окончание таблицы 13.1

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11
18	Овес, плевел	ДХЗ-80, гипс полуводный	260	100	110	165	15	205	42
19	Овес, репей	ДХЗ-80, гипс безводный	270	110	120	170	15	210	48
20	Люцерна, овсюг	ДХЗ-40, гипс	280	120	130	140	10	215	60
21	Люцерна, свиной	ДХЗ-40, мел	290	130	140	145	5	220	36
22	Вика, плевел	ГОМПЕРА	300	140	150	150	5	225	48
23	Вика, дикая редька	ВХК-80, фосфоргипс	200	160	170	155	10	270	60
24	Клевер, плевел	ВХК-60, форсоргипс	210	130	140	160	5	210	48
25	Клевер, свиной	ВХК-40, фосфоргипс	220	120	130	165	10	215	42

14. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЛАЗМОЛИЗАТОР РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Задача расчета. Определить геометрические размеры электродов, силу тока, мощность, продолжительность обработки растительного сырья.

Исходные данные. Производительность электроплазмоллизатора, электро- и теплофизические свойства обрабатываемого сырья, температура обработки, конструктивные параметры плазмоллизатора (рис. 14.1) и др.

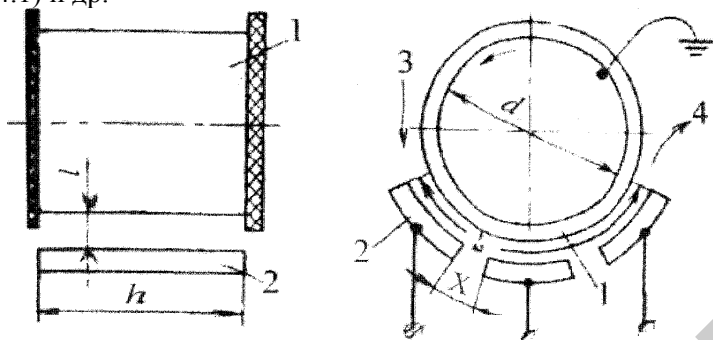


Рис. 14.1. Конструктивная схема барабанного электроплазмоллизатора:
1 – заземленный барабан с диэлектрическими бортами; 2 – фазные электроды;
3 – подача сырья; 4 – выход сырья после обработки

Последовательность расчета. Напряженность электрического поля между электродами плазмоллизатора

$$E = j_{\text{доп}} \cdot \rho \quad \text{или} \quad E = \frac{U}{l}, \quad (14.1)$$

где $j_{\text{доп}} \leq 0,6 \cdot 10^3 \text{ А/м}^2$ – допустимое значение плотности тока на электродах;

ρ – удельное сопротивление растительного сырья, Ом·м;

l – расстояние между электродами, м (рис. 14.1).

При $\rho < 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ используют электроплазмоллизатор с точечными электродами, при $1 < \rho < 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – продольный, при $\rho > 8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – барабанный.

Продолжительность электроплазмоллизации, с,

$$\tau = \frac{3 \cdot 10^{11} \cdot \rho \cdot k_y}{t \cdot E^3}, \quad (14.2)$$

где k_y – коэффициент токоустойчивости, характеризующий прочность клеточной оболочки. k_y для яблок равен 1, для груш – 1,25, для слив – 0,75, для сахарной свеклы – 10, для винограда – 0,9...9;

t – конечная температура обработки, °С;

E – напряженность электрического поля, В/м.

Скорость перемещения растительного сырья в плазмоллизаторе

$$g = \frac{Q}{\rho_m \cdot S}, \quad (14.3)$$

где Q – производительность плазмоллизатора, кг/с;

ρ_m – плотность измельченного сырья, кг/м³;

$S = h \cdot l$ – площадь сечения потока сырья, м² (рис. 14.1).

Длина зоны электрообработки (рис. 14.1)

$$L = g \cdot \tau. \quad (14.4)$$

Частота вращения барабана, мин⁻¹,

$$n = \frac{60 \cdot g}{\pi \cdot d}, \quad (14.5)$$

где d – диаметр барабана, м.

Площадь фазного электрода

$$S_s = (L - X) \cdot h/3, \quad (14.6)$$

где X – расстояние между электродами, м.

Сила фазного тока

$$I_{\phi} = \frac{U \cdot S_3 \cdot k_k}{\rho \cdot l}, \quad (14.7)$$

где k_k – коэффициент, учитывающий утечку тока.

Мощность электроплазмолизатора

$$P = 3 \cdot U \cdot I_{\phi}. \quad (14.8)$$

Пример 14.1. Рассчитать параметры электроплазмолизатора технологической линии для обработки стружки сахарной свеклы производительностью $Q = 8000$ кг/ч. Удельное сопротивление массы сахарной свеклы $\rho = 9$ Ом·м, конечная температура обработки $t = 40$ °С, расстояние между фазным электродом и заземленным барабаном $l = 0,03$ м, ширина канала $h = 0,5$ м, диаметр барабана $d = 0,7$ м, расстояние между электродами $X = 0,01$ м. Напряжение питания 380/220 В.

Напряженность электрического поля (14.1)

$$E = 220 / 0,03 = 7333 \text{ В/м.}$$

Продолжительность электроплазмолиза (14.2)

$$\tau = \frac{3 \cdot 10^{11} \cdot 9 \cdot 10}{7333^3 \cdot 40} = 1,7 \text{ с.}$$

Скорость перемещения растительного сырья (14.3)

$$v = \frac{8000}{700 \cdot 0,5 \cdot 0,03 \cdot 3600} = 0,2 \text{ м/с.}$$

Длина зон электрообработки (14.4)

$$L = 0,2 \cdot 1,7 = 0,34 \text{ м.}$$

Частота вращения барабана (14.5)

$$n = \frac{60 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 0,7} = 5,5 \text{ мин}^{-1}.$$

Площадь фазного электрода (14.6)

$$S_3 = \frac{(0,34 - 2 \cdot 0,01) \cdot 0,5}{3} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Сила фазного тока (14.7)

$$I_{\phi} = \frac{220 \cdot 0,05 \cdot 1,1}{9 \cdot 0,03} = 44,8 \text{ А.}$$

Мощность электроплазмолизатора (14.8)

$$P = 3 \cdot 220 \cdot 44,8 = 25,6 \text{ кВт.}$$

Задача 14.1. Рассчитать параметры электроплазмолизатора технологической линии для обработки стружки сахарной свеклы. Напряжение питания 380/220 В.

Таблица 14.1

Исходные данные

Номер варианта	Производительность Q , кг/ч	Удельное сопротивление массы сахарной свеклы ρ , Ом·м	Конечная температура обработки t , °С	Расстояние между фазным электродом и заземленным барабаном l , м	Ширина h , м	Диаметр барабана d , м	Расстояние между электродами X , м
1	6000	8,2	30	0,01	0,8	1,0	0,01
2	6200	8,4	32	0,02	0,7	0,9	0,02
3	6300	8,6	34	0,03	0,6	0,8	0,01
4	6400	8,8	36	0,04	0,5	0,7	0,02
5	6600	9,0	38	0,05	0,4	0,6	0,01
6	6800	9,2	40	0,01	0,3	0,5	0,02
7	7000	9,4	42	0,02	0,2	0,4	0,01
8	7200	9,6	44	0,03	0,8	1,0	0,02
9	7400	9,8	46	0,04	0,7	0,9	0,01
10	7600	10,0	48	0,05	0,6	0,8	0,02

Окончание таблицы 14.1

Номер варианта	Производительность Q , кг/ч	Удельное сопротивление массы сахарной свеклы ρ , Ом·м	Конечная температура обработки t , оС	Расстояние между фазным электродом и заземленным барабаном l , м	Ширина h , м	Диаметр барабана d , м	Расстояние между электродами X , м
11	7800	10,0	50	0,01	0,5	0,7	0,01
12	8000	9,8	50	0,02	0,4	0,6	0,02
13	8200	9,6	48	0,03	0,3	0,5	0,01
14	8400	9,4	46	0,04	0,2	0,4	0,02
15	8600	9,2	44	0,05	0,8	1,0	0,01
16	8800	9,0	42	0,01	0,7	0,9	0,02
17	9000	8,8	40	0,02	0,6	0,8	0,01
18	9200	8,6	38	0,03	0,5	0,7	0,02
19	9400	8,4	36	0,04	0,4	0,6	0,01
20	9600	8,2	34	0,05	0,3	0,5	0,02
21	9800	9,0	32	0,01	0,2	0,4	0,01
22	10000	9,2	30	0,02	0,8	1,0	0,02
23	6300	9,4	40	0,03	0,7	0,9	0,01
24	6500	9,6	42	0,04	0,6	0,8	0,02
25	6700	9,8	38	0,05	0,5	0,6	0,01

15. ТЕПЛИЧНЫЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ТОЧЕЧНЫМИ И ЛИНЕЙНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

Задача расчета. Разместить тепличные облучательные установки над стеллажом или облучаемой поверхностью, определить суммарную расчетную и удельную мощность облучательной установки.

Исходные данные. Вид и возраст растений, размеры стеллажа, тип облучателя и др.

Последовательность расчета.

а) Расчет точечных облучателей

1. Определяем требуемый уровень освещенности для данного вида растений.

Для условий Республики Беларусь при выращивании рассады овощных культур уровень искусственной облученности в области ФАР принимают равным не менее $25 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для огурцов и $30 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ для томатов (6,5 и 7,5 тыс. лк или 8,5 и 10 фит·м² соответственно). Продолжительность облучения рассады для 0...3 световых зон – не менее $12...16 \text{ ч}\cdot\text{сут}^{-1}$, для 4...6 световых зон – до $12 \text{ ч}\cdot\text{сут}^{-1}$. Примерный срок облучения рассады огурцов – 36...40 дней, томатов – 45...50 дней.

Уровень облученности растений в фазе плодоношения несколько выше, и для условий Республики Беларусь должен быть не менее: для огурцов – $40 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ и томатов $48 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ФАР (10 и 12 тыс. лк или 13,7 и 16,4 фит·м² соответственно). Продолжительность облучения огурцов составляет $12...14$, томатов – $14...16 \text{ ч}\cdot\text{сут}^{-1}$. Для цветочных и декоративных растений необходимо обеспечить уровень облученности в области ФАР до $15...30 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, а в селекционных теплицах, фитотронах и фитокамерах без естественной освещенности – $100...300$ и более $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ в зависимости от продолжительности облучения, сроков выращивания, назначения растений и других специальных агротехнических требований.

2. Пользуясь кривой распределения силы света облучателя (рис. 15.1), определим силу света при $\alpha = 0$.

3. Необходимая расчетная высота подвеса облучателя

$$H_p \leq \sqrt{\frac{I_0}{E}}, \quad (15.1)$$

где I_0 – сила света облучателя;

E – требуемый уровень освещенности.

4. Строим распределение облученности от единичного облучателя на стеллаже (см. рис. 15.5). Задаемся расстояниями между осью симметрии облучателя и рассматриваемыми точками $r_0 = 0$ м; $r_1 = 0,2$ м; $r_2 = 0,4$ м; $r_3 = 0,5$ м; $r_4 = 0,8$ м; $r_5 = 1$ м. Соответственно, угол $\alpha_i = \text{arctg}(r_i/H_p)$. Из кривой силы излучения (рис. 15.1) по углу α_i определяем силу излучения. Вычисляем облученность по формуле:

$$E = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{H_p^2}, \quad (15.2)$$

где I_α – сила излучения излучателя в направлении точки расчетной поверхности;

α – зональный угол ($\alpha = \text{arctg}(r/H_p)$);

H_p – расчетная высота установки облучателя.

5. Задаваясь неравномерностью облученности $z = 0,8$, определяем zE_{max} и из графика находим r_a . Аналогично, откладываем $0,5zE_{\text{max}}$ и находим r_b . Также откладываем $0,25zE_{\text{max}}$ и находим r_c .

6. Определяем расстояние между облучателями в ряду:

$$L_1 = 2\sqrt{r_b^2 - r_a^2} \quad (15.3)$$

и между рядами

$$L_2 = 2\sqrt{r_c^2 - r_b^2 + r_a^2}. \quad (15.4)$$

В качестве расстояния между облучателями в ряду и между рядами принимаем наименьшее значение.

7. Количество рядов облучателей

125

$$N_2 = \frac{B - 2r_A}{L} + 1, \quad (15.5)$$

где L – наименьшее значение L_1 или L_2 .

8. Количество облучателей в ряду

$$N_1 = \frac{A - 2r_A}{L} + 1. \quad (15.6)$$

9. Общее число облучателей

$$N_\Sigma = N_1 \cdot N_2. \quad (15.7)$$

10. Действительное расстояние между рядами:

$$L'_2 = \frac{B - 2r_A}{N_2 - 1} \quad (15.8)$$

и между облучателями в ряду

$$L'_1 = \frac{A - 2r_A}{N_1 - 1}. \quad (15.9)$$

11. Суммарная расчетная мощность (с учетом потерь в ПРА)

$$P_{\text{расч}} = 1,1 \cdot N_\Sigma \cdot P_{\text{л}}, \quad (15.10)$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность лампы.

12. Удельная мощность облучательной установки (без учета потерь в ПРА)

$$P_{\text{уд}} = \frac{N_\Sigma \cdot P_{\text{л}}}{A \cdot B}, \quad (15.11)$$

где A, B – длина и ширина облучаемой площадки.

б) Расчет линейных облучателей

1. По таблице 15.2 для заданной лампы определяем световой поток $\Phi_{\text{л}}$, лм и переводной коэффициент $\kappa_{\text{ф}}$, фит/лм.

126

2. Определяем из норм необходимую фитооблученность для данного вида растений: E_{ϕ} , фит/м².

3. Задаемся шириной рамки-кассеты, равной длине лампы.

4. Вычисляем значение коэффициента μ :

$$\mu = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot \kappa_{\phi}}{l \cdot L}, \quad (15.12)$$

где μ – постоянный коэффициент, зависящий от каталожных данных облучателя;

l – длина лампы.

Относительная облученность

$$e_{\phi} = \frac{E_{\phi}}{\mu}. \quad (15.13)$$

5. Пользуясь графиком, изображенным на рисунке 15.4, в зависимости от высоты подвеса облучателя h_p определяем количество ламп на единицу длины рамки-кассеты.

6. Число ламп в одной рамке-кассете

$$N_1 = B \cdot n, \quad (15.14)$$

где B – ширина облучаемой площадки;

n – количество ламп на единицу длины рамки-кассеты.

7. Общее число ламп

$$N_{\Sigma} = N_1 \cdot N_2, \quad (15.15)$$

где N_2 – количество рамок-кассет на весь стеллаж.

8. Суммарную расчетную мощность (с учетом потерь в ПРА) рассчитываем по формуле (15.10).

9. Удельную мощность облучательной установки (без учета потерь в ПРА) рассчитываем по формуле (15.11).

Пример 15.1. Произвести расчет установки для облучения растений по всей площади стеллажа с использованием газоразрядных ламп высокого давления (таблица 15.1). Определить размеры, необходимые для размещения облучателей над стеллажом, количество ламп и суммарную установленную мощность (с учетом потерь).

Исходные данные для расчета: вид растений – рассада огурцов; размеры стеллажа – 4×12 м; тип облучателя – ССП03-750.

Расчет точечных облучателей

1. Определяем требуемый уровень освещенности для данного вида растений (рассада огурцов). $E = 6,5$ клк (10 фит·м²).

2. Пользуясь кривой распределения силы света облучателя (рис. 15.1), определяем силу света при $\alpha = 0$: $I_0 = 2100$ кд.

3. Определяем необходимую расчетную высоту подвеса облучателя по формуле (15.1).

$$H_p \leq \sqrt{2100/6500} \leq 0,57 \text{ м.}$$

Принимаем $H_p = 0,55$ м.

4. Строим распределение облученности от единичного облучателя на стеллаже (см. рис. 15.5). Задаемся расстояниями между осью симметрии облучателя и рассматриваемыми точками $r_0 = 0$ м; $r_1 = 0,2$ м; $r_2 = 0,4$ м; $r_3 = 0,6$ м; $r_4 = 0,8$ м; $r_5 = 1$ м.

Соответственно, угол $\alpha_i = \arctg(r_i/H_p)$: $\alpha_0 = 0$, $\alpha_1 = 20$, $\alpha_2 = 36$, $\alpha_3 = 47$, $\alpha_4 = 55$, $\alpha_5 = 60$. Из кривой силы излучения (рис. 15.1) по углу α_i определяем силу излучения: $I_{\alpha_0} = 2100$ кд, $I_{\alpha_1} = 3100$ кд, $I_{\alpha_2} = 3350$ кд, $I_{\alpha_3} = 3150$ кд, $I_{\alpha_4} = 3100$ кд, $I_{\alpha_5} = 2800$ кд. По формуле (15.2) вычисляем облученность: $E_0 = 6,9$ клк, $E_1 = 8,5$ клк, $E_2 = 5,9$ клк, $E_3 = 3,3$ клк, $E_4 = 1,9$ клк, $E_5 = 1,05$ клк.

5. Задаваясь неравномерностью облученности $Z = 0,8$ определяем: $zE_{\text{max}} = 0,8 \cdot 8,5 = 6,8$ клк. Из графика находим: $r_a = 0,3$ м. Аналогично, откладываем $0,5zE_{\text{max}} = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 8,5 = 3,4$ клк и находим $r_b = 0,57$ м. Также откладываем $0,25zE_{\text{max}} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot 8,5 = 1,7$ клк и $r_c = 0,83$ м.

6. Определяем расстояние между облучателями в ряду по формуле (15.3):

$$L_1 = 2\sqrt{0,57^2 - 0,3^2} = 0,97 \text{ м}$$

и между рядами по формуле (15.4)

$$L_2 = 2\sqrt{0,83^2 - 0,57^2 + 0,3^2} = 1,35 \text{ м.}$$

В качестве расстояния между облучателями в ряду и между рядами принимаем наименьшее значение: $L = L_1 = 0,97$ м.

7. Количество рядов облучателей (формула 15.5)

$$N_2 = \frac{4 - 2 \cdot 0,3}{0,97} + 1 = 5.$$

8. Количество облучателей в ряду (формула 15.6)

$$N_1 = \frac{12 - 2 \cdot 0,3}{0,97} + 1 = 13.$$

8. Общее число облучателей определяется по формуле (15.7):

$$N_{\Sigma} = 5 \cdot 13 = 65.$$

9. Действительное расстояние между рядами – по формуле (15.8):

$$L_2' = \frac{4 - 2 \cdot 0,3}{5 - 1} = 0,85 \text{ м}$$

и между облучателями в ряду по формуле (15.9):

$$L_1' = \frac{12 - 2 \cdot 0,3}{13 - 1} = 0,95 \text{ м}.$$

9. Суммарная расчетная мощность (формула 15.10):

$$P_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 65 \cdot 750 = 53,6 \text{ кВт}.$$

10. Удельная мощность облучательной установки (формула 15.11):

$$P_{\text{уд}} = \frac{65 \cdot 750}{4 \cdot 12} = 1015,6 \text{ Вт/м}^2.$$

Пример 15.2. Произвести расчет установки для облучения растений по всей площади стеллажа с использованием газоразрядных ламп низкого давления (таблица 15.1). Определить размеры, необходимые для размещения облучателей над стеллажом, количество ламп и суммарную установленную мощность (с учетом потерь). Исходные данные для расчета: вид растений – рассада огурцов; размеры стеллажа – 4×12 м; тип лампы – ЛФ-40-2, высота подвеса – 0,25 м.

Расчет линейных облучателей

1. По таблице 15.2 для заданной лампы определяем световой поток $\Phi_{\text{л}} = 1600$ лм, переводной коэффициент $\kappa_{\Phi} = 3,26 \cdot 10^{-3}$ фит/лм.

2. Определяем из норм необходимую фитооблученность для данного вида растений: $E_{\Phi} = 8,5$ фит/м².

3. Задаем ширину рамки-кассеты, равную длине лампы $l = 1,2$ м.

4. Вычисляем значение коэффициента μ (формула 15.12):

$$\mu = \frac{1600 \cdot 3,26 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 1} = 4,35.$$

5. Относительная облученность (формула 15.13)

$$e_{\Phi} = \frac{3,5}{4,35} = 1,95.$$

6. Пользуясь графиком, изображенным на рисунке 15.4, определяем количество ламп на единицу длины рамки-кассеты. При $h_p = 0,25$ м получаем $n = 7$ шт./м.

7. Изготавливаем рамку-кассету шириной 1,2 м и длиной 4 м. Тогда на весь стеллаж необходимо $N_2 = 10$ таких рамок-кассет.

8. Число ламп в одной рамке-кассете (формула 15.14):

$$N_1 = 4 \cdot 7 = 28 \text{ шт}.$$

9. Общее число ламп (формула 15.15)

$$N_{\Sigma} = 28 \cdot 10 = 280 \text{ шт}.$$

10. Суммарная расчетная мощность (формула 15.10):

$$P_{\text{расч}} = 1,1 \cdot 280 \cdot 0,04 = 12,32 \text{ кВт}.$$

11. Удельная мощность облучательной установки (формула 15.11):

$$P_{\text{уд}} = \frac{280 \cdot 40}{4 \cdot 12} = 233,3 \text{ Вт/м}^2.$$

Задача 15.1. Произвести расчет установки для облучения растений по всей площади стеллажа с использованием газоразрядных ламп высокого (1-ый вариант) и низкого (2-ой вариант) давления.

Определить размеры, необходимые для размещения облучателей над стеллажом, количество ламп и суммарную установленную мощность (с учетом потерь в ПРА) установки. Исходные данные для расчета принять по таблице 15.1 в соответствии с заданным преподавателем вариантом.

Таблица 15.1

Исходные данные для решения задач 5.1

Номер варианта	Вид и возраст растений	Размеры стеллажа, м	Газоразрядные лампы высокого давления	Газоразрядные лампы низкого давления	
			Тип облучателя	Тип лампы	Высота подвеса, м
1	Рассада томатов	4×12	ССПО3-750	ЛБ-40	0,1
2	Рассада огурцов	4×18	ОТ-400	ЛД-40	0,05
3	Томаты-овощи	4×24	ГСП26-400	ЛФ-40-1	0,15
4	Огурцы-овощи	6×24	ГСП26-400	ЛФ-40-2	0,2
5	Рассада томатов	6×12	РСП15-2000	ЛД-40	0,25
6	Рассада огурцов	12×24	ОТ-1000	ЛФ-40-1	0,3
7	Рассада томатов	4×18	ГСП26-400	ЛФ-40-2	0,05
8	Рассада огурцов	4×12	ГСП26-1000	ЛБ-40	0,1
9	Томаты-овощи	6×24	ГСП26-1000	ЛФ-40-1	0,15
10	Огурцы-овощи	4×24	ГСП15-2000	ЛФ-40-2	0,2
11	Томаты-овощи	12×12	ОТ-1000	ЛБ-40	0,25
12	Огурцы-овощи	6×24	РСП15-2000	ЛД-40	0,3
10	Рассада томатов	4×18	ГСП26-4000	ЛФ-40-2	0,1
14	Рассада огурцов	4×24	ОТ-400	ЛБ-40	0,15
15	Томаты-овощи	6×24	РСП15-2000	ЛД-40	0,2
16	Огурцы-овощи	6×12	ГСП26-1000	ЛФ-40-1	0,25
17	Рассада томатов	12×24	ГСП26-400	ЛБ-40	0,3
18	Рассада огурцов	4×18	ССПО3-750	ЛД-40	0,15
19	Рассада томатов	4×12	ОТ-1000	ЛФ-40-1	0,2
20	Рассада огурцов	4×18	ГСП26-400	ЛФ-40-2	0,25
21	Томаты-овощи	4×24	РСП15-2000	ЛД-40	0,3
22	Огурцы-овощи	6×24	ГСП26-1000	ЛФ-40-1	0,05
23	Томаты-овощи	6×12	ГСП26-1000	ЛФ-40-2	0,1
24	Огурцы-овощи	12×24	ОТ-1000	ЛБ-40	0,15
25	Рассада томатов	4×18	ГСП26-1000	ЛФ-40 1	0,2
26	Рассада огурцов	4×12	ССПО3-750	ЛФ-40-2	0,25

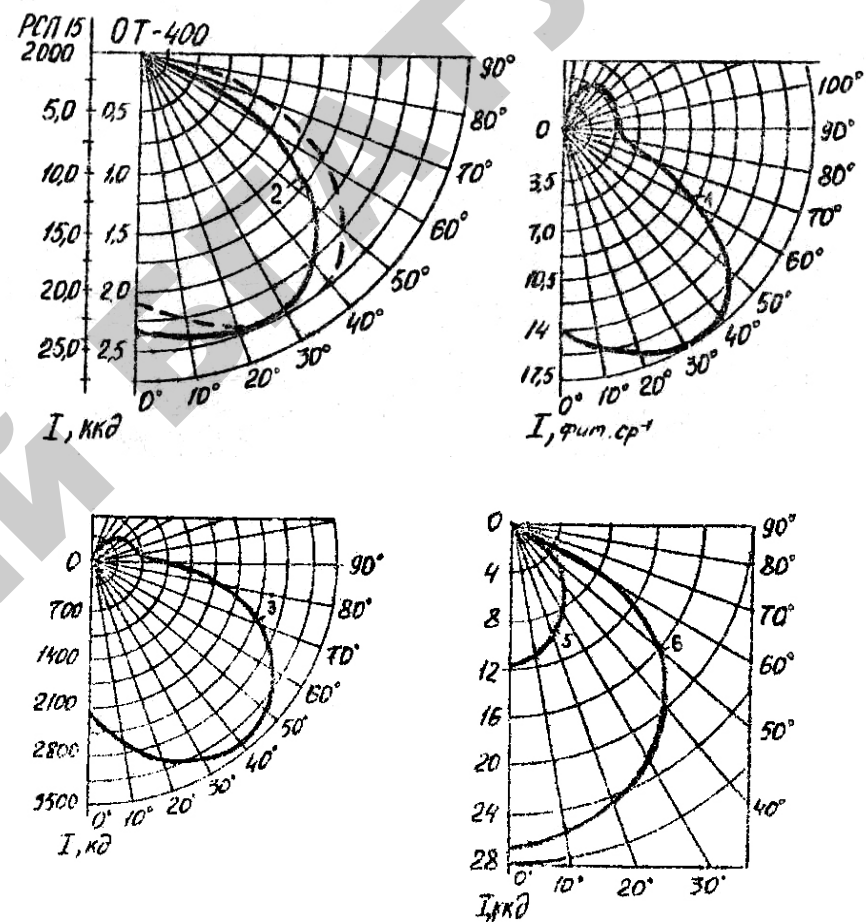


Рис. 15.1. Кривые распределения силы света облучателей:
1 - ОТ-400; 2 - РСП15-2000; 3 - ССП03-750; 4 - ОТ-1000; 5 - ГСП26-1000;
6 - ГСП26-400

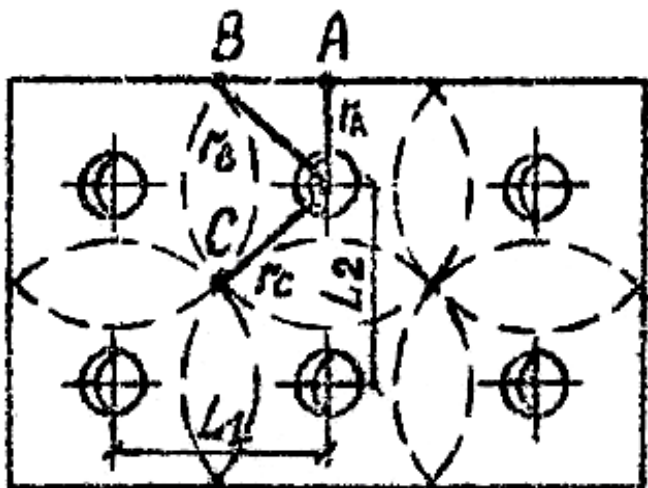


Рис. 15.2. План размещения облучателей над стеллажом

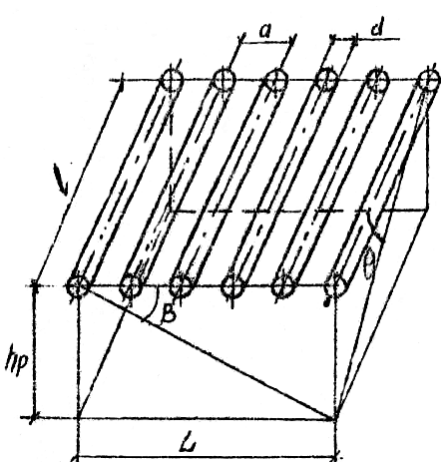


Рис. 15.3. К определению облученности под рамкой-кассетой

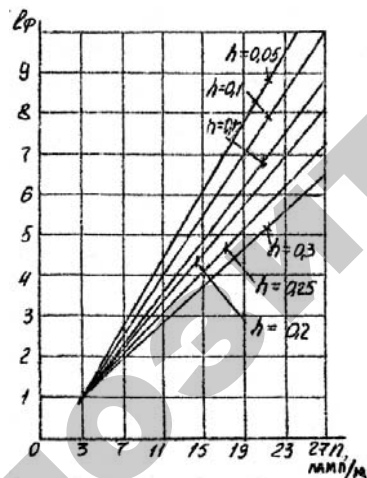


Рис. 15.4. Зависимость относительной облученности от числа ламп в рамке-кассете

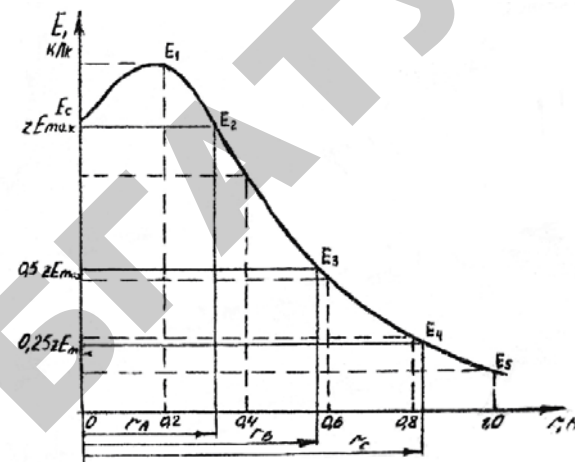


Рис. 15.5. К расчету точечных облучателей

Таблица 15.2

Характеристика источников, используемых для облучения растений

Тип источника	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Фитопоток, фит	Габариты, мм		Срок службы, тыс. ч	K_{ϕ} , фит/лм
				длина	диаметр		
ЛБ-40	40	3000	4,62	199,4	40	10	$1,54 \cdot 10^{-3}$
ЛД-40	40	2340	3,74	199,4	40	10	$1,6 \cdot 10^{-3}$
ЛФ-40-1	40	1680	4,22	199,4	40	5,0	$2,51 \cdot 10^{-3}$
ЛФ-40-2	40	1600	5,22	199,4	40	5,0	$3,26 \cdot 10^{-3}$
ДРЛФ-400	400	10500	27,2	68	152	6,5	$2,59 \cdot 10^{-3}$
ДРЛФ-1000	1000	-	136	-	-	1,5	-
ДРЛ-2000	2000	-	-	-	-	6,0	$1,52 \cdot 10^{-3}$
ДРВ-750	750	24000	-	-	-	2,0	-
ДРИ-1000	1000	9000	-	92	122	3,0	-
ДНаТ-400	400	46000	-	55	62	7,0	-

Таблица 15.3

Рекомендуемые значения удельной мощности установок с различными серийными тепличными облучателями, применяемыми для облучения рассады огурцов и томатов (без учета потерь в ПРА)

Световые зоны (севернее 45 широты)	2	3	4
Города, входящие в указанные световые зоны	Вологда Рига Тарту Псков Новгород Кострома Иваново Горький Ярославль Киров	Калинин Владимир Москва Каунас Минск Казань Рязань Тула Калуга Гомель	Пинск Куйбышев Пенза Курск Харьков Полтава Киев Саратов Волгоград Донецк
Удельная мощность для различных облучателей, Вт·м ⁻²			
ОТ-400	200...250	120...200	100...120
ОТ-1000	115...145	70...115	60...70
ОТ-2000	100...125	60...100	50...60
ЖСП18-400-001	90...110	50...90	45...50
РСР15-2000	110...135	65...110	55...65
ССП03-750-001	250...310	150...250	125...150
ОГС01 «фотос-2», ГСП 26	75...95	45...75	35...45
ОГС01 «фотос-4», ОГС01 «фотос-6»	70...90	40...70	30...40
ПОУ-1 «Светотрон»	60...75	36...60	30...35
СОРТ-1-1000	270...335	160...270	135...160
ОТ 6×40	210...260	125...210	105...125
УОРТ-1-6000	90...120	60...95	45...60

16. АППАРАТУРА КОММУТАЦИИ И ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Задача расчета. Выбрать аппараты защиты и управления электродвигателями и электрокалорифером, установленными в производственном помещении с нормальными условиями среды.

Выбор элементов схемы

Предохранители и автоматические выключатели являются аппаратами защиты электрических сетей и электроприемников от сверхтоков (токов короткого замыкания и токов перегрузки).

При выборе предохранителей следует руководствоваться ПУЭ п. 3.1.8...3.1.11, а также п. 1.7.79 и 7.3.139.

16.1. ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Предохранители выбирают по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению

$$U_{н.пр} \geq U_{н.с}; \quad (16.1)$$

- по номинальному току основания предохранителя

$$I_{пр} \geq I_{дл}; \quad (16.2)$$

- по предельно отключаемому току

$$I_{пред.откл} \geq I_{к.з.макс}; \quad (16.3)$$

где $U_{н.пр}$ – номинальное напряжение предохранителя;

$U_{н.с}$ – номинальное напряжение сети, в которой установлен предохранитель;

$I_{дл}$ – длительный расчетный рабочий ток, протекающий через предохранитель;

$I_{пр}$ – ток, на который рассчитаны токопроводящие элементы предохранителя (ток основания предохранителя);

$I_{пред.откл}$ – предельно отключаемый предохранителем ток, при кратковременном протекании которого предохранитель не выходит из строя;

$I_{к.з.макс}$ – максимальный ток к.з. в цепи предохранителя (трехфазный ток к.з.), возникающий при ненормальных режимах (см. ПУЭ, п. 1.4.20);

- по току плавкой вставки предохранителя.

Плавкая вставка, по возможности, должна быть наименьшей, однако она не должна плавиться (перегорать) при кратковременных сверхтоках. Здесь под термином «сверхток» понимается любой ток в цепи, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока этой цепи (токи перегрузки, пусковые токи и т.д.).

Ток плавкой вставки предохранителя рассчитывают по двум условиям:

$$I_{вст} \geq I_{дл}; \quad (16.4)$$

$$I_{вст} \geq I_{макс} / \alpha, \quad (16.5)$$

где $I_{вст}$ – номинальный ток плавкой вставки;

$I_{макс}$ – максимальный кратковременный ток в линии, защищаемой предохранителем, при котором предохранитель не должен отключать защищаемую линию;

α – коэффициент, зависящий от длительности протекания кратковременного пикового тока.

Значения $I_{макс}$ для электроприводных установок рассчитывают следующим образом.

Для одиночного электродвигателя (ЭД) расчет производят по формуле:

$$I_{макс} = I_{п} = I_{н} \cdot k_i, \quad (16.6)$$

где $I_{п}$ – пусковой ток ЭД;

$I_{н}$ – номинальный ток ЭД;

k_i – кратность пускового тока ЭД.

Для линии, к которой подключается группа электродвигателей, величина максимального тока определяется по формуле:

$$I_{макс} = I_{п.наиб} + \sum_1^{n-1} I_{н}, \quad (16.7)$$

где $I_{п.наиб}$ – пусковой ток одного ЭД или группы из нескольких одновременно включаемых ЭД, при пуске которого (которых) кратковременный ток будет наибольшим;

n – число электродвигателей в группе.

Значение величины α в формуле (5) при расчетах следует принимать:

$\alpha = 2,5$ – для электродвигателей с легким режимом пуска и нечастых пусках (до 15 пусков в час);

$\alpha = 1,6$ – для тяжелых условий пуска или для повторно-кратковременных режимов с частыми пусками (см ПУЭ, п. 5.3.56).

Стандартную плавкую вставку по результатам расчета принимают с током, ближайшим большим расчетного.

Для защиты других электроприемников (не электродвигателей) предохранители выбирают аналогично.

16.2. ВЫБОР АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Автоматические выключатели выбираются по следующим параметрам:

- по номинальному напряжению

$$U_{н.ав} \geq U_{н.с}; \quad (16.8)$$

- по номинальному току выключателя

$$I_{ав} \geq I_{дл}; \quad (16.9)$$

- по предельно отключаемому току

$$I_{пред.ав} \geq I_{к.з.макс}; \quad (16.10)$$

- по номинальному току расцепителя автоматического выключателя с обратно зависимой от тока характеристикой (например, теплового)

$$I_{н.т.р} \geq k_{н.т} \cdot I_{дл}, \quad (16.11)$$

- по току уставки срабатывания (отсечки) автоматического выключателя, имеющего максимальный мгновенно действующий расцепитель (например, электромагнитный):

$$I_{отс} \geq k_{н.м} \cdot I_{макс}; \quad (16.12)$$

$$I_{отс} = k_{ср.м} \cdot I_{н.м.р}, \quad (16.13)$$

где $U_{н.ав}$, $I_{н.ав}$ – номинальное напряжение и номинальный ток автоматического выключателя;

$U_{н.с}$ – номинальное напряжение сети;

$I_{дл}$ – длительный расчетный ток, протекающий через автоматический выключатель;

$I_{предв.ав}$ – предельный ток, отключаемый выключателем;

$I_{кз.макс}$ – максимальный ток короткого замыкания в месте установки выключателя;

$I_{н.т.р}$ – номинальный ток расцепителя с обратно зависимой от тока характеристикой;

$I_{н.м.р}$ – номинальный ток максимального расцепителя (для автоматического выключателя с комбинированным расцепителем $I_{н.т.р} = I_{н.м.р}$);

$I_{отс}$ – уставка тока срабатывания (ток отсечки) максимального расцепителя;

$k_{н.т}$, $k_{н.м}$ – коэффициенты надежности соответственно расцепителей с обратно зависимой от тока характеристикой и максимальных расцепителей, учитывающие разброс по токам срабатывания расцепителей $k_{н.т} = 1,1 \div 1,2$; $k_{н.м} = 1,25 \div 1,4$ или по заводским данным автоматических выключателей с коэффициентом запаса 1,1) (см. ПУЭ, п. 1.7.79);

$k_{ср.м}$ – кратность тока срабатывания максимального мгновенно действующего расцепителя по отношению к номинальному току расцепителя (по заводским данным).

При выборе автоматических выключателей для сетей, защищаемых от перегрузок, необходимо руководствоваться пунктом 3.1.11 ПУЭ.

16.3. ВЫБОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ И ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ

Электромагнитные пускатели выбираются:

- по номинальному напряжению

$$U_{н.п} \geq U_{н.с}, \quad (16.14)$$

где $U_{н.п}$ – номинальное напряжение пускателя;

$U_{н.с}$ – номинальное напряжение сети;

- по номинальному току $I_{н.п} = I_{дл}$, (16.15)

где $I_{н.п}$ – номинальный ток пускателя;

$I_{дл}$ – длительный расчетный ток линии, в которой установлен пускатель;

- по номинальному напряжению обмотки (катушки) электромагнитного пускателя $U_{н.к} = U_{н.у}$, (16.16)

где $U_{н.к}$ – номинальное напряжение обмотки (катушки) пускателя;

$U_{н.у}$ – номинальное напряжение цепи управления, в которую включается обмотка (катушка) магнитного пускателя;

- по току нагревательного элемента магнитного пускателя (при встроенном тепловом реле): $I_T \geq I_{дл}$, (16.17)

где I_T – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле электромагнитного пускателя.

Электротепловое реле выбираются:

- по напряжению реле $U_{н.р} \geq U_{н.с}$; (16.18)

$$- \text{ по номинальному току реле } I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{дл}} , \quad (16.19)$$

где $U_{\text{н.р}}$ и $I_{\text{н.р}}$ – номинальное напряжение и номинальный ток теплового реле;

- по току нагревательного элемента электротеплового реле

$$I_{\text{T}} \geq I_{\text{дл}} , \quad (16.20)$$

где I_{T} – ток уставки нагревательного элемента теплового реле.

Так как тепловое реле по назначению является аппаратом защиты от перегрузки электродвигателей (*не сети!*), то настраивают ток теплового реле I_{T} практически на номинальный ток электродвигателя или с небольшим запасом, если по технологическим причинам возможна кратковременная перегрузка механизма (см. ПУЭ, п. 5.3.57).

16.4. ПЕРЕЧЕНЬ ЗАДАЧ ПО ВЫБОРУ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ

Выбирать аппараты защиты и управления необходимо по двум схемам, приведенным на рисунках 16.1 и 16.2, с учетом того, что электроприемники находятся в производственном помещении с нормальными условиями среды.

Порядок выполнения задания.

1. Рассчитать и выбрать аппараты защиты:

- а) предохранители;
- б) автоматические выключатели (расцепители комбинированные).

2. Выбрать электромагнитные пускатели с тепловыми реле.

Магнитные пускатели установлены в производственном помещении. Магнитный пускатель КМ1 – нереверсивный, КМ2 – реверсивный.

Исходные данные для задачи соответствующего варианта находятся в таблицах 16.1 и 16.2.

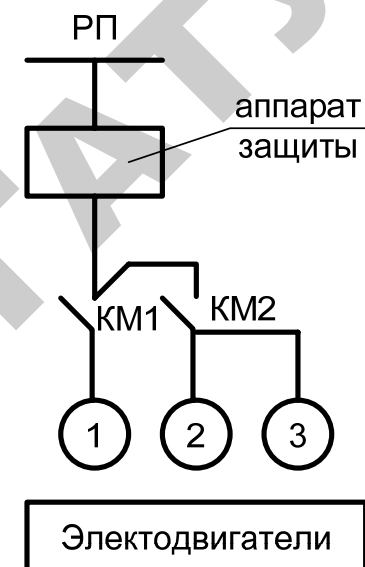


Рис. 16.1. Расчетная схема к таблице 16.1

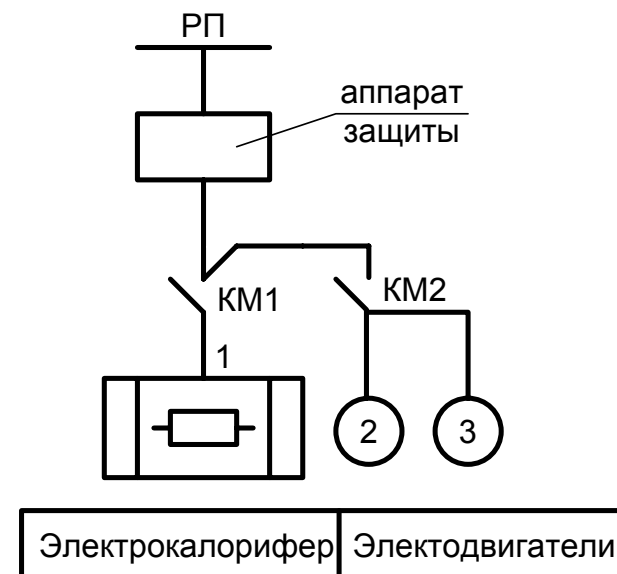


Рис. 16.2. Расчетная схема к таблице 16.2

Таблица 16.1

Исходные данные для схемы, изображенной на рисунке 16.1

Варианты	Параметры электродвигателей								
	1			2			3		
	$P_{н},$ кВт	$\cos\varphi$	η	$P_{н},$ кВт	$\cos\varphi$	η	$P_{н},$ кВт	$\cos\varphi$	η
1	40	0,87	0,92	10	0,85	0,9	4	0,87	0,9
2	30	0,87	0,9	10	0,85	0,9	2,2	0,85	0,8
3	28	0,87	0,92	10	0,85	0,9	4	0,87	0,9
4	22	0,87	0,92	7,5	0,86	0,9	2,2	0,85	0,8
5	18,5	0,8	0,9	5,5	0,88	0,9	1,1	0,8	0,85
6	15	0,85	0,87	5,5	0,82	0,9	0,55	0,75	0,76
7	11	0,85	0,87	4	0,84	0,81	0,37	0,65	0,7
8	10	0,85	0,87	4	0,84	0,81	0,18	0,7	0,67
9	7,5	0,87	0,9	2,2	0,86	0,8	0,12	0,7	0,6
10	5,5	0,87	0,9	2,2	0,87	0,85	4	0,7	0,76
11	11	0,87	0,92	1,1	0,75	0,7	0,18	0,7	0,65
12	15	0,87	0,85	1,1	0,77	0,7	0,37	0,75	0,67
13	28	0,85	0,9	7,5	0,82	0,91	5,5	0,76	0,85
14	22	0,85	0,9	5,5	0,82	0,91	2,2	0,87	0,83
15	18,5	0,87	0,9	7,5	0,82	0,91	1,1	0,8	0,85
16	15	0,85	0,87	4	0,85	0,9	1,1	0,8	0,85
17	11	0,8	0,9	7,5	0,87	0,92	1,1	0,8	0,85
18	10	0,8	0,9	5,5	0,79	0,85	2,2	0,75	0,79
19	7,5	0,8	0,9	4	0,78	0,8	1,1	0,8	0,85
20	15	0,87	0,92	1,1	0,8	0,9	0,75	0,72	0,7
21	10	0,87	0,9	2,2	0,85	0,8	0,37	0,77	0,7
22	11	0,85	0,9	3	0,78	0,85	1,1	0,57	0,85
23	13	0,8	0,9	2,2	0,75	0,8	1,1	0,87	0,85
24	22	0,87	0,92	0,75	0,75	0,6	1,1	0,87	0,9
25	15	0,85	0,9	2,2	0,77	0,85	0,55	0,75	0,8
26	11	0,85	0,9	2,2	0,8	0,9	0,55	0,77	0,85

Таблица 16.2

Исходные данные для схемы, изображенной на рисунке 16.2

Варианты	Параметры электрокалорифера (1) и электродвигателей (2, 3)						
	1	2			3		
	$P_{н},$ кВт	$P_{н},$ кВт	$\cos\varphi$	η	$P_{н},$ кВт	$\cos\varphi$	η
1	60	5	6	7	8	9	10
1	40	10	0,85	0,9	4	0,87	0,9
2	25	10	0,85	0,9	2,2	0,85	0,8
3	16	10	0,85	0,9	4	0,87	0,9
4	10	7,5	0,86	0,9	2,2	0,85	0,8
5	5	5,5	0,88	0,9	1,1	0,8	0,85
6	100	5,5	0,82	0,9	0,55	0,75	0,76
7	60	4	0,84	0,81	0,37	0,65	0,7
8	40	4	0,84	0,81	0,18	0,7	0,67
9	25	2,2	0,86	0,8	0,12	0,7	0,6
10	16	2,2	0,87	0,85	4	0,7	0,76
11	10	1,1	0,75	0,7	0,18	0,7	0,65
12	100	1,1	0,77	0,7	0,37	0,75	0,67
13	60	7,5	0,82	0,91	5,5	0,76	0,85
14	40	5,5	0,82	0,91	2,2	0,87	0,83
15	25	7,5	0,82	0,91	1,1	0,8	0,85
16	16	4	0,85	0,9	1,1	0,8	0,85
17	10	7,5	0,87	0,92	1,1	0,8	0,85
18	100	5,5	0,79	0,85	2,2	0,75	0,79
19	60	4	0,78	0,8	1,1	0,8	0,85
20	40	1,1	0,8	0,9	0,75	0,72	0,7
21	25	2,2	0,85	0,8	0,37	0,77	0,7
22	10	3	0,78	0,85	1,1	0,57	0,85
23	5	2,2	0,75	0,8	1,1	0,87	0,85
24	10	0,75	0,75	0,6	1,1	0,87	0,9
25	16	2,2	0,77	0,85	0,55	0,75	0,8
26	25	2,2	0,8	0,9	0,55	0,77	0,85

Результаты расчетов свести в таблицу 16.3.

Таблица 16.3

Результаты выбора аппаратов управления и защиты

Показатели	Аппараты защиты	
	Предохранители	Автоматические выключатели
Тип		
$I_{н}, А$		
$I_{вст}$ ИЛИ $I_{н,р}$		
Показатели	Аппараты управления	
	Магнитный пускатель КМ1	Магнитный пускатель КМ2
Тип		
$I_{н}, А$		
$I_{Г}, А$		

ЛИТЕРАТУРА

1. Заяц, Е. М. Электротехнологические установки : практикум / Е. М. Заяц, В. А. Карасенко. – Минск : УП «Технопринт», 2002. – 186 с.
2. Электротехнология : учеб. пособие / В. А. Карасенко [и др.]. – Москва : Колос, 1992. – 304 с.
3. Электротермическое оборудование сельскохозяйственного производства : учеб. пособие / Л. С. Герасимович [и др.]. – Москва : Ураджай, 1995. – 415 с.
4. Живописцев, Е. Н. Электротехнология и электрическое освещение : учеб. пособие / Е. Н. Живописцев, О. А. Косицын. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 303 с.
5. Белавин, Ю. А. Трубчатые электрические нагреватели и установки с их применением : справочник / Ю. А. Белавин, М. А. Евстигнеев, А. А. Чернявский. – Москва : Энергопромиздат, 1989. – 157 с.
6. Расстригин, В. Н. Основы электрификации тепловых процессов в сельскохозяйственном производстве : учеб.-практ. пособие / В. Н. Расстригин. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 254 с.
7. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : учеб. пособие. В 3 т. Т. 2 / сост. : Б. А. Артамонов [и др.]; под общ. ред. В. П. Смоленцова. – Москва : Высшая школа, 1983. – 208 с.
8. Заяц, Е. М. Расчеты электротехнологического оборудования : учеб.-практ. пособие / Е. М. Заяц, В. А. Карасенко, И. Б. Дубодел. – Минск : Технопринт, 2001. – 238 с.

Таблица П 1.1.

Приближенное значение постоянной времени
нагрева асинхронных электродвигателей с нормальным
короткозамкнутым ротором мощностью до 90 кВт серий 4А или АИР

Тип электродвигателя серии 4А или АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_{н}$, мин	Тип электродвигателя серии 4А или АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_{н}$, мин
$\omega_0 = 314$ рад/с			...160S6	11	33,51
...50A2	0,09	20,21	$\omega_0 = 157$ рад/с		
...50B2	0,12	18,54	...50A4	0,06	22,8
...56A2	0,18	18,73	...50B4	0,09	13,76
...56B2	0,25	14,09	...56A4	0,12	22,16
...63A2	0,37	15,34	...56B4	0,18	17,98
...63B2	0,55	13,07	...63A4	0,25	19,09
...71A2	0,75	18,98	...63B4	0,37	15,01
...71B2	1,1	18,05	...71A4	0,55	20,30
...80A2	1,5	16,70	...71B4	0,75	19,03
...80B2	2,2	17,56	...80A4	1,1	16,20
...90L2	3	18,20	...80B4	1,5	17,15
...100S2	4	21,63	...90L4	2,2	19,77
...100L2	5,5	21,90	...100S4	3	19,66
...112M2	7,5	22,95	...100L4	4	23,20
...132M2	11	25,60	...112M4	5,5	28,65
...160S2	15	30,78	...132S4	7,5	32,48
...160M2	18,5	28,85	...132M4	11	26,71
...180S2	22	47,10	...160S4	15	16,00
...180M2	30	43,66	...160M4	18,5	14,80
...200M2	37	46,08	...180S4	22	56,60
...220L2	45	44,15	...180M4	30	49,08
...225M2	55	51,65	...200M4	37	58,80
...250S2	75	54,20	...200L4	45	53,30
...250M2	90	48,35	...225M4	55	58,25
$\omega_0 = 104,5$ рад/с			...250S4	75	67,66
...63A6	0,19	14,56	...250M4	90	60,15

ПРИЛОЖЕНИЯ

Окончание таблицы П1.1

Тип электродвигателя серии 4А или АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_{п}$, мин	Тип электродвигателя серии 4А или АИР	Номинальная мощность, кВт	Постоянная времени нагрева $T_{п}$, мин
...63В6	0,25	15,05	$\omega_0 = 104,5$ рад/с		
...71А6	0,37	23,48	...160М6	15	32,11
...71В6	0,55	20,41	...180S4	18,5	59,70
...80А6	0,75	21,56	...200М6	22	66,26
...80В6	1,1	20,80	...200L6	30	54,00
...90L6	1,5	21,40	...225М6	37	60,00
...100L6	2,2	26,50	...250S6	45	76,95
...112МА6	3	29,83	...250М6	55	69,41
...112МВ6	4	27,60	...280S6	75	75,41
...132М6	7,5	32,06	...280М6	90	74,60

Таблица П 1.2

Технические данные электродвигателей серии АИР основного исполнения до 90 кВт

Типо-размер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о.е..			Кратность пуск. тока K_p , о.е..	Момент инерции $I_{р.л.}$, кг·м ²	Масса m , кг
		КПД η , %	$\cos \varphi_n$, о.е..	Скольжение S_n , о.е..	Пускового $\mu_{пуск}$	Критического μ_{max}	Мин. при пуске μ_{min}			
Синхронная частота вращения 3000 мин ⁻¹										
АИР50А2	0,09	60	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,000025	2,5
АИР50В2	0,12	63	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	0,000028	2,8
АИР56А2	0,18	68	0,78	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00042	3,4
АИР56В2	0,25	69	0,79	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00047	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9	2,2	2,2	1,8	5	0,00076	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9	2,2	2,2	1,8	5	0,0009	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6	2,1	2,2	1,6	6	0,00097	6,5
АИР71В2	1,1	79	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6	0,0011	8,8
АИР80А2	1,5	81	0,85	5	2,1	2,2	1,6	7	0,0018	9,8
АИР80В2	2,2	83	0,87	5	2	2,2	1,6	7	0,0021	13,2
АИР90L2	3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	0,0035	16,7
АИР100S2	4	87	0,88	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0059	21,6
АИР100L2	5,5	88	0,89	5	2	2,2	1,6	7,5	0,0075	27,4
АИР112M2	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	1,6	7,5	0,01	41
АИР132M2	11	88	0,9	3	1,6	2,2	1,2	7,5	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3	1,8	2,7	1,7	7	0,039	100
АИР160M2	18,5	90,5	0,9	3	2	2,7	1,8	7	0,043	110

Продолжение таблицы П 1.2

Типо-размер электродвигателя	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о.е..			Кратность пуск. тока K_p , о.е..	Момент инерции $I_{р.л.}$, кг·м ²	Масса m , кг
		КПД η , %	$\cos \varphi_n$, о.е..	Скольжение S_n , о.е..	Пускового $\mu_{пуск}$	Критического μ_{max}	Мин. при пуске μ_{min}			
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2	2,7	1,9	7	0,057	160
АИР180M2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3	1,9	7,5	0,07	180
АИР200M2	37	91,5	0,87	2	1,6	2,8	1,5	7	0,13	220
АИР200S2	45	92	0,88	2	1,8	2,8	1,5	7,5	0,14	240
АИР225M2	55	92,5	0,91	2	1,8	2,6	1,5	7,5	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2	1,8	3	1,6	7,5	0,41	425
АИР250M2	90	93	0,92	2	1,8	3	1,6	7,5	0,46	455
Синхронная частота вращения 1500 мин ⁻¹										
АИР50А	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000029	2,6
АИР50В4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	0,000033	2,9
АИР56А4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	0,0007	3,35
АИР56В4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	0,00079	3,9
АИР63А4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0012	4,7
АИР63В4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	0,0014	5,6
АИР71А4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	0,0013	7,8
АИР71В4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	0,0014	8,8
АИР80А4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0032	9,9
АИР80В4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	0,0056	17

Типо-размер	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о.е..			Кратность пуск. тока K_i , о.е..	Момент инерции $I_{р,л}$, кг·м ²	Масса m , кг
		КПД η , %	$\cos \varphi_n$, о.е..	Скольжение S_n , о.е..	Пускового $\mu_{пуск}$	Критического μ_{max}	Мин. при пуске μ_{min}			
АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	0,011	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4	2	2,5	1,6	7,5	0,028	58
АИР132M4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,078	100
АИР160M4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	0,15	170
АИР180M4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	0,19	190
АИР200M4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,28	245
АИР200L4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	0,34	270
АИР225M4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	0,51	335
АИР250L4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	0,89	450
АИР250M4	90	94	0,89	1,5	1,5	2,5	1,3	7,5	1,1	480
Синхронная частота вращения 1000 мин ⁻¹										
АИР63A6	0,19	56	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0018	4,65
АИР63B6	0,25	59	0,62	14	2	2,2	1,6	4	0,0022	5,6
АИР71A6	0,37	65	0,65	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,0017	7,8
АИР71B6	0,55	68,5	0,7	8,5	2	2,2	1,6	4,5	0,002	8,6
АИР80A6	0,76	70	0,72	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0031	11,6
АИР80B6	1,1	74	0,74	8	2	2,2	1,6	4,5	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2	2,2	1,6	6	0,0073	16,9

Типо-размер	Номинальная мощность P_n , кВт	Номинальные значения			Кратности моментов, о.е..			Кратность пуск. тока K_i , о.е..	Момент инерции $I_{р,л}$, кг·м ²	Масса m , кг
АИР100L6	2,2	81	0,74	5,5	2	2,2	1,6	6	0,013	22,8
АИР112MA6	3	81	0,76	5	2	2,2	1,6	6	0,017	35
АИР112MB6	4	82	0,81	5	2	2,2	1,6	6	0,21	40,4
АИР132S6	5,5	85	0,8	4	2	2,2	1,6	7	0,04	57
АИР132M6	7,5	85,5	0,81	4	2	2,2	1,6	7	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3	2	2,7	1,6	6,5	0,12	100
АИР160M6	15	88	0,85	3	2	2,7	1,6	6,5	0,15	120
АИР180M6	18,5	89,5	0,85	2	1,8	2,4	1,6	6,5	0,2	180
АИР200M6	22	90	0,83	2	1,6	2,4	1,4	6,5	0,36	225
АИР200L6	30	90	0,85	2,5	1,6	2,4	1,4	6,5	0,4	250
АИР225M6	37	91	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1	390
АИР250M6	55	92,5	0,86	2	1,5	2,3	1,4	6,5	1,1	430
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1	6,5	2,9	637
АИР280M6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1	6,5	3,4	702
Синхронная частота вращения 750 мин ⁻¹										
АИР71B8	0,25	56	0,65	8	1,8	1,9	1,4	4	0,0019	7,8
АИР80A8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0034	13,8
АИР80B8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4	0,0041	13,5
АИР90LA8	0,75	70	0,66	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0067	19,7
АИР90LB8	1,1	72	0,7	7	1,6	1,7	1,2	3,5	0,0086	22,3
АИР100L8	1,5	76	0,73	6	1,6	1,7	1,2	5,5	0,013	31,3
АИР112MA8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6	0,017	36

Технические данные электродвигателей серии 4А основного исполнения

Типоразмер электродвигателя	Номинальный режим						Пусковой режим									Момент инерции ротора J_p , кг·м ²	Масса при IM1081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность P_n , кВт	Частота вращения, n_n , мин ⁻¹	Ток I_n , А	КПД η_n , %	Коэффициент мощности $\cos \varphi_n$, о.е.	Плотность тока A/mm^2	Кратность моментов			Критическое скольжение S_{cr} , %	Кратность пуск. тока i_n , о.е.	Скорость роста температур. V , °C/c	Время пуска вхолостую $t_{но}$, с	Допустимое число пусков вхолостую $h_{но}$, вкл./ч				
							Пускового μ_n , о.е.	Миним. при пуске μ_{min} , о.е.	Критич. μ_{max} , о.е.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Двухполюсные электродвигатели, $n_0 = 3000$ мин ⁻¹																		
4AA50A2	0,09	2742	0,32	60	0,70	4,4	2	1,8	2,2	50	3,5	1,2	0,10	4100	0,000025	3,0	9	
4AA50B2	0,12	2709	0,41	63	0,70	4,1	2	1,8	2,2	51	3,5	1,0	0,10	4000	0,000028	3,3	9	
4AA56A2	0,18	2760	0,54	66	0,76	6,8	2	1,5	2,2	46	4,0	3,7	0,09	4000	0,00042	4,0	11	
4AA56B2	0,25	2775	0,73	68	0,77	6,8	2	1,5	2,2	51	4,0	3,7	0,08	4000	0,00047	4,5	11	
4AA63A2	0,37	2751	0,94	70	0,86	7,4	2	1,5	2,2	50,5	4,5	5,5	0,07	3900	0,00076	5,5	14	
4AA63B2	0,55	2745	1,33	73	0,86	8,0	2	1,5	2,2	54,5	4,5	6,5	0,07	3900	0,00090	6,3	14	
4A71A2	0,75	2823	1,7	77	0,87	7,3	2	1,5	2,2	38	5,5	8,1	0,06	3800	0,00097	13,7	19	
4A71B2	1,1	2811	2,48	77,5	0,87	8,5	2	1,5	2,2	39	5,5	10,9	0,06	3800	0,0011	15,1	19	
4A80A2	1,5	2874	3,31	81,0	0,85	6,1	2,1	1,4	2,6	39,5	6,5	7,9	0,07	3600	0,0018	17,4	22	
4A80B2	2,2	2871	4,63	83	0,87	6,5	2,1	1,4	2,6	38,0	6,5	6,5	0,07	3600	0,0021	20,4	22	
4A90L2	3,0	2871	6,14	84,5	0,88	6,4	2,1	1,6	2,5	32,5	6,5	8,7	0,08	3200	0,0035	28,7	24	
4A100S2	4,0	2901	7,90	86,5	0,89	5,2	2	1,6	2,5	28,0	7,5	7,6	0,08	2600	0,0059	36,0	28	
4A100L2	5,5	2898	10,51	87,5	0,91	5,6	2	1,6	2,5	29,0	7,5	8,8	0,09	2600	0,0075	42,0	28	
4A112M2	7,5	2925	14,81	87,5	0,88	5,7	2	1,8	2,8	17,0	7,5	9,1	0,09	2400	0,010	56,0	32	

Продолжение таблицы П 1.3

Типоразмер	P_n , кВт	n_n , мин ⁻¹	I_n , А	η_n , %	$\cos \varphi_n$	A/mm^2	μ_n , о.е.	μ_{min} , о.е.	μ_{max} , о.е.	S_{cr} , %	i_n , о.е.	V , °C/c	$t_{но}$, с	$h_{но}$, вкл./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Четырехполюсные электродвигатели, $n_0 = 1500$ мин ⁻¹																	
4AA50A4	0,06	1378	0,30	50	0,60	4,5	2,0	1,7	2,2	58,5	2,5	0,6	0,1	10000	0,000029	3,0	9
4AA50B4	0,09	1371	0,35	55	0,60	4,9	2,0	1,7	2,2	59,0	2,5	0,8	0,08	10000	0,000033	3,3	9
4AA56A4	0,12	1377	0,44	63	0,66	6,2	2,1	1,5	2,2	49,0	3,5	2,4	0,08	8500	0,0007	4,0	11
4AA56B4	0,18	1366	0,67	64	0,64	6,9	2,1	1,5	2,2	50,5	3,5	2,9	0,07	8500	0,00079	4,5	11
4AA63A4	0,25	1380	0,86	68	0,65	6,8	2,0	1,5	2,2	48,0	4,0	3,7	0,07	8500	0,0012	5,5	14
4AA63B4	0,37	1365	1,20	68	0,69	8,4	2,0	1,5	2,2	4,8	4,0	5,6	0,06	8500	0,0014	6,3	14
4A71A4	0,55	1390	1,69	70,5	0,70	6,9	2,0	1,8	2,2	39	4,5	4,8	0,04	8500	0,0013	13,7	19
4A71B4	0,75	1387	2,17	72	0,73	8,5	2,0	1,8	2,2	40	4,5	7,3	0,03	8500	0,0014	15,1	19
4A80A4	1,1	1419	2,75	75	0,81	7,6	2,0	1,6	2,2	34	5,0	7,2	0,04	7800	0,0032	17,4	22
4A80B4	1,5	1413	3,57	77	0,83	8,0	2,0	1,6	2,2	34,5	5,0	8,0	0,04	7800	0,0032	20,4	22
4A90L4	2,2	1423	5,04	80	0,83	7,6	2,1	1,6	2,4	33	6,0	10,4	0,04	7500	0,0056	28,7	24
4A100S4	3,0	1434	6,70	82	0,83	6,6	2,0	1,6	2,4	31	6,0	7,8	0,04	6500	0,0087	36,0	28
4A100L4	4,0	1431	8,62	84	0,84	6,3	2,0	1,6	2,4	31,5	6,0	7,1	0,04	6500	0,011	42	28
4A112M4	5,5	1446	11,51	85,5	0,85	7,1	2,0	1,6	2,2	25	7,0	12,4	0,04	5000	0,017	56	32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4A132S4	7,5	1456	15,16	87,5	0,86	5,9	2,2	1,7	3,0	19,5	7,5	9,8	0,05	4500	0,028	77	38
4A132M4	11,0	1458	21,97	87,5	0,87	6,1	2,2	1,7	3,0	19,5	7,5	10,5	0,07	4100	0,04	93	38
4A160S4	15,0	1465	29,30	88,5	0,88	5,7	1,4	1,0	2,3	16,0	7,0	8,0	0,12	1800	0,1	135	48
4A160M4	18,5	1467	35,73	89,5	0,88	5,5	1,4	1,0	2,3	16,0	7,0	7,4	0,13	1700	0,13	160	48
4A180S4	22,0	1470	41,31	90	0,90	5,4	1,4	1,0	2,3	14,0	6,5	6,2	0,14	1200	0,19	175	55
4A180M4	30,0	1471	56,34	91,0	0,89	5,6	1,4	1,0	2,3	14,0	6,5	6,4	0,15	1100	0,23	195	55
4A200M4	37,0	1474	67,97	92	0,90	5,9	1,4	1,0	2,5	7,0	8,5	8,5	0,18	1000	0,37	270	60
4A200L4	45	1476	82,66	92	0,90	5,6	1,4	1,0	2,5	10,0	7,0	7,7	0,19	970	0,45	310	60
4A225M4	55	1479	100,48	92,5	0,90	5,3	1,3	1,0	2,5	10,0	7,0	6,9	0,22	750	0,64	355	65
4A250S4	75	1482	136,29	93,0	0,90	4,3	1,2	1,0	2,3	9,5	7,0	4,5	0,26	640	1,0	490	75
4A250M4	90	1480	161,75	93,0	0,91	4,4	1,2	1,0	2,3	9,5	7,0	4,7	0,30	610	1,2	535	75
Шестиполосные электродвигатели, $n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$																	
4AA63A6	0,18	885	0,79	56	0,62	7,6	2,2	1,5	2,2	55,5	3	2,6	0,05	10400	0,0018	5,5	14
4AA63B6	0,25	892	1,04	59	0,62	6,4	2,2	1,5	2,2	62,5	3	1,8	0,04	10400	0,0022	6,3	14
4A71A6	0,37	908	1,26	64,5	0,69	6,9	2,0	1,8	2,2	49	4	3,8	0,03	10500	0,0017	13,7	19
4A71B6	0,55	900	1,74	67,5	0,71	7,5	2,0	1,8	2,2	49	4	4,5	0,03	10500	0,0020	15,1	19
4A80A6	0,75	916	2,23	69	0,74	7,8	2,0	1,6	2,2	37	4	4,9	0,04	8600	0,0031	17,4	22
4A80B6	1,1	920	3,05	74	0,74	7,3	2,0	1,6	2,2	38	4	4,3	0,03	8600	0,0046	20,4	22
4A90L6	1,5	936	4,11	75	0,74	7,1	2,0	1,7	2,2	31,0	4,5	5,1	0,03	8200	0,0073	28,7	24
4A100L6	2,2	949	5,65	81	0,73	6,3	2,0	1,6	2,2	25,5	5,0	5,0	0,04	6900	0,013	42	28
4A112MA6	3,0	953	7,41	81	0,76	6,9	2,0	1,8	2,5	37	6,0	8,6	0,03	7200	0,017	56	32
4A112MB6	4,0	949	9,16	82	0,81	7,1	2,0	1,8	2,5	38	6,0	9,1	0,03	7200	0,021	61	32
4A132S6	5,5	967	12,30	85	0,8	7,0	2,0	1,8	2,5	36	6,0	8,8	0,04	4400	0,040	77	38
4A132M6	7,5	968	16,47	85,5	0,81	6,9	2,0	1,8	2,5	26	6,0	8,6	0,06	4300	0,058	93	38

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Восьмиполосные электродвигатели, $n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$																	
4A160S6	11,0	973	21,98	86	0,86	6,9	1,2	1,0	2,0	15,0	6,0	8,6	0,11	2200	0,14	135	48
4A160M6	15,0	974	29,97	87,5	0,87	6,9	1,2	1,0	2,0	14,0	6,0	8,6	0,11	2100	0,18	160	48
4A180M6	18,5	976	36,75	88	0,87	6,3	1,2	1,0	2,0	13,5	6,0	7,1	0,10	2000	0,22	195	55
4A200M6	22,0	977	41,31	90	0,90	5,5	1,3	1,0	2,4	13,5	6,5	6,4	0,13	1300	0,40	270	60
4A200L6	30,0	979	56,02	90,5	0,90	6,0	1,3	1,0	2,4	13,5	6,5	7,6	0,12	1200	0,45	310	60
4A225M6	37,0	982	69,49	91	0,89	5,7	1,2	1,0	2,3	11,5	6,5	6,8	0,15	1100	0,74	355	65
4A250S6	45,0	986	84,05	91,5	0,89	5,1	1,2	1,0	2,1	9,0	6,5	5,5	0,20	780	1,2	490	75
4A250M6	55,0	987	102,73	91,5	0,89	5,5	1,2	1,0	2,1	9,5	6,5	6,4	0,20	780	1,3	535	75
4A280S6	75,0	980	139,32	92,0	0,89	4,6	1,2	1,0	2,2	8,3	7,0	5,2	0,25	740	2,9	760	80
4A280M6	90,0	982	166,28	92,5	0,89	5,0	1,2	1,0	2,2	8,3	7,0	6,1	0,28	680	3,4	810	80
4A71B8	0,25	654	1,05	56	0,65	7,2	1,6	1,4	1,7	45	3,0	2,3	0,05	15000	0,0019	15,1	19
4A80A8	0,37	683	1,41	61,5	0,65	6,8	1,6	1,2	1,7	33	3,5	2,8	0,04	14100	0,0034	17,4	22
4A80B8	0,55	682	2,01	64	0,65	7,3	1,6	1,2	1,7	34	3,5	3,3	0,04	14100	0,0041	20,4	22
4A90LA8	0,75	705	2,70	68	0,62	7,0	1,6	1,4	1,9	27	3,5	3,0	0,04	10100	0,0067	28,7	24
4A90LB8	1,1	697	3,51	70	0,68	7,3	1,6	1,4	1,9	27	3,5	3,5	0,03	10100	0,0068	36,0	24
4A100L8	1,5	697	4,74	74	0,65	6,4	1,6	1,3	1,9	27	4,0	3,3	0,04	10000	0,013	42,0	28
4A112MA8	2,2	705	6,16	76,5	0,71	6,9	1,9	1,5	2,2	23	5,0	6,0	0,03	9800	0,017	56,0	32
4A112MB8	3,0	706	7,76	79,5	0,74	6,7	1,9	1,5	2,2	35	5,0	5,6	0,03	8800	0,025	61,0	32
4A132S8	4,0	704	10,47	83,0	0,70	6,9	1,9	1,7	2,6	36	5,5	7,2	0,03	6400	0,042	77,0	38
4A132M8	5,5	719	13,62	83,0	0,74	7,1	1,9	1,7	2,6	25	5,5	7,6	0,04	6000	0,057	93,0	38
4A160S8	7,5	731	17,68	86,0	0,75	6,3	1,4	1,0	2,2	14,5	6,0	7,1	0,06	2300	0,14	135	48
4A160M8	11,0	731	25,64	87,0	0,75	6,7	1,4	1,0	2,2	15	6,0	8,1	0,08	2100	0,18	160	48
4A180M8	15,0	730	31,98	87,0	0,82	6,4	1,2	1,0	2,0	13	5,5	6,2	0,10	2200	0,25	195	55
4A200M8	18,5	732	37,85	88,5	0,84	6,1	1,2	1,1	2,2	13	5,5	5,6	0,10	2200	0,40	270	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Восьмиполюсные электродвигатели, $n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$																	
4A200L8	22,0	730	45,01	88,5	0,84	6,7	1,2	1,1	2,2	13	5,5	6,8	0,10	1600	0,45	310	60
4A225M8	30,0	736	62,25	90,5	0,81	5,8	1,3	1,2	2,1	11,5	6,0	6,1	0,11	1500	0,74	355	65
4A250S8	37,0	738	75,34	90,0	0,83	5,9	1,2	1,0	2,0	9	6,0	6,3	0,15	1200	1,2	490	75
4A250M8	45,0	740	89,54	91,0	0,84	5,4	1,2	1,0	2,0	9	6,0	5,2	0,16	1100	1,4	535	75
4A280S8	55,0	733	108,25	92,0	0,84	4,3	1,2	1,0	2,0	8	5,5	4,2	0,25	810	3,2	760	80
4A280M8	75,0	733	145,09	92,5	0,85	4,0	1,2	1,0	2,0	8,5	5,5	4,5	0,27	800	4,1	810	80
4A315S8	90	739	173,17	93,0	0,85	3,8	1,2	0,9	2,3	7,0	7,0	4,5	0,28	750	4,9	875	90

Примечание. Технические данные асинхронных электродвигателей основного исполнения мощностью более 90 кВт приведены в справочнике [10]. Там же приведены данные десятиполюсных АД ($n_0 = 600 \text{ мин}^{-1}$) мощностью от 30 до 110 кВт и двенадцатиполюсных АД ($n_0 = 500 \text{ мин}^{-1}$) мощностью от 45 до 90 кВт.

Таблица П 2.1

Основные технические данные электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Типоразмер электродвигателя	Номинальный режим						Пусковой режим											Момент инерции ротора $J_{\text{р}}$, кг·м ²	Масса при IM1081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность P_n , кВт	Частота вращения $n_{\text{н}}$, мин ⁻¹	Ток $I_{\text{н}}$, А	КПД $\eta_{\text{н}}$, %	Коэффициент мощности $\cos\phi_{\text{н}}$, о.е.	Плотность тока j , А/мм ²	Кратность моментов			Критическое скольжение $S_{\text{к}}$, %	Кратность пуск. тока $I_{\text{п}}$, о.е.	Скорость роста температур V , °С/с	Время пуска в холодную $t_{\text{пх}}$, с	Допустимое число пусков вхолостую $l_{\text{пх}}$, вкл./ч						
							Пускового $\mu_{\text{п}}$, о.е.	Миним. при пуске $\mu_{\text{мин}}$, о.е.	Критич. $M_{\text{крит}}$, о.е.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
Синхронная частота вращения 1500 мин ⁻¹																				
4AP160S4	15,0	1465	29,6	87,5	0,87	5,6	2,0	1,6	2,2	17,0	7,5	8,8	0,09	2100	0,1	135	42			
4AP160M4	18,5	1465	36,1	88,5	0,87	5,5	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	8,5	0,1	2000	0,13	160	42			
4AP180S4	22,0	1460	42,2	90,0	0,87	5,2	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	7,6	0,12	1500	0,19	145	48			
4AP180M4	30,0	1460	57,5	90,0	0,87	5,3	2,0	1,6	2,2	16,0	7,5	7,9	0,12	1400	0,23	195	48			
4AP200M4	37,0	1470	69,5	91,0	0,86	5,6	2,0	1,6	2,2	12,5	7,5	8,8	0,14	1200	0,37	270	55			
4AP200L4	45,0	1470	83,5	92,0	0,88	5,4	2,0	1,6	2,2	12,5	7,5	8,2	0,14	1100	0,45	310	55			
4AP225M4	55,0	1475	101	92,5	0,88	5,1	2,0	1,6	2,2	9,5	7,0	6,4	0,16	1000	0,64	355	60			
4AP250S4	75,0	1475	139	93,0	0,87	4,1	2,0	1,6	2,2	9,5	7,5	4,7	0,19	840	1,0	490	70			
4AP250M4	90,0	1475	165	93,0	0,88	4,2	2,0	1,6	2,2	9,5	7,5	5,0	0,19	800	1,2	535	70			
Синхронная частота вращения 1000 мин ⁻¹																				
4AP160S6	11,0	975	23,5	85,5	0,83	6,1	2,0	1,6	2,2	18,0	7,0	9,1	0,08	2800	0,14	135	42			
4AP160M6	15,0	975	31,4	87,5	0,83	6,1	2,0	1,6	2,2	17,0	7,0	9,1	0,08	2600	0,18	160	42			
4AP180M6	18,522,0	970	40,4	87,0	0,80	5,9	2,0	1,6	2,2	14,5	6,0	6,3	0,08	2500	0,22	195	48			
4AP200M6		975	43,4	90,5	0,85	5,0	2,0	1,6	2,2	14,0	6,5	5,3	0,11	1400	0,40	270	55			

Типоразмер	$P_{н}$, кВт	$n_{н}$, мин ⁻¹	$I_{н}$, А	$\eta_{н}$, %	$\cos\varphi_{н}$, о.е.	j , А/мм ²	$\mu_{н}$, о.е.	$\mu_{мин}$, о.е.	μ_{max} , о.е.	S_k , %	$i_{н}$, о.е.	V , °C/с	$t_{пос}$, с	$h_{пос}$, ВКЛ./ч	J_p , кг·м ²	m , кг	d , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4AP200L6	30,0	975	58,5	90,5	0,86	5,8	2,0	1,6	2,2	14,0	6,5	7,1	0,11	1300	0,45	310	55
4AP225M6	37,0	980	73,8	90,5	0,84	5,3	2,0	1,6	2,2	12,0	7,0	6,9	0,12	1200	0,74	355	60
4AP250S6	45,05	980	91,0	91,5	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	9,5	6,5	5,3	0,16	910	1,16	490	70
4AP250M6	5,0	980	110	91,5	0,83	5,3	2,0	1,6	2,2	9,5	6,5	5,9	0,16	900	1,26	535	70
Синхронная частота вращения 750 мин ⁻¹																	
4AP160S8	7,5	730	17,6	86,0	0,75	6,5	1,8	1,5	2,0	15,5	6,0	7,7	0,07	2800	0,14	135	42
4AP160M8	11,0	730	25,6	87,0	0,75	6,9	1,8	1,5	2,0	16,0	6,0	8,6	0,08	2600	0,18	160	42
4AP180M8	15,0	730	34,2	86,5	0,77	6,2	1,8	1,5	2,0	14,0	5,5	5,8	0,08	2500	0,25	195	48
4AP200M8	18,5	730	41	88,0	0,78	6,1	1,8	1,5	2,0	13,5	5,5	5,6	0,08	2400	0,40	270	55
4AP200L8	22,0	730	47,3	88,5	0,80	6,1	1,8	1,5	2,0	13,5	5,5	5,6	0,08	2300	0,45	310	55
4AP225M8	30,0	735	63,4	90,0	0,80	6,0	1,8	1,5	2,0	12,0	5,5	5,4	0,09	1900	0,74	355	60
4AP250S8	37,0	735	87,0	90,0	0,72	5,6	1,8	1,5	2,0	9,5	5,5	4,7	0,12	1400	1,16	490	70
4AP250M8	45,0	735	101,0	90,5	0,75	5,6	1,8	1,5	2,0	9,5	5,5	4,7	0,12	1400	1,36	535	70

Таблица П 3.1

Технические данные электродвигателей серии 4А повышенного скольжения

Типоразмер электродвигателя	Номинальный режим						Пусковой режим									Момент инерции ротора J_p , кг·м ²	Масса при IM1081 m , кг	Диаметр вала d , мм
	Мощность $P_{н}$, кВт	Частота вращения $n_{н}$, мин ⁻¹	Ток $I_{н}$, А	КПД $\eta_{н}$, %	Коэффициент мощности $\cos\varphi_{н}$, о.е.	Плотность тока j , А/мм ²	Кратность моментов				Критическое скольжение S_k , %	Кратность пуск. тока $i_{пос}$, о.е.	Скорость роста температур V , °C/с	Время пуска в холостую $t_{пос}$, с	Допустимое число пусков вхолостую $h_{пос}$, ВКЛ./ч			
							Пускового $\mu_{пос}$, о.е.	Миним. при пуске $\mu_{мин}$, о.е.	Критич. $\mu_{крит}$, о.е.	μ_{max} , о.е.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Двухполюсные электродвигатели, $n_0 = 3000$ мин ⁻¹																		
4AC71A2	1,0	2823	2,47	72	0,87	8,6	2,0	1,6	2,2	38,4	5,5	11,2	0,07	5800	0,00097	15,1	19	
4AC71B2	1,2	2850	3,11	72	0,83	8,4	2,0	1,6	2,2	39,2	5,5	10,7	0,07	5800	0,0011	15,1	19	
4AC80A2	1,9	2853	4,51	75	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	35,8	6,5	10,4	0,07	5600	0,0018	17,4	22	
4AC80B2	2,5	2865	5,85	76	0,87	7,2	2,0	1,6	2,2	37,0	6,5	11,0	0,07	5600	0,0021	20,4	22	
4AC90L2	3,5	2868	7,87	80	0,86	7,0	2,0	1,6	2,2	33,6	6,5	10,4	0,07	4100	0,0035	28,7	24	
4AC100S2	4,8	2892	10,54	82	0,86	6,4	2,0	1,6	2,2	28,5	7,5	11,5	0,08	3400	0,0059	36	28	
4AC100L2	6,3	2907	13,83	82	0,86	6,1	2,0	1,6	2,2	30,2	7,5	10,5	0,08	3400	0,0075	42	28	
4AC112M2	8,0	2889	17,55	84	0,84	5,5	2,0	1,6	2,4	31,4	7,5	8,5	0,08	3200	0,010	56	32	
4AC132M2	11,0	2856	22,78	84	0,89	6,1	2,0	1,6	2,4	47,9	7,5	10,5	0,12	3200	0,023	93	38	
Четырехполюсный электродвигатель, $n_0 = 1000$ мин ⁻¹																		
4AC71A4	0,60	1377	1,87	68	0,73	7,5	2,0	1,6	2,2	39,6	4,5	5,7	0,04	5600	0,0013	15,1	19	
4AC71B4	0,80	1370	2,41	68,5	0,75	8,8	2,0	1,6	2,2	40,1	4,5	7,8	0,04	6900	0,0014	15,1	19	
4AC80A4	1,3	1416	3,58	68,5	0,82	8,0	2,0	1,6	2,2	33,8	5,0	8,0	0,04	7800	0,0032	17,4	22	
4AC80B4	1,7	1418	4,58	70,0	0,82	8,3	2,0	1,6	2,2	35,0	5,0	8,6	0,04	7800	0,0033	20,4	22	

Значения мощности, кВт, асинхронных двигателей с повышенным скольжением в режиме S3 при различных ПВ

Типоразмер двигателя	Синхронная частота вращения															
	3000				1500				1000				750			
	Продолжительность включения ПВ, %															
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	1,2	1,06	0,95	0,85	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-
4AC71B	1,5	1,3	1,1	0,9	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	2,4	1,9	1,7	1,5	1,6	1,3	1,1	0,93	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	3,2	2,7	2,2	2	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	4,6	4	3,2	2,7	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	-	-	-	-
4AC100S	5,5	5	4,2	3,6	4	3,7	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC100L	8	7	5,8	5,3	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC112MB	11	9,5	7,1	6	8	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	-	-	-	-	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	17	14	11	10	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	-	-	-	-	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	-	-	-	-	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	-	-	-	-	26,5	24	20	19	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC180M	-	-	-	-	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	-	-	-	-	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	-	-	-	-	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	-	-	-	-
4AC225M	-	-	-	-	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	-	-	-	-	75	63	63	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	-	-	-	-	80	71	60	56	60	53	40	36	-	-	-	-

Таблица П 5.1.

Параметры Г-образной схемы замещения асинхронных электродвигателей серии 4 А основного исполнения при $U_{\phi} = 220$ В, с нагретого состояния

Типоразмер	P , кВт	x_{Σ} , Ом	r_1 , Ом	x_1 , Ом	r_2' , Ом	x_2' , Ом
Синхронная угловая частота 314 c^{-1}						
4A 71B2Y3	1,1	249	11,6	4,81	6,41	7,48
4A 80A2Y3	1,5	167	5,60	3,40	3,27	5,40
4A 80B2Y3	2,2	129	3,62	2,38	2,34	4,15
4A 90L2Y3	3,0	122	2,59	2,05	1,69	3,60
4A 100S2Y3	4,0	95	1,51	1,54	1,01	2,77
4A 100L2Y3	5,5	79,9	1,05	1,14	0,757	2,31
4A 112M2Y3	7,5	55,2	0,686	0,865	0,417	2,09
4A 132M2Y3	11,6	43,9	0,418	0,638	0,261	1,25
4A 160S2Y3	15,0	31,0	0,403	0,713	0,171	0,930
4A 160M2Y3	18,5	28,8	0,313	0,588	0,141	0,767
4A 180S2Y3	22,0	19,1	0,207	0,483	0,106	0,585
4A 180M2Y3	30,0	15,0	0,118	0,288	0,071	0,434
4A 200M2Y3	37,0	12,9	0,091	0,295	0,066	0,377
4A 200L2Y3	45,0	12,95	0,071	0,233	0,053	0,344

Продолжение таблицы П 5.1

Типоразмер	$P, \text{кВт}$	$x_{\mu}, \text{Ом}$	$r_1, \text{Ом}$	$x_1, \text{Ом}$	$r'_2, \text{Ом}$	$x'_2, \text{Ом}$
Синхронная угловая частота 157 с^{-1}						
4A 80A4Y3	1,1	136	9,62	6,25	5,45	9,62
4A 80B4Y3	1,5	118	7,42	4,82	4,26	7,42
4A 90L4Y3	2,2	92	4,29	3,33	2,63	5,70
4A 100S4Y3	3,0	72,5	2,57	2,60	1,75	4,28
4A 100L4Y3	4,0	61,5	1,72	2,02	1,36	3,59
4A 112M4Y3	5,5	53,7	1,23	1,50	0,787	2,49
4A 132S4Y3	7,5	43,7	0,699	1,24	0,481	1,89
4A 132M4Y3	11,0	32,1	0,432	0,854	0,321	1,31
4A 160S4Y3	15,0	30,2	0,354	0,648	0,188	0,980
4A 160M4Y3	18,5	26,6	0,260	0,525	0,148	0,803
4A 180S4Y3	22,0	21,4	0,219	0,428	0,112	0,641
4A 180M4Y3	30,0	15,3	0,133	0,267	0,071	0,470
4A 200M4Y3	37,0	14,1	0,125	0,276	0,058	0,450
4A 200L4Y3	45,0	12,3	0,091	0,219	0,045	0,374

Продолжение таблицы П 5.1

Типоразмер	$P, \text{кВт}$	$x_{\mu}, \text{Ом}$	$r_1, \text{Ом}$	$x_1, \text{Ом}$	$r'_2, \text{Ом}$	$x'_2, \text{Ом}$
Синхронная угловая частота $104,7 \text{ с}^{-1}$						
4A 80B6Y3	1,1	116	8,67	7,95	7,95	13,7
4A 90L6Y3	1,5	96,7	5,91	5,91	4,73	11,3
4A 100L6Y3	2,2	74,1	3,51	4,29	2,61	8,20
4A 112MA6Y3	3,0	56,6	2,53	2,20	1,88	2,98
4A 112MBY3	4,0	48,2	1,86	1,76	1,49	2,65
4A 132S6Y3	5,5	34,1	1,20	1,29	0,736	1,97
4A 132M6Y3	7,5	28,2	0,804	0,939	0,536	1,47
4A 160S6Y3	11,0	29,3	0,713	1,070	0,293	1,46
4A 160M6Y3	15,0	22,1	0,457	0,737	0,206	1,18
4A 180M6Y3	18,5	17,4	0,337	0,661	0,156	0,781
4A 200M6Y3	22,0	21,9	0,267	0,588	0,128	0,748
4A 200L6Y3	30,0	14,6	0,181	0,473	0,087	0,512
Синхронная угловая частота $78,5 \text{ с}^{-1}$						
4A 90B8Y3	1,1	88,0	8,17	9,42	6,91	18,8
4A 100L8Y3	1,5	69,8	5,12	7,44	4,33	14,9
4A 112MA8Y3	2,2	53,8	3,33	3,94	2,97	6,09
4A 112MB8Y3	3,0	45,6	2,28	3,13	2,36	4,48
4A 132S8Y3	4,0	33,7	1,43	2,11	1,22	3,59

Типоразмер	P , кВт	x_{μ} , Ом	r_1 , Ом	x_1 , Ом	r'_2 , Ом	x'_2 , Ом
4A 132M8Y3	5,5	29,2	1,14	1,78	0,989	3,08
4A 160S8Y3	7,5	25,0	0,936	1,75	0,250	2,25
4A 160M8Y3	11,0	17,2	0,568	1,12	0,267	1,55
4A 180M8Y3	15,0	16,6	0,422	0,898	0,207	1,17
4A 200M8Y3	18,5	15,2	0,333	0,759	0,152	0,934
4A 200L8Y3	22,0	15,2	0,304	0,687	0,142	0,883

В таблице: P_n – номинальная мощность электродвигателя;
 x_{μ} – индуктивное сопротивление основного магнитного потока;
 x_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора;
 x'_2 – индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора;
 r_1 – активное сопротивление обмотки статора;
 r'_2 – активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора.
Г-образная схема – приведена в [10].

Таблица П 6.1.

Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей основного исполнения высотой оси вращения до 200 мм

Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1\text{н}}$, В)		Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1\text{н}}$, В)	
		380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$			380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$
4AA50A2	0,09	82,5	-	4A90LB8	1,1	5,74	-
4AA50B2	0,12	57,8	-	4A100S2	4,0	1,19	-
4AA50A4	0,06	91,1	-	4A100L2	5,5	0,812	-
4AA50B4	0,09	59,1	-	4A100S4	3,0	1,9	-
4AA56A2	0,18	54,9	-	4A100L4	4,0	1,27	-
4AA56B2	0,25	38,7	-	4A100L6	2,2	2,55	-
4AA56A4	0,12	70,6	-	4A100L8	1,5	3,85	-
4AA56B4	0,18	46,6	-	4A112M2	7,5	0,53	-
4AA63A2	0,37	26,2	-	4A112M4	5,5	0,995	-
4AA63B2	0,55	16,6	-	4A112MA6	3,0	2,07	-
4AA63A4	0,25	29,0	-	4A112MB6	4,0	1,52	-
4AA63B4	0,37	21,5	-	4A112MA8	2,2	2,73	-
4AA63A6	0,18	52,0	-	4A112MB8	3,0	1,86	-
4AA63B6	0,25	30,0	-	4A132M2	11,0	0,341	-
4A71A2	0,75	12,1	-	4A132S4	7,5	0,572	-
4A71B2	1,1	8,35	-	4A132M4	11,0	0,346	-
4A71A4	0,55	12,3	-	4A132S6	5,5	0,976	-
4A71B4	0,75	9,41	-	4A132M6	7,5	0,646	-
4A71A6	0,37	21,1	-	4A132S8	4,0	1,18	-

Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}, В$)		Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}, В$)	
		380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$			380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$
4A71B6	0,55	14,4	-	4A132M8	5,5	0,917	-
4A71B8	0,25	35,6	-	4A160S2	15,0	0,298	0,893
4A80 A2	1,5	4,11	-	4A160M2	18,5	0,226	0,685
4A80B2	2,2	2,59	-	4A160S4	15,0	0,27	0,847
4A80A4	1,1	7,15	-	4A160M4	18,5	0,197	0,637
4A80B4	1,5	5,8	-	4A160S6	11,0	0,503	1,65
4A80A6	0,75	10,8	-	4A160M6	15,0	0,346	1,02
4A80B6	1,1	6,26	-	4A160S8	7,5	0,637	-
4A80A8	0,37	21,3	-	4A160M8	11,0	0,428	-
4A80B8	0,55	13,4	-	4A180S2	22	0,151	0,435
4A90L2	3,0	1,96	-	4A180M2	30	0,0869	0,303
4A90L4	2,2	3,11	-	4A180S4	22,0	0,161	0,522
4A90L6	1,5	4,36	-	4A180M4	30,0	0,0989	0,303
4A90LA8	0,75	8,32	-	4A180M6	18,5	0,249	0,736
				4A180M8	15,0	0,318	0,993

Таблица П 6.2

Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей с повышенным пусковым моментом

Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}, В$)		Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1л}, В$)	
		380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$			380, Y	$\frac{380}{660} \cdot \frac{\Delta}{Y}$
4AP160S4	15	0,810		4AP200M6	22	0,430	
4AP160M4	18,5	0,561		4AP200L6	30	0,312	
4AP160S6	11	1,37		4AP200M8	18,5	0,579	
4AP160M6	15	0,825		4AP200L8	22	0,496	
4AP160S8	7,5	1,87		4AP225M4	55	0,133	
4AP160M8	11	1,15		4AP225M6	37	0,213	
4AP180S4	22	0,424		4AP225M8	30	0,336	
4AP180M4	30	0,271		4AP250S4	75	0,067	
4AP180M6	18,5	0,612		4AP250M4	90	0,0532	
4AP180M8	15	0,838		4AP250S6	45	0,161	
4AP200M4	37	0,241		4AP250M6	55	0,127	
4AP200L4	45	0,169		4AP250S8	37	0,203	
				4AP250M8	45	0,174	

Активное сопротивление обмотки фазы статора электродвигателей с повышенным скольжением высотой оси вращения до 160 мм

Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1н}, В$) 380, Y	Тип электро-двигателя	Ном. мощность, кВт	Сопротивление, Ом (при $U_{1н}, В$) 380, Y
4AC71A2	1	9,05	4AC100S2	4,8	1,13
4AC71B2	1,2	6,63	4AC100L2	6,3	0,679
4AC71A4	0,6	12,3	4AC100S4	3,2	1,67
4AC71B4	0,8	9,41	4AC100L4	4,25	1,18
4AC71A6	0,4	21,1	4AC100L6	2,6	2,20
4AC71B6	0,63	12,6	4AC100L8	1,6	3,36
4Ac71B8	0,3	26,1	4AC112M2	8,0	0,452
4AC80A2	1,9	3,63	4AC112M4	5,6	0,916
4AC80B2	2,5	2,49	4AC112MA6	3,2	1,79
4AC80A4	1,3	6,29	4AC112MB6	4,2	1,45
4AC80B4	1,7	4,49	4AC112MA8	2,2	2,4
4AC80A6	0,8	8,82	4AC112MB8	3,2	1,74
4AC80B6	1,2	5,62	4AC132M2	11,0	0,285
4AC80A8	0,45	15,5	4AC132S4	8,5	0,505
4AC80B8	0,6	11,7	4AC132M4	11,8	0,301
4AC90L2	3,5	1,70	4AC132S6	6,3	0,928
4AC90L4	2,4	3,11	4AC132M6	8,5	0,556
4AC90L6	1,7	3,74	4AC132S8	4,5	1,13
4AC90LA8	0,9	7,42	4AC132M8	6,0	0,719
4AC90LB8	1,2	4,95			

172

Таблица П 7.1

Значения коэффициента потерь мощности для асинхронных электродвигателей основного исполнения серии 4А мощностью до 90 кВт

Тип электродвигателя	$P_{н}, кВт$	$\alpha_{н}, о.е.$	Тип электродвигателя	$P_{н}, кВт$	$\alpha_{н}, о.е.$	Тип электродвигателя	$P_{н}, кВт$	$\alpha_{н}, о.е.$
$n_0 = 3000 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$			$n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$		
4AA50A2	0,09	0,60	4AA50A4	0,06	0,08	4AA63A6	0,18	0,38
4AA50B2	0,12	0,38	4AA50B4	0,09	0,21	4AA63B6	0,25	0,53
4AA56A2	0,18	0,65	4AA56A4	0,12	0,22	4AA71A6	0,37	0,49
4AA56B2	0,25	0,44	4AA56B4	0,18	0,44	4A80A6	0,55	0,36
4AA63A2	0,37	0,22	4AA63A4	0,25	0,51	4A80B6	1,1	0,57
4AA63B2	0,55	0,23	4AA63B4	0,37	0,57	4A90L6	1,5	0,43
4A71A2	0,75	0,29	4A71A4	0,55	0,56	4A100S6	2,2	0,39
4A71B2	1,1	0,18	4A71B4	0,75	0,34	4A112MA6	3	0,40
4A80A2	1,5	0,56	4A80A4	1,1	0,39	4A112MB6	4	0,39
4A80B2	2,2	0,56	4A80B4	1,5	0,30	4A132S6	5,5	1,07
4A90L2	3	0,38	4A90L4	2,2	0,26	4A132M6	7,5	0,82
4A100S2	4	0,50	4A100S4	3	0,36	4A160S6	11	0,19
4A100L2	5,5	0,30	4A100L4	4	0,35	4A160M6	15	0,28
4A112M2	7,5	0,64	4A112M4	5,5	0,36	4A180M6	18,5	0,31
4A132M2	11	0,27	4A132S4	7,5	0,69	4A200M6	22	0,23
4A160S2	15	0,68	4A132M4	11	0,44	4A200L6	30	0,47
4A160M2	18,5	0,69	4A160S4	15	0,29	4A225M6	37	0,38
4A180S2	22	0,55	4A160M4	18,5	0,23	4A250S6	45	0,74
4A180M2	30	0,44	4A180S4	22	0,62	4A250M6	55	0,73
4A200M2	37	0,46	4A180M4	30	0,65	4A280S6	75	0,36
4A200L2	45	0,54	4A200M4	37	0,83	4A280M6	90	0,39
4A225M2	55	0,71	4A200L4	45	0,39			
4A250S2	75	0,36	4A225M4	55	0,72			

173

Значения коэффициента потерь мощности асинхронных электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Тип электро-двигателя	P_n , кВт	α_n , о.е..	Тип электро-двигателя	P_n , кВт	α_n , о.е..	Тип электро-двигателя	P_n , кВт	α_n , о.е..
$n_0 = 1\ 500\ \text{мин}^{-1}$			$n_0 = 1\ 000\ \text{мин}^{-1}$			$n_0 = 750\ \text{мин}^{-1}$		
4AP160S4	15	0,32	4AP160S6	11	0,20	4AP160S8	7,5	0,53
4AP160M4	18,5	0,28	4AP160M6	15	0,28	4AP160M8	11	0,50
4AP180S4	22	0,62	4AP180M6	18,5	0,34	4AP180M8	15	0,29
4AP180M4	30	0,67	4AP200M6	22	0,22	4AP200M8	18,5	0,31
4AP200M4	37	0,88	4AP200L6	30	0,47	4AP200L8	22	0,40
4AP200L4	45	0,39	4AP225M6	37	0,41	4AP225M8	30	0,44
4AP225M4	55	0,72	4AP250S6	45	0,74	4AP250S8	37	0,87
4AP250S4	75	0,68	4AP250M6	55	0,73	4AP250M8	45	0,76

174

Таблица П 8.1

Значения коэффициентов монтажа k_m и среды k_c

Конструктивное исполнение нагревателя	k_m
Проволока, натянутая горизонтально	1,0
Проволочная спираль	0,8 – 0,9
Проволочная спираль на огнеупорном держателе	0,7
Проволока, навитая на огнеупорный держатель	0,6 – 0,7
Спираль между двумя слоями тепловой изоляции (закрытые электроплитки, ТЭНы)	0,5
Нагревательное сопротивление с мощной тепловой изоляцией (электронагреватели в электрообогреваемых полах)	0,3...0,4
Окружающая (нагреваемая) среда	k_c
Нагреватель в потоке воздуха, скорость которого, м/с:	
0	1,0
3	1,8
5	2,1
10	3,1
Нагреватель в воде неподвижной в потоке воды	2,5 3 и более

175

Зависимость температуры проволоки из нихрома, подвешенной горизонтально в спокойном воздухе при 20 °С, от тока и диаметра

Диаметр проволоки, мм	Площадь сечения, мм ²	Допустимые нагрузки, А, при расчетной температуре, °С						
		200	400	600	700	800	900	1000
0,10	0,008	0,1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,15	0,118	0,5	0,6	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6
0,20	0,031	0,6	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	2,3
0,25	0,149	0,8	1,3	1,8	2,1	2,4	2,7	3,1
0,3	0,085	1,0	1,6	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8
0,35	0,096	1,3	1,9	2,8	3,3	3,7	4,1	4,7
0,40	0,126	1,5	2,3	3,3	3,8	4,4	5,0	5,7
0,45	0,159	1,7	2,7	3,9	4,4	5,2	5,8	6,7
0,50	0,195	2,0	3,1	4,5	5,2	5,9	6,75	7,7
0,55	0,238	2,2	3,5	5,1	5,8	6,7	7,6	8,7
0,60	0,342	2,5	4,0	5,7	6,5	7,5	8,5	9,7
0,65	0,332	2,8	4,4	6,3	7,1	8,2	9,3	10,7
0,70	0,385	3,1	4,8	6,9	7,8	9,1	10,3	11,8
0,75	0,442	3,4	5,3	7,5	8,4	9,9	11,2	12,8
0,80	0,503	3,7	5,7	8,1	9,1	10,8	12,3	14,0
0,90	0,636	4,2	6,7	9,3	10,4	12,3	14,5	16,5
1,00	0,785	4,8	7,7	10,8	12,1	14,3	16,8	19,2

Окончание таблицы П 8.2

Диаметр проволоки, мм	Площадь сечения, мм ²	Допустимые нагрузки, А, при расчетной температуре, °С						
		200	400	600	700	800	900	1000
1,10	0,950	5,4	8,7	12,4	13,9	16,5	19,1	21,5
1,20	1,130	6,0	9,8	14,0	15,8	18,7	21,6	24,3
1,30	1,330	6,6	10,9	15,6	17,8	21,0	24,4	27,0
1,40	1,540	7,2	12,0	17,4	20,0	23,3	27,0	30,0
1,50	1,770	7,9	13,2	19,2	22,4	25,7	30,0	33,0
1,60	2,010	8,6	14,4	21,0	24,5	28,0	32,9	36,0
1,80	2,540	10,0	16,9	24,9	29,0	33,1	39,0	43,2
2,00	3,140	11,7	19,6	28,7	33,8	39,5	47,0	51,0
2,50	4,910	16,6	27,5	40,0	46,6	57,5	66,5	73,0
3,00	7,070	22,3	37,5	54,5	64,0	77,0	88,0	102,0
4,00	12,60	33,0	60,0	80,0	93,0	110,0	129,0	151,0
5,00	19,16	52,0	83,0	105,0	124,0	146,0	173,0	206,0

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ С НЕИЗМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ.....	5
2. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ С ПЕРЕМЕННОЙ НАГРУЗКОЙ.....	12
3. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ.....	18
4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ.....	27
5. ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ СЕПАРАТОР СЕМЯН.....	39
6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ИОНИЗАТОР ВОЗДУХА.....	44
7. УСТАНОВКИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЗЕРНА.....	53
8. ИНФРАКРАСНАЯ СУШКА СЕЛЬХОЗМАТЕРИАЛОВ.....	63
9. УСТАНОВКИ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНА.....	70
10. ТРУБЧАТЫЕ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛИ.....	75
11. ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ И АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ.....	84
12. ЭЛЕКТРООБОГРЕВ В СООРУЖЕНИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА.....	99
13. ОБМОТКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕКТОРА СЕМЯОЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ.....	108
14. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПЛАЗМОЛИЗАТОР РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	119
15. ТЕПЛИЧНЫЕ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ С ТОЧЕЧНЫМИ И ЛИНЕЙНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ.....	124

16. АППАРАТЫ КОММУТАЦИИ И ЗАЩИТЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК.....	136
16.1. Выбор предохранителей.....	136
16.2. Выбор автоматических выключателей.....	138
16.3. Выбор электромагнитных пускателей и электротепловых реле.....	140
16.4. Перечень задач по выбору элементов схемы.....	141
ЛИТЕРАТУРА.....	146
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	147

Учебное издание

Кардашов Павел Владимирович, **Дубодел** Иннеса Борисовна,
Музыченко Елена Николаевна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Практикум

Ответственный за выпуск *В. П. Степанцов*
Редактор *Н. А. Антипович*
Компьютерная верстка *А. И. Стебули*

Подписано в печать 03.01.2012 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 10,46. Уч.-изд. л. 8,18. Тираж 100 экз. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.