

Министерство топлива и энергетики Российской Федерации

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА
РЕЖИМОВ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ
И САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 3-10 кВ
СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
УПРОЩЕННЫМИ МЕТОДАМИ**

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРГРЭС

Москва

1993

С О С Т А В Л Е Н О канд.техн.наук В.Х.ГЕОРГИАДИ (фирма ОРГРЭС)

© СПО ОРГРЭС, 1993

Подписано к печати 29.II.93	Формат 60х84 1/8
Печать офсетная	Усл.печ.л. 16,27 Уч.-изд.л. 16,0 Тираж 700 экз.
Заказ № 12/94	Издат. № 92138

Производственная служба передового опыта эксплуатации
энергопредприятий ОРГРЭС
105043, Москва, Семеновский пер., д.15
Участок оперативной полиграфии СПО ОРГРЭС
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.49, строение 6

МЕТОДИКА РАСЧЕТА
РЕЖИМОВ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ И
САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 3-10 кВ
СВОБЕДНЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
УПРОЩЕННЫМИ МЕТОДАМИ

В данной методике дана краткая характеристика физических процессов, происходящих при перерыве питания и самозапуске электроприводов СН тепловых электростанций; изложены общие положения по выбору расчетных условий для проверки режимов перерыва питания и самозапуска группы электродвигателей; представлены упрощенные методы расчета этих режимов, отличающиеся

малым объемом вычислительных операций и возможностью их реализации с помощью малых вычислительных средств; приведены технические данные выключателей, силовых трансформаторов, токоограничивающих реакторов, электродвигателей и механизмов.

Настоящая Методика предназначена для работников проектных, наладочных и эксплуатационных организаций.

В В Е Д Е Н И Е

Самозапуск электродвигателей - такой электромеханический процесс, при котором частота вращения электродвигателей (полностью или частично) уменьшается вследствие отключения их от сети или глубокого понижения напряжения на их зажимах при внешних коротких замыканиях, а при восстановлении напряжения достигает установившегося значения [1].

Самозапуск электродвигателей (ЭД) собственных нужд тепловых электростанций является одним из важнейших эксплуатационных режимов, обеспечивающих непрерывность технологического процесса и устойчивую бесперебойную работу теплоэнергетического оборудования при перерывах питания и повторной подаче напряжения на шины СН, соответствующую требованиям нормативно-технических документов.

Неуспешный самозапуск ЭД СН может привести к аварийному останову котлов и турбогенераторов, что связано с большим экономическим ущербом из-за недоотпуска электроэнергии и тепла, отключения ответственных потребителей, а также к повреждению основного оборудования.

Возможность осуществления самозапуска

ЭД СН должна предусматриваться на стадии проектирования ТЭС путем выбора соответствующих схем электроснабжения и силового оборудования, релейной защиты и автоматики.

В ряде случаев (при замене одного типа ЭД другим, подключении дополнительных ЭД к шинам секций СН, при замене токоограничивающего реактора или силового трансформатора СН, при проверке возможности самозапуска ЭД нескольких секций СН разных энергоблоков от одного пускорезервного трансформатора СН) при эксплуатации ТЭС также возникает потребность в проверке успешности самозапуска ЭД СН, возникающего в результате кратковременных перерывов питания.

Наиболее достоверный и полный ответ на вопрос, успешен или неуспешен самозапуск ЭД после перерывов питания СН, можно получить только после проведения предварительных расчетов и соответствующих дополнительных экспериментальных проверок.

Методика содержит общие рекомендации, с помощью которых могут быть выполнены приближенные оценочные расчеты поведения группы ЭД при глубокой посадке напряжения из-за КЗ или перерыве питания, а также при повторной подаче напряжения (в результате

отключения КЗ или включения выключателя ввода резервного питания) с применением даже малой вычислительной техники - микрокалькулятора.

Предлагаемая методика позволяет, используя возможности калькулятора, выполнить расчеты по групповому выбегу и самозапуску электродвигателей СН с достаточной степенью точности.

Приведенные методы, характеризующиеся малым объемом вычислительных операций, основаны на использовании каталожных данных оборудования. С помощью этих методов с достаточной точностью (около 10-15%) определяются начальные значения токов и напряжений, предельная мощность неотключаемых ЭД по условиям успешности самозапуска, полное время восстановления частоты вращения ЭД различных механизмов с точностью примерно $\pm 30\%$. Это позволяет оценить возможность и эффективность самозапуска ЭД применительно к типовым схемам СН ТЭС.

Необходимость применения упрощенных методов обосновывается: значительно меньшим объемом вычислительных операций; доступностью их применения более широким кругом специалистов; точностью не ниже разработанных сложных программ расчета на ЭВМ.

По предложенным методам могут быть выполнены расчеты для любой ТЭС эксплуатационным персоналом электротехнической лаборатории. Результаты расчетов должны быть согласованы со службами релейной защиты и автоматики ПОЭС, проектными организациями или фирмой ОРГЭС.

Сложную схему электроснабжения или при необходимости более детальный расчет режимов перерыва питания и самозапуска ЭД СН рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ в соответствии с [2]. Следует также отметить, что существуют и другие программы расчета режимов перерыва питания и самозапуска электродвигателей СН ТЭС: Киевского политехнического института (авторы канд.техн.наук, доцент Н.В.Костерев,

П.Л.Денисюк), Санкт-Петербургского государственного технического университета (авторы доктор техн.наук, профессор А.К.Черновец, канд.техн.наук, доцент Ю.М.Шаргин, канд.техн.наук К.Н.Семенов); Донецкого политехнического института (авторы доктор техн.наук, профессор В.Ф.Сивокобыленко, канд.техн.наук, доцент В.А.Павлюков, инж. С.Н.Дмитренко).

В данной Методике рассматриваются исходные положения, которые должны служить основой для выполнения расчетов с учетом особенности данной электроустановки.

Метод определения коэффициента загрузки электродвигателей по активной мощности приведен в приложении I.

В приложениях 2-6 приведены технические данные выключателей, электродвигателей, механизмов собственных нужд, силовых трансформаторов, токоограничивающих реакторов, которые значительно облегчат выполнение расчетов, так как большая часть времени затрачивается на сбор исходной информации. По оборудованию, не представленному в данных приложениях, технические данные могут быть получены в конструкторских отделах, НИИ заводов-изготовителей.

Автор благодарит доктора техн.наук, профессора Л.Г.Мамиконянца, канд.техн.наук Э.М.Аббасову (ВНИИЭ); канд.техн.наук В.А.Зибермана (ГНИПИ "Атомэнергoproject"); доктор техн.наук, профессора В.Ф.Сивокобыленко, канд.техн.наук В.А.Павлюкова (Донецкий политехнический институт); канд.техн.наук К.Н.Семенова (Санкт-Петербургский государственный технический университет); канд.техн.наук Н.В.Костерева (Киевский политехнический институт); канд.техн.наук В.В.Жукова и В.А. Старшинова (Московский энергетический институт) за замечания, направленные на улучшение рукописи.

Автор будет благодарен читателям за замечания по содержанию Методики. Пожелания по ее улучшению следует направлять по адресу: 105023, Москва, Семеновский пер., д.16, фирма ОРГЭС, электроцех.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В НАСТОЯЩЕЙ МЕТОДИКЕ

АД - асинхронный электродвигатель.	ПРТСН - пускорезервный трансформатор собственных нужд.
АВР - автоматическое включение резерва (резервного питания).	РТСН - рабочий трансформатор собственных нужд.
ГРУ - распределительное устройство на генераторном напряжении.	Сд - синхронный электродвигатель.
ЗМН - защита минимального напряжения.	ТСН - трансформатор собственных нужд.
КЗ - короткое замыкание.	УРОВ - устройство резервирования отказа в работе выключателя.
НТП - нормы технологического проектирования.	ЭД - электродвигатель.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ПЕРЕРЫВЕ ПИТАНИЯ КЗ, САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Известно, что процессу самозапуска группы ЭД СН предшествует либо исчезновение (рис.1), либо глубокое понижение (рис.2) напряжения на зажимах ЭВ в течение времени перерыва питания. При этом уменьшается частота вращения ЭД.

Самозапуск агрегата (ЭД плюс механизм) СН до достижения нормальной частоты вращения при данной нагрузке агрегата происходит при повторной подаче достаточного напряжения на зажимы ЭД.

Характер процесса самозапуска в значительной мере зависит от того, участвует в нем один или группа ЭД, от состава ЭД, механизмов и их характеристик, от значения сопротивления внешней сети между ЭД и источником питания, от значения напряжения источника питания, от времени перерыва питания.

Самозапуск одиночного ЭД зависит от загрузки механизма в установившемся режиме, предшествующем выбегу, от характера момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма, от времени перерыва питания, от значения напряжения на шинах секции СН.

После отключения от сети одиночного ЭД накопленная в нем кинетическая и электромагнитная энергия расходуется постепенно, благодаря чему после отключения ЭД напряжение резко падает до значения E_{101} и далее уменьшается пропорционально снижению магнитного потока по закону экспоненты и частоте вращения вала, а частота напряжения изменяется пропорционально частоте вращения ротора (см.рис.1).

При отключении группы ЭД изменение частоты вращения каждого ЭД будет отличаться от изменения частоты вращения одиночного ЭД. Будучи электрически связанными между собой ЭД воздействуют друг на друга таким образом, что те из них, которые имеют больший запас кинетической энергии (большее значение электромеханической постоянной времени), переходят в генераторный режим, поддерживая частоту вращения ЭД с меньшим запасом кинетической энергии (меньшее значение электромеханической постоянной времени). В результате частота вращения ЭД, перешедших в генераторный режим, снижается несколько быстрее, а частота вращения ЭД, оставшихся в режиме потребления активной мощности, напротив снижается несколько медленнее частоты вращения тех же ЭД, выбегавших индивидуально при одиночном отключении.

Таким образом в течение некоторого времени вследствие наличия на шинах секции СН остаточного напряжения (см.рис.1) все ЭД имеют тенденцию выбегать "синхронно" с частотой вращения, близкой к эквивалентной. Группа электрически связанных ЭД может быть при этом рассмотрена как один эквивалентный ЭД с эквивалентной механической постоянной времени.

В зависимости от соотношения моментов сопротивления механизмов и моментов вращения ЭД окончание "синхронного" выбега будет осуществляться при различных значениях остаточного напряжения. В первом приближении можно принять, что окончание "синхронного" выбега происходит при снижении остаточного

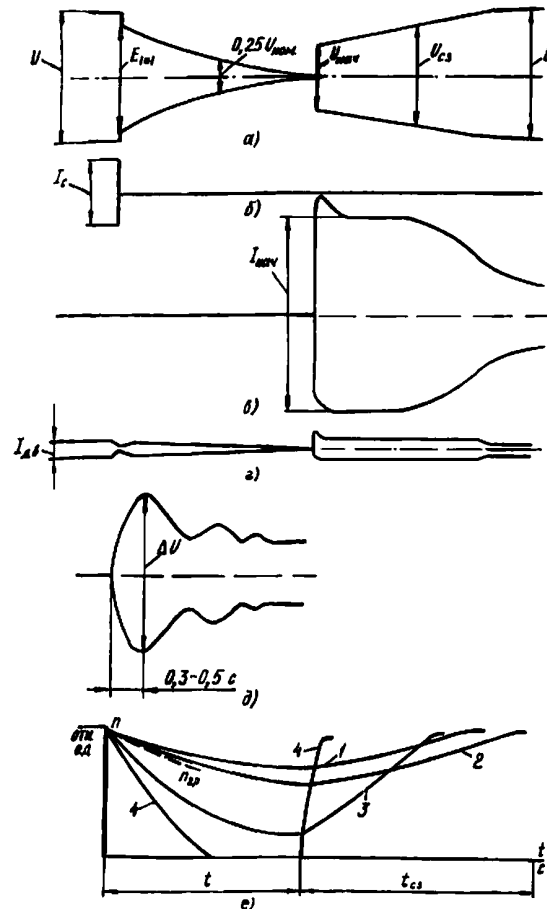


Рис.1. Характеристики зависимости параметров оборудования СН от времени при перерыве питания и самозапуске электродвигателей:

а - напряжение на шинах секции СН; б - ток ввода рабочего питания секции; в - ток ввода резервного питания секции; г - ток электродвигателя; д - напряжение биения; е - частота вращения вала электродвигателя: 1 - дымососа, 2 - молотковой мельницы, 3 - питательного насоса, 4 - конденсатного насоса; $n_{э}$ - эквивалентная частота вращения группы электродвигателей; t - время перерыва питания; $t_{...}$ - время самозапуска электродвигателей

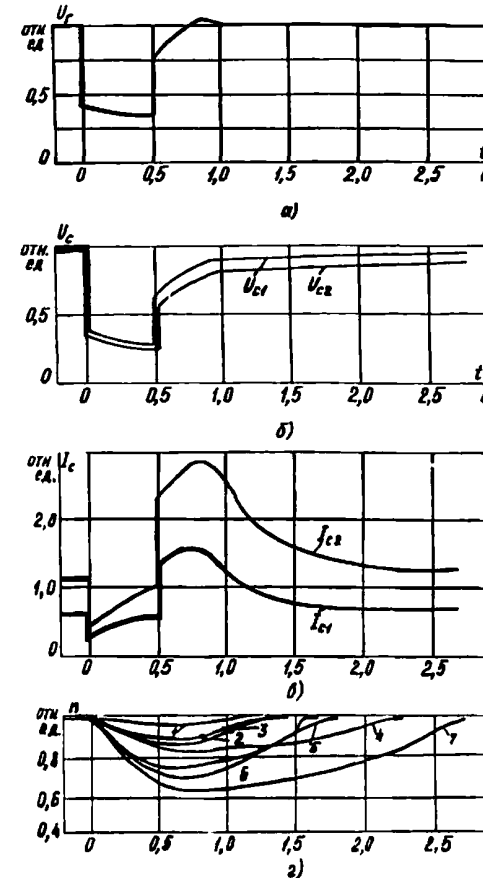


Рис.2. Изменение параметров режима работы оборудования при КЗ за блочным трансформатором энергоблока мощностью 300 МВт в зависимости от времени перерыва питания:

а - напряжение U_r на выводах обмотки статора; б - напряжения $U_{с1}$, $U_{с2}$ на шинах 1 и 2-й секций СН; в - токи ($I_{с1}$, $I_{с2}$) вводов рабочего питания 1 и 2-й секций; г - частоты вращения электродвигателей: 1 - молотковой мельницы, 2 - питательного насоса, 3, 4 - циркуляционного насоса соответственно ЦН-А и ЦН-Б, 5 - конденсатного насоса второй ступени, 6, 7 - подъемных насосов эжекторов соответственно ПНЭ-А и ПНЭ-Б

напряжения на шинах СН примерно до 0,25 номинального [3] (см.рис.1).

Постоянная времени затухания остаточного напряжения на шинах СН при групповом выбеге электрически связанных ЭД составляет от 0,6 до 1,5 с, а изменение угла между вектором остаточного напряжения на отключенной секции СН и вектором напряжения сети до 180° происходит за 0,3-0,5 с. Абсолютное значение остаточного напряжения на отключенной секции при данной длительности перерыва питания составляет 0,5-0,7 номинального, а геометрическая разность ΔU вектора остаточного напряжения секции СН и напряжения сети может достигать 1,7-2,0 номинального.

Следует отметить, что при включении группы ЭД на резервный источник питания в момент противофазы (при угле 180°) возникают большие переходные токи, которые протекают по обмоткам двигателей. Это необходимо учесть при настройке токовых защит, которые не должны приводить к ложному отключению ЭД и трансформаторов питания.

При возникновении причин, вызвавших посадку напряжения на шинах СН, работают устройства РЗА, которые отключают поврежденный участок, и если повреждение находится в источнике рабочего питания, работает устройство АВР и на шины СН повторно подается напряжение от резервного источника питания. Длительность перерыва питания определяется: временем действия основных или резервных электрических защит, которые устраняют повреждение, приведшее к перерыву питания; временем отключения выключателя рабочего ввода (отключение от рабочего источника питания); временем включения выключателя резервного ввода (резервного источника питания), т.е. временем действия АВР.

В настоящее время стремятся максимально уменьшить длительность перерыва питания для того, чтобы при понижении или полном исчезновении напряжения на шинах СН уменьшение частоты вращения ЭД было как можно меньше.

Согласно ПТЭ [4] время перерыва питания, определяемое выдержками времени технологических и резервных электрических защит, не должно превышать 2,5 с.

В порядке исключения допускается большее время перерыва питания, если обеспечивается самозапуск электродвигателей, кото-

рый должен быть подтвержден расчетно-экспериментальным путем.

В зависимости от места возникновения КЗ в электрической схеме ТЭС группа ЭД СН будет реагировать по-разному. Так при КЗ (рис.3) на выводах обмотки высокого напряжения трансформатора 6/0,4 кВ (точка K_1), на шинах секций СН (точка K_2) напряжение на выводах ЭД уменьшается до нуля. При КЗ в цепи рабочего питания (точки K_3, K_4) напряжение на шинах СН, генерируемое группой ЭД, незначительно отличается от нуля в первый момент КЗ и с течением времени уменьшается до нуля. При выше рассмотренных случаях КЗ уменьшается до нуля и момент вращения ЭД. Происходит торможение (уменьшение частоты вращения вала) ротора ЭД

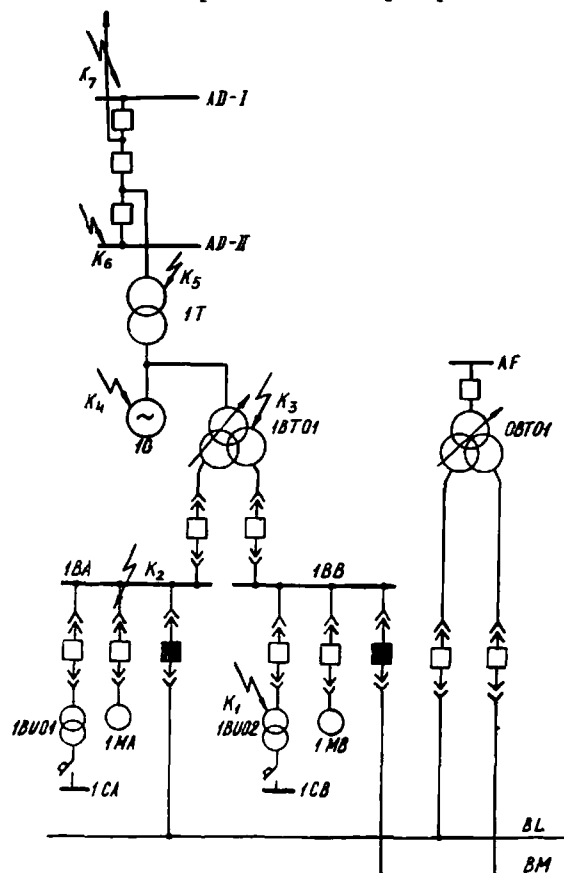


Рис.3. Расчетная схема энергоблока:

ВЛ, ВМ - шины резервного питания 6 кВ;
1СА, 1СВ - шины рабочего питания 0,4 кВ;
1ВУ01, 1ВУ02 - трансформаторы СН 6/0,4 кВ;
1МВ, 1МБ - электродвигатели 6 кВ; 1В, 1СВ - шины рабочего питания 6 кВ; 1ВТО1 - рабочий трансформатор СН; ОБТО1 - резервный трансформатор СН; Г - генератор; Т - блочный трансформатор; АД-I, АД-II, АФ - шины распределительного устройства высокого напряжения; K_1-K_7 - точки КЗ

только под действием противодействующего момента сопротивления его механизма.

При КЗ за блочным трансформатором (точка K_5), на шинах ОРУ высокого напряжения (точка K_6), на воздушных линиях электропередачи (точка K_7) напряжение на шинах секции СН уменьшается до значений 0,3 номинального и выше (см.рис.2). В этом случае торможение ротора ЭД происходит под действием избыточного момента вращения, равного разности момента вращения ЭД, уменьшенного пропорционально квадрату напряжения, и момента сопротивления механизма.

При восстановлении электропитания на шинах СН в начальный момент напряжение понижается до какого-то значения, которое в дальнейшем будет называться начальным напряжением $U_{нач}$. Разворот ЭД до установившейся частоты вращения происходит под действием избыточного момента, который пред-

ставляет собой разность между моментом вращения ЭД при данном напряжении и моментом сопротивления механизма. Разворот будет успешным, если момент вращения ЭД в течение всего процесса самозапуска будет больше момента сопротивления механизма.

По мере ускорения группы ЭД в процессе самозапуска напряжение изменяет свое значение и это напряжение $U_{сз}$ в дальнейшем будет называться напряжением самозапуска.

В связи с тем, что самозапуск ЭД секции СН происходит при пониженном напряжении, он может быть успешным или неуспешным. Успешным является лишь такой самозапуск, при котором ЭД достигают нормальной частоты вращения за время, допустимое по условиям сохранения устойчивости технологического режима электростанции блочного типа, а для электростанции с поперечными связями по воде и пару с ГРУ дополнительно по условию допустимого нагрева ЭД.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫБОРУ РАСЧЕТНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПРОВЕРКИ РЕЖИМОВ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ [5]

Оценку режимов перерыва питания и самозапуска ЭД СН следует производить как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации для наиболее тяжелых, но возможных в эксплуатации реальных режимов для нормальных и ремонтных схем электростанции.

При выборе расчетных условий для оценки успешности самозапуска ЭД СН ТЭС необходимо учитывать: исходную схему электрических соединений (рис.4); состав ЭД, участвующих в самозапуске, и их загрузку; характер нарушения нормального режима питания; расчетное время перерыва питания, выбранное на основе анализа работы резервных электрических защит и технологических блокировок; схему (рис.5) источника резервного питания и его режим работы (наличие или отсутствие предвключенной нагрузки).

Для ТЭС, где ТСН присоединены к ГРУ через выключатели, в качестве расчетного следует принять случай КЗ на сборных шинах этого распределительного устройства.

Для ТЭС блочного типа без выключателя в цепи генераторного напряжения (см.рис.3) рекомендуется проанализировать несколько характерных случаев КЗ: в цепи трансформа-

тора 3-10/0,4 кВ или ЭД (K_1); на шинах секции СН (K_2); в цепи блока генератор-трансформатор или ТСН, через который питает секция (K_3, K_4, K_5); на шинах повышенного напряжения и отходящих ВЛ (K_6, K_7), к которым присоединен данный энергоблок. Для блочного типа с выключателем в цепи турбогенератора рекомендуется рассмотреть и верный характерный случай КЗ в самом турбогенераторе. Проведенный анализ должен показать, какой из случаев КЗ является расчетным.

Для расчетного случая КЗ необходимо определить наибольшее возможное время перерыва питания нормального электроснабжения СН, которое имеет место при действии этих электрических защит.

Для ТЭС, на которых согласно Решению № 3-6/85 "О блокировании действия автоматического включения резервного питания собственных нужд 6 и 0,4 кВ тепловых и атомных электростанций" (М.: СПО Союзтехэнерго [6]) выполнено блокирование действия при КЗ в системе СН, повреждение в точках K_1 и K_2 не является расчетным, а расчет является отключение выключателей вво-

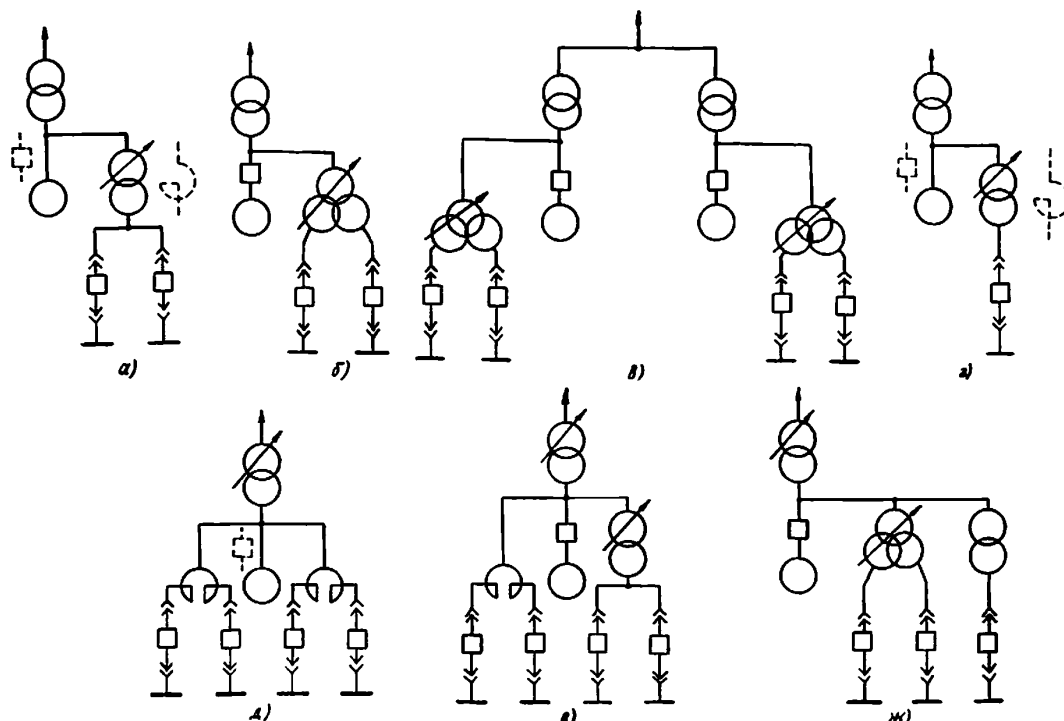


Рис.4. Варианты схем рабочего питания СН электростанций:

а, б - схемы с двухобмоточным трансформатором (или токоограничивающим реактором) СН; в, г - схемы при питании от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой пониженного напряжения (или от двояного токоограничивающего реактора) СН; д - схема с двумя двояными токоограничивающими реакторами; е - схема питания от двухобмоточного трансформатора и токоограничивающего реактора; ж - схема питания от двух двухобмоточных трансформаторов с расщепленной обмоткой пониженного напряжения и нерасщепленной.

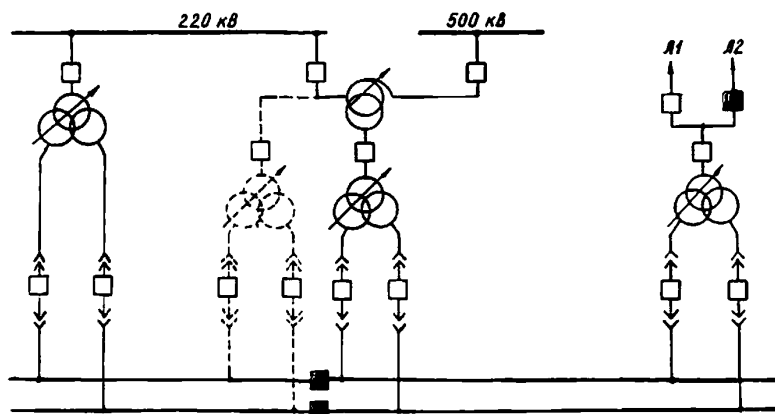


Рис.5. Варианты схем резервного питания СН электростанций

бочего питания секций СН по импульсу от технологических защит с последующим АБР. Время перерыва питания определяется временем отключения выключателей вводов рабочего питания и временем включения выключателей вво-

дов резервного питания. При КЗ в сети СН (K_1, K_2) на ТЭС, где эти мероприятия не выполнены, время перерыва питания определяется временем отключения КЗ (временем действия резервной защиты рабочего ТЭС и временем от-

ключения выключателей вводов рабочего питания) и временем отключения выключателей вводов резервного питания.

При повреждении в цепи рабочего питания (K_3) к времени отключения K_3 добавляется также общее время действия АВР.

При K_3 на шинах повышенного напряжения и на отходящих линиях время перерыва питания определяется временем отключения K_3 (времени действия резервной защиты плюс время отключения выключателя). Самозапуск происходит от РТСН. Если происходит отказ в работе выключателя при K_3 , то работает УРОВ и с выдержкой времени отключает все необходимые присоединения. В зависимости от того, может энергоблок работать на нагрузку СН или нет, время перерыва питания будет разным. В первом случае самозапуск ЭД СН происходит от РТСН с временем перерыва питания, равным сумме времени работы УРОВ и времени отключения выключателя. Во втором случае, когда невозможна работа энергоблока на нагрузку СН, последний аварийно останавливается и УРОВ подключает к шинам СН ПРТСН с временем перерыва питания, большим, чем в первом случае, на время действия устройства АВР.

Расчетное время перерыва питания для ТЭС блочного типа, где не выполнено блокирование действия АВР, обычно не превышает: 0,5 с, если расчетным является K_3 в цепи трансформатора 6/0,4 кВ (K_1) и 1,5 с, если расчетным является K_3 в цепи рабочего трансформатора СН (K_2).

Для ТЭС блочного типа, где выполнено блокирование действия АВР, расчетное время перерыва питания не превышает 0,12 с, если расчетным является K_3 в цепи рабочего трансформатора 6/0,4 кВ (K_1); при повреждении на шинах секции (K_2) подается импульс на запрет АВР.

На ТЭС с ГРУ расчетное время перерыва питания может достигать до 7,5 с при K_3 на сборных шинах этого распределительного устройства. Путем установки на межсекционном выключателе дополнительной МТЗ с блокировкой по напряжению это время может быть уменьшено до 2,5 с и менее.¹

Очень важно правильно в зависимости от типа ТЭС и вида послеаварийного режима основного силового оборудования (котла, турбины)

учесть состав двигателей и механизмов, которые необходимы для обеспечения нужного режима и которые должны участвовать в самозапуске.

Все агрегаты системы СН ТЭС можно условно разделить на ответственные и неответственные. Согласно ПТЭ [4] перечень ответственных агрегатов утверждается главным инженером ТЭС на основе анализа технологических схем и технических характеристик теплоэнергетического оборудования.

Для облегчения условий самозапуска ЭД ответственных агрегатов СН применяется отключение ЭД неответственных агрегатов первой ступенью защиты минимального напряжения [7] при снижении напряжения до 0,7 номинального с выдержкой времени 0,5 с. К неответственным относятся, например, мельничный вентилятор, багерный насос, шаровая мельница, насос кислотной промывки.

К ответственным агрегатам СН ТЭС относятся ЭД и механизмы, отключение которых нарушает технологическую работу котла, турбины, турбогенератора и вызывает либо снижение производительности основного оборудования, либо прекращение работы ТЭС. Поэтому ответственные ЭД отключаются позднее второй ступенью защиты минимального напряжения при снижении напряжения до 0,5 номинального с выдержкой времени 3-9 с. При этом минимальная выдержка времени должна применяться для менее ответственных ЭД, отключение которых предусматривается для облегчения самозапуска более ответственных ЭД (по условию восстановления напряжения). Чем большую значимость имеют определенные ответственные ЭД для поддержания технологического процесса, тем большая выдержка времени должна устанавливаться на их защите минимального напряжения.

Состав агрегатов СН, участвующих в самозапуске, зависит от типа ТЭС и вида послеаварийного режима основного силового оборудования.

На ТЭС с поперечными связями по воде и пару после отключения K_3 на секции сборных шин генераторного напряжения и подачи резервного питания на обесточенную секцию СН должен быть восстановлен нагрузочный режим соответствующих котла и турбины. Для этого необходимо обеспечить самозапуск всех ответственных ЭД секции СН с учетом их загрузки.

¹ Идея И.Р.Таубеса.

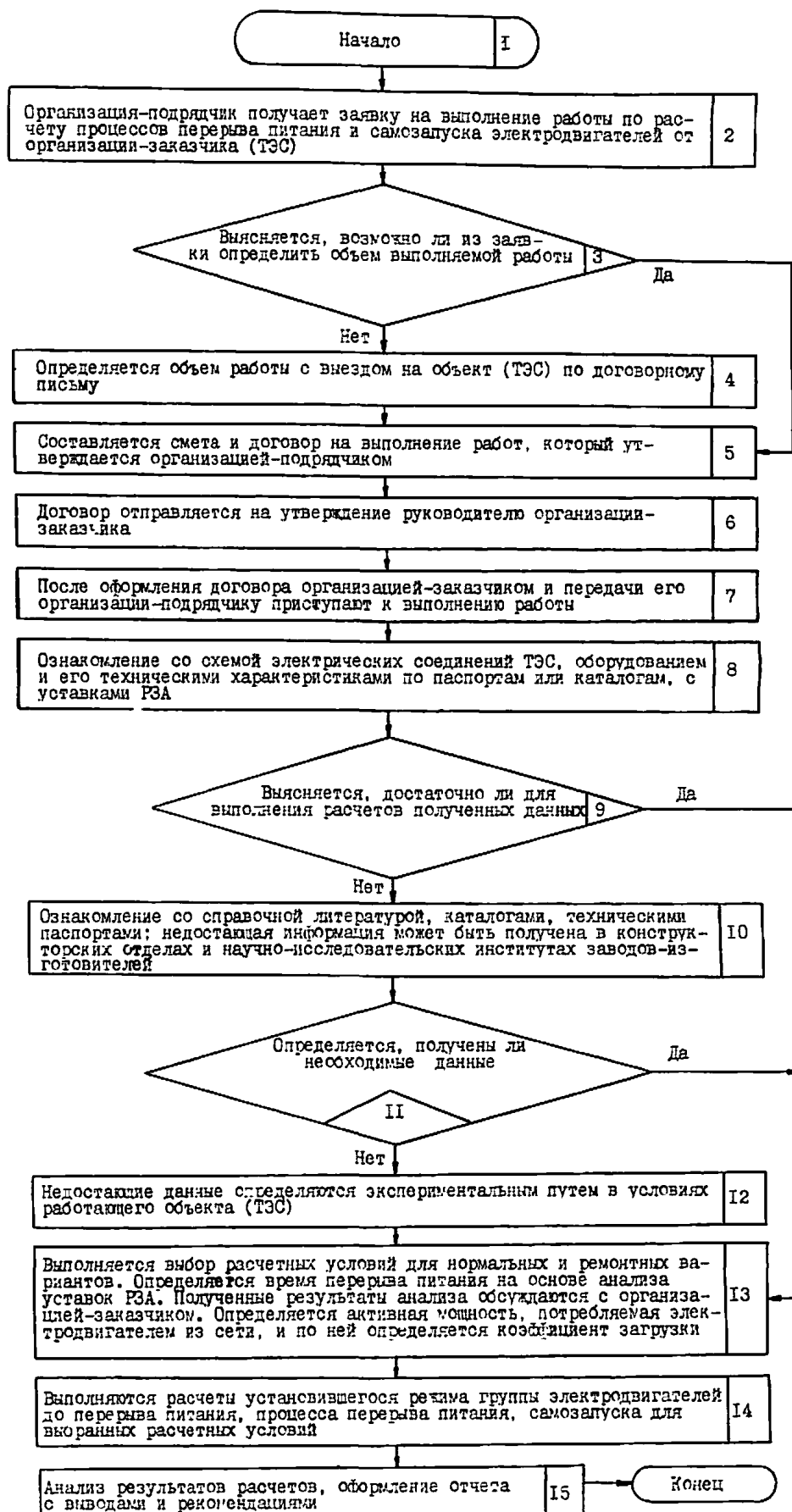


Рис.7. Последовательность выполнения работ на действующей ТЭС

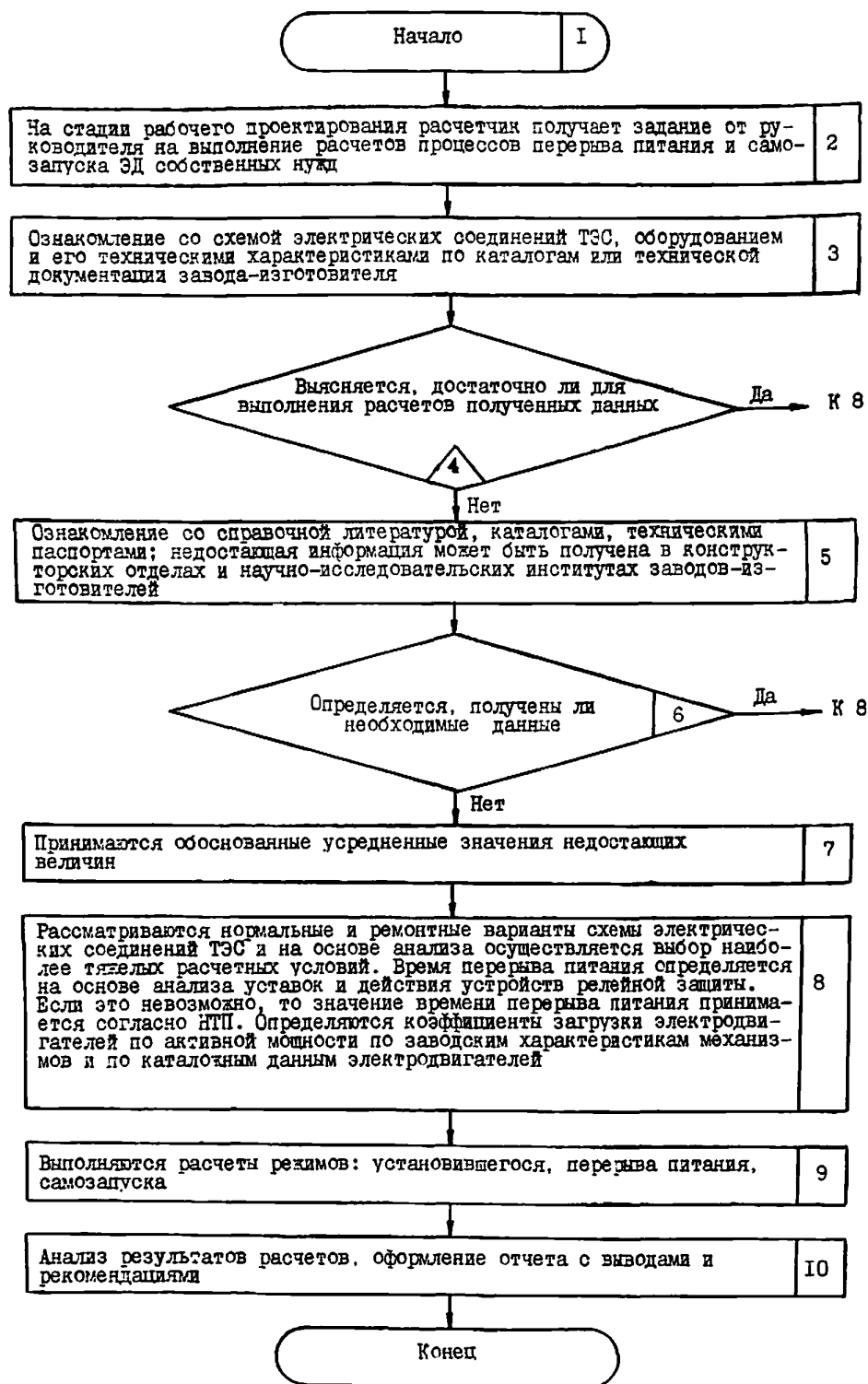


Рис.8. Последовательность выполнения работ на стадии проектирования

3.1. Расчет установившегося режима работы электродвигателей собственных нужд [2]

Расчет установившегося режима ЭД СН до перерыва питания и после самозапуска позволяет определить: ток, активную и реактивную мощности, протекающие по внешней сети (кабельной линии, токоограничивающему реактору, трансформатору); ток, активную и реактивную мощности, потребляемые каждым ЭД; частоту вращения (или скольжения) каждого ЭД.

Полученное значение тока секции позволяет судить о возможной кратности перегрузки по току элементов внешней сети. Значение тока ЭД также позволяет оценить перегрузку по току статора, а значения активной и реактивной мощностей дают возможность определить значение коэффициента мощности ЭД.

Для оценки технологических параметров оборудования в установившемся режиме необходимо знать частоту вращения (или скольжения) каждого ЭД.

В зависимости от цели выполнения расчетов, требований, предъявляемых к их точности, принимаются различные допущения, позволяющие значительно сократить объем вычислений.

Если необходимо знать только значение частоты вращения ЭД и неизвестно значение напряжения на шинах СН, то рекомендуется значение напряжения принять равным 0,9 номинального (нижний предел допустимый ПТЭ [4]) и определить значение частоты вращения ЭД в установившемся режиме работы по формуле

$$n_{uj} = 1 + \sqrt{\left(\frac{M_{\max j} K_U^2 s_{крj}}{K_{zj}} \right)^2 - s_{крj}^2} - \frac{M_{\max j} K_U^2 s_{крj}}{K_{zj}} \quad (1)$$

Критическое и номинальное скольжение ЭД, отн.ед., определяются по следующим формулам:

$$s_{крj} = s_{номj} \left(M_{\max j} + \sqrt{M_{\max j}^2 - 1} \right); \quad (2)$$

$$s_{номj} = 1 - n_{номj} / n_{синхj} = 1 -$$

$$- p_j n_{номj} / 3000 \quad (3)$$

Относительное значение напряжения на шинах СН, отн.ед., рассчитывается по формуле:

$$K_U = U / U_{ном} \quad (4)$$

где в формулах (1-3):

p_j - количество пар полюсов;

$M_{\max j}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $n_{номj}$ - номинальная частота вращения ЭД, об/мин; $n_{синхj}$ - синхронная частота вращения магнитного поля статора, об/мин; U - напряжение на шинах секции СН, В; $U_{ном}$ - номинальное напряжение ЭД, В; K_{zj} - коэффициент загрузки ЭД по активной мощности, отн.ед. (приложение I); j - порядковый номер ЭД в группе.

При известном значении напряжения на шинах СН при необходимости могут быть рассчитаны: токи; активные и реактивные мощности, коэффициент мощности каждого ЭД; суммарные активные и реактивные мощности секции.

Предлагается следующая последовательность расчета:

1. Для каждого ЭД определяются: по формулам (2) и (3) критическое и номинальное скольжения; потребляемая активная мощность

$$P_{dj} = K_{zj} P_{номj} K_U^2 10^2 / \eta \quad (5)$$

где η - коэффициент полезного действия ЭД, %;

реактивная мощность намагничивания

$$Q_{mj} = \sqrt{3} U_{ном} I_{номj} \left[\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{ном}} - \frac{\cos \varphi_{ном} s_{номj}}{s_{крj}} \right] K_U^2 10^{-3}, \quad (6)$$

где $I_{номj}$ - номинальный ток ЭД, А;
 $\cos \varphi_{номj}$ - номинальный коэффициент мощности, отн.ед.;

реактивная мощность рассеяния

$$Q_{pj} = \sqrt{3} U_{ном} I_{номj} \cos \varphi_{номj} \times$$

$$\times \frac{K_{зj}^2}{K_U^2} \frac{S_{номj}}{S_{крj}} 10^{-3} = P_{1номj} \times$$

$$\times \frac{K_{зj}^2}{K_U^2} \frac{S_{номj}}{S_{крj}} 10^{-3}, \quad (6a)$$

где $P_{1номj}$ - активная мощность, потребляемая ЭД в номинальном режиме работы, кВт;

суммарная реактивная мощность, квар

$$Q_{dj} = Q_{mj} + Q_{pj}; \quad (7)$$

полная мощность, кВт·А

$$S_{dj} = \sqrt{P_{dj}^2 + Q_{dj}^2}; \quad (8)$$

коэффициент мощности, отн.ед.

$$\cos \varphi_{dj} = P_{dj} / S_{dj}; \quad (9)$$

ток статора, А

$$I_{dj} = S_{dj} 10^3 / (\sqrt{3} U) \quad (10)$$

2. Далее рассчитываются параметры режима, характеризующие в целом работу секции СН:

суммарная активная и реактивная мощности секции СН

$$P_c = \sum_{j=1}^N P_{dj} + P_{нагр} K_U^2;$$

$$Q_c = \sum_{j=1}^N Q_{dj} + Q_{нагр} K_U^2, \quad (II)$$

где P_{dj} и Q_{dj} - активная и реактивная мощности, потребляемые ЭД, кВт и квар; N - количество ЭД, подключенных к секции СН;
 $P_{нагр}$ и $Q_{нагр}$ - активная и реактивная мощности постоянной нагрузки, кВт и квар;

полная мощность секции, кВт·А

$$S_c = \sqrt{P_c^2 + Q_c^2}; \quad (12)$$

ток секции, А

$$I_c = S_c 10^3 / (\sqrt{3} U); \quad (13)$$

коэффициент мощности секции, отн.ед.

$$\cos \varphi_c = P_c / S_c \quad (14)$$

3.2. Расчет режима перерыва питания электродвигателей собственных нужд [8-10]

Расчет режима перерыва питания ЭД позволяет определить: частоту вращения ЭД и остаточное напряжение на шинах секции СН.

Полученные значения частот вращения ЭД позволяют определить значения сопротивлений ЭД и приближенное изменение расхода, давления тягодутьевой и насосной групп механизмов СН ТЭС.

В зависимости от причины и места возникновения повреждения в системе электропитания СН принимаются различные допущения, позволяющие выполнить расчет режима перерыва питания группы ЭД приближенно при малом объеме вычислений.

3.2.1. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при КЗ на шинах секции СН 3-10 кВ

При выполнении данного расчета делаются следующие допущения:

пренебрегаем активным сопротивлением элементов сети 3-10 кВ;

момент вращения ЭД принимается равным нулю;

моменты сопротивления механизмов описываются приближенными аналитическими выражениями или для их описания применяются кусочно-линейная аппроксимация.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Для каждого агрегата СН определяется значение времени ускорения (электро-механической постоянной времени)

$$T_{jj} = 4 (J_{эдj} + J_{мехj}) n_{номj}^2 / (364000 P_{номj}); \quad (15)$$

где $J_{эдj}$ и $J_{мехj}$ - момент инерции ротора ЭД и механизма, кг·м², определяемый по таблицам приложений 3 и 4; $n_{номj}$ - номинальная частота вращения ЭД, об/мин;

$P_{ном j}$ - номинальная (на валу) активная мощность ЭД, кВт, определяемая по таблицам приложения 3.

В тех случаях, когда отсутствует значение момента инерции ротора $J_{эдj}$ асинхронного ЭД с номинальной частотой питающего напряжения ~ 50 Гц, его можно определить весьма приближенно, основываясь на принятом в [21] допущении, что время ускорения электродвигателя (без механизма)

$T_{эдj} \approx P_{ном j}$, по формуле

$$J_{эдj} = \frac{364000 P_{ном j}^{1+\alpha}}{4 n_{ном j}^2}, \quad (15a)$$

где α - показатель степени, равный 0,28 при $P_{ном j} = 0,3 \div 20$ кВт; 0,34 при $P_{ном j} = 20 \div 100$ кВт; 0,42 при $P_{ном j} = 100 \div 500$ кВт; 0,43 $\div$ 0,62 при $P_{ном j} = 500 \div 5000$ кВт.

Для синхронных ЭД, имеющих более тяжелые роторы, момент инерции на 10-20% больше.

Момент инерции асинхронного ЭД приближенно можно определить по формуле [22]

$$J_{эдj} = (0,55 \div 0,65) D_{н2}^4 \ell_2 10^{-12}, \quad (15b)$$

где $D_{н2}$ - наружный диаметр ротора ЭД, мм; ℓ_2 - длина сердечника ротора, мм.

Общей рекомендации по определению момента инерции механизмов дать невозможно из-за разнообразия и сложности конструкций их роторов. А рекомендация ВНИИГидромаша по принятию момента инерции ротора насосов малой подачи равным 10% значения момента инерции ротора ЭД является несобоснованной. Эксперименты, выполненные автором, показали, что момент инерции роторов насосов малой подачи составляет от 10 до 48% момента инерции ротора ЭД, входящего в состав агрегата.

Предпочтительнее при выполнении расчетов иметь моменты инерции агрегата СН, определенные экспериментальным путем.

2. Для определения частоты вращения вала агрегата СН используется одна из формул, представленных в табл. I.

Расчет режима перерыва питания ЭД СН при КЗ в цепи рабочего питания выполняется аналогично при допущении, что вращающий момент ЭД равен нулю.

При КЗ на шинах повышенного напряжения энергоблока будет происходить глубокая посадка напряжения на шинах СН до значений 0,3-0,4 номинального. В этом случае преобладание моментом вращения ЭД недопустимо. Для расчета переходного процесса эквивалентная схема замещения энергоблока ТЭС может быть приведена к виду, представленному на рис. 6, и расчет выполняется по методу последовательных интервалов, изложенному в разд. 3.3.2.

3.2.2. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при отключении выключателя цепи рабочего питания шин секций СН 3-10 кВ

Представление момента сопротивления механизма в аналитическом виде дает возможность выполнить расчет режима перерыва питания группы ЭД с учетом их взаимного влияния друг на друга при решении уравнения движения ротора аналитически.

В том случае, когда момент сопротивления механизма нельзя описать аналитическим выражением, решение уравнения движения ротора осуществляется методом последовательных интервалов.

Формулы для определения частоты вращения и фиктивного времени индивидуального выбега агрегата СН,
содержащего в своем составе асинхронный и синхронный ЭД

Наименование механизма	Момент сопротивления механизма	Частота вращения, отн.ед.	Фиктивное время индивидуального выбега, с
Транспортеры, шнеки, дробилки	$M_{cj} = K_{3j} \quad (16)$	$n_{ij} = n_{yj} - t K_{3j} / \tau_{3j} \quad (24)$	$T_{\varphi j} = (n_{yj} - n_{2p}) \tau_{3j} / K_{3j} \quad (33)$
Резервные возбудители (генераторы постоянного тока независимого возбуждения)	$M_{cj} = K_{3j} n_{ij} \quad (17)$	$n_{ij} = n_{yj} e^{-t K_{3j} / \tau_{3j}} \quad (25)$	$T_{\varphi j} = -\tau_{3j} \ln \left \frac{n_{2p}}{n_{yj}} \right / K_{3j} \quad (34)$
Дымососы, дутьевые вентиляторы, мельничные вентиляторы, насосы, работающие на сеть без противодавления	$M_{cj} = K_{3j} n_{ij}^2 \quad (18)$	$n_{ij} = 1 / \left(\frac{1}{n_{yj}} + t K_{3j} / \tau_{3j} \right) \quad (26)$	$T_{\varphi j} = \frac{[(n_{yj} - n_{2p}) / (n_{2p} n_{yj})] \tau_{3j}}{K_{3j}} \quad (35)$
	$M_{cj} = M_{снj} + (K_{3j} - M_{снj}) n_{ij}^2 \quad (19)$	$n_{ij} = \operatorname{tg}(\operatorname{arctg} B_j - t \sqrt{M_{снj} A_j} / \tau_{3j}) / B_j; \quad (27)$ $A_j = K_{3j} - M_{снj}; \quad (27a)$ $B_j = \sqrt{K_{3j} / M_{снj} - 1} \quad (27b)$	$T_{\varphi j} = \tau_{3j} \left[\operatorname{arctg} \left(\frac{n_{yj}}{\sqrt{M_{снj} A_j}} \right) - \right.$ $\left. - \operatorname{arctg} \left(\frac{n_{2p}}{\sqrt{M_{снj} A_j}} \right) \right] / \sqrt{M_{снj} A_j} \quad (36)$

Продолжение таблицы I

Наименование механизма	Момент сопротивления механизма	Частота вращения, отн.ед.	Фиктивное время индивидуального выбега, с
Молотковые мельницы, насосы, работающие через обратный клапан на сеть с противодавлением (первое приближение)	$M_{cj} = K_{3j} n_{ij}^3$ * (20)	$n_{ij} = 1 / \sqrt{\frac{1}{n_{yj}^2} + 2tK_{3j}/T_{3j}}$ (28)	$T_{\varphi j} = \frac{[(n_{yj}^2 - n_{2p}^2)/(n_{yj}^2 n_{2p}^2)] T_{3j}}{(2K_{3j})}$ (37)
Насосы, работающие через обратный клапан на сеть с противодавлением	$M_{cj} = \begin{cases} a_j + \delta_j n_{ij} & \text{при } n_{ij} > n_{отк j} \\ K_{30j} n_j^2 & \text{при } n_{ij} \leq n_{отк j} \end{cases}; (21)$ $\delta_j = \frac{(K_{3j} - K_{30j} n_{отк j}^2)}{(1 - n_{отк j})}; (21a)$ $a_j = K_{30j} n_{отк j}^2 - \delta_j n_{отк j}; (21b)$	$n_{ij} = \begin{cases} \left(n_{yj} + \frac{a_j}{\delta_j} \right) e^{\frac{\delta_j t}{T_{3j}}} - \frac{a_j}{\delta_j} & \text{при } n_j > n_{отк j}; (t < T_{отк j}) \\ \frac{1}{\frac{K_{30j}(t - T_{отк j})}{T_{3j}} + \frac{1}{n_{отк j}}} & \text{при } n_j \leq n_{отк j}; (t \geq T_{отк j}) \end{cases}; (29)$ $T_{отк j} = \frac{T_{3j}}{\delta_j} \ln \left \frac{a_j + \delta_j}{a_j + \delta_j n_{отк j}} \right (29a)$	$T_{\varphi j} = \begin{cases} \frac{T_{3j}}{\delta_j} \ln \left \frac{a_j + \delta_j n_{yj}}{a_j + \delta_j n_{2p}} \right & \text{при } n_{2p} > n_{отк j} \\ \frac{T_{3j}}{\delta_j} \ln \left \frac{a_j + \delta_j n_{yj}}{a_j + \delta_j n_{отк j}} \right + \frac{T_{3j}}{K_{30j}} \left(\frac{1}{n_{2p}} - \frac{1}{n_{отк j}} \right) & \text{при } n_{2p} \leq n_{отк j} \end{cases} + (38)$

	$n_{откj} = \sqrt{H_{стj}/H_{0j}}; \quad (21б)$ $H_{стj} \approx (\rho_{Hj} - \rho_{\theta j})/(40\gamma_t); (21г)$ $K_{30j} = N_{cj}/\rho_{номj} \quad (21д)$		
Среднеходные мельницы МСП-2650	$M_{cj} = a_j + b_j (1 - n_{ij})^2; \quad (22)$ $a_j = K_{3j}; \quad (22а)$ $b_j = M_{снj} - K_{3j} \quad (22б)$ при $M_{снj} > K_{3j}$	$n_{ij} = 1 - tg \left\{ t \sqrt{a_j b_j} / T_{3j} + arctg \left[(1 - n_{yj}) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sqrt{\frac{b_j}{a_j}} \right] \right\} / \sqrt{\frac{b_j}{a_j}} \quad (30)$	$T_{\varphi j} = T_{3j} \left\{ arctg \left[(1 - n_{2p}) \sqrt{\frac{b_j}{a_j}} \right] - \right. \\ \left. - arctg \left[(1 - n_{yj}) \sqrt{\frac{b_j}{a_j}} \right] \right\} / \sqrt{a_j b_j} \quad (39)$
Шаровые барабанные мельницы ШБЛ-370/850 (Ш-50А), ШБЛ-400/1000 (Ш-70)	$M_{cj} = M_{снj} + (K_{3j} - M_{снj}) n_{ij}^*; \quad (23)$ $a_j = M_{снj}; \quad (23а)$ $b_j = K_{3j} - M_{снj} \quad (23б)$	$n_{ij} = \left(n_{yj} + \frac{a_j}{b_j} \right) e^{-\frac{t b_j}{T_{3j}}} - \frac{a_j}{b_j} \quad (31)$	$T_{\varphi j} = \frac{T_{3j}}{b_j} \ln \left \frac{a_j + b_j n_{yj}}{a_j + b_j n_{2p}} \right \quad (40)$

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы I

Наименование механизма	Момент сопротивления механизма	Частота вращения, отн.ед.	Фиктивное время индивидуального выбега, с
Прочие механизмы	$M_{cj} = f(n_j)$ - сложная зависимость, для описания которой применяется кусочно-линейная аппроксимация	$n_{ij} = n_{(i-1)j} - \frac{M_{cj} \Delta t}{T_{jj}}$ (32)	$T_{\varphi ij} = T_{\varphi(i-1)j} - \Delta t$ (41) при $n_{ij} > n_{2p}$

* Для молотковых и шаровых барабанных мельниц применяются только в режиме выбега.

П р и м е ч а н и е. M_{cj} - момент сопротивления механизма, отн.ед.; K_{3j} - коэффициент загрузки ЭД по активной мощности, отн.ед.; T_{jj} - время ускорения (электромеханическая постоянная времени) агрегата (электродвигателя с механизмом), с; t - время перерыва питания, с; $T_{\varphi j}$ - фиктивное время индивидуального выбега агрегата, с; n_{ij} - частота вращения агрегата, отн.ед.; n_{2p} - эквивалентная частота вращения группы ЭД, отн.ед.; M_{cmj} - начальный момент сопротивления механизма при частоте вращения, равной нулю, отн.ед.; $A_j a_j, B_j b_j$ - расчетные коэффициенты, отн.ед.; K_{30j} - коэффициент ЭД по активной мощности при работе насоса при закрытой задвижке, отн.ед.; $n_{откj}$ - частота вращения, при которой происходит открытие (или закрытие) обратного клапана, установленного на линии напора насоса, отн.ед.; $H_{стj}$ - статическое противодавление, м; H_{0j} - напор, развиваемый насосом при номинальной частоте вращения и расходе, равном нулю (рис.П.1), м; p_{mj} - давление на линии напора насоса; $p_a, p_{\delta j}$ - давление на стороне всасывания насоса, Па; γ_t - удельный вес воды при температуре t °С, кгс/м³; j - порядковый номер агрегата; N_{0j} - активная мощность, потребляемая ЭД при работе насоса при закрытой задвижке (см.рис.П.1), кВт; n_{yj} - частота вращения ЭД в установившемся режиме работы, отн.ед. (для синхронного ЭД всегда принимается равной 1, а для асинхронного ЭД вычисляется по формуле (1); Δt - шаг расчета по времени, с; $T_{откj}$ - время при котором закрывается (открывается) обратный клапан, с.

При наличии в группе синхронного электродвигателя последний всегда отключается блок-контактами выключателя ввода рабочего питания и в групповом выбеге не участвует, а поэтому в расчете не учитывается.

Аналитический метод [9]. Расчет выполняется в следующей последовательности:

Для каждого ЭД определяются:

1) время ускорения по формуле 15;

2) номинальный коэффициент мощности

$$\cos \varphi_{номj} = P_{номj} / (\sqrt{3} I_{номj} \times U_{номj} \eta_{номj}), \quad (42)$$

где $P_{номj}$ - номинальная активная мощность ЭД по паспорту или каталогу, кВт; $I_{номj}$ - номинальный ток статора ЭД, А; $U_{номj}$ - номинальное напряжение, В; $\eta_{номj}$ - номинальный коэффициент полезного действия ЭД, %;

3) номинальная полная мощность $S_{п.номj}$, кВ·А

$$S_{п.номj} = \sqrt{3} I_{номj} U_{номj} 10^{-3}; \quad (43)$$

4) номинальное скольжение по формуле (3);

5) электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по формуле

$$T_{эj} = 2M_{максj} / [314(2M_{максj} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{номj}} - \cos \varphi_{номj}) S_{номj}], \quad (44)$$

где $M_{максj}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $\cos \varphi_{номj}$ - номинальный коэффициент мощности, отн.ед.; $S_{номj}$ - номинальное скольжение, отн.ед.

Далее определяются параметры эквивалентного ЭД (группы ЭД):

6) эквивалентная электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения T_{Σ} , с, по формуле

$$T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N (S_{п.номj} T_{эj}) / \sum_{j=1}^N S_{п.номj}, \quad (45)$$

где N - количество ЭД; $T_{эj}$ - электромагнитная постоянная времени j -го ЭД, с;

7) эквивалентная частота вращения n_{2p} и время T_{2p} в следующей последовательности:

а) задаемся произвольным значением времени группового выбега t_{2pi} ;

б) определяем частоту вращения n_{ij} каждого агрегата СН по одной из формул, представленных в табл. I;

в) определяем эквивалентную частоту вращения группы ЭД по формуле

$$n_{2p} = 1 - \sum_{j=1}^N [T_{эj} P_{номj} (1 - n_{ij})] / \sum_{j=1}^N (T_{эj} P_{номj}), \quad (46)$$

где $P_{номj}$ - номинальная мощность ЭД, кВт;

$T_{эj}$ - время ускорения агрегата, с; n_{ij} -

частота вращения j -го ЭД, отн.ед.; N - количество ЭД, шт.;

г) определяем расчетное значение остаточного напряжения на шинах СН в момент времени t_{2pi}

$$U_{2p.p} = E_{101} n_{2p} e^{-(t_{2pi}/T_{\Sigma})}, \quad (47)$$

где E_{101} - напряжение на шинах секции СН с группой ЭД после отключения выключателя ввода рабочего питания, которое в среднем может быть принято равным 0,86-0,95 отн.ед.

При необходимости значение напряжения E_{101} может быть рассчитано следующим образом [16]:

$$E_{101} = \sqrt{(U \cos \varphi_c)^2 + (U \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_c} - I_c X_{\Sigma}'')^2} / U_{ном}, \quad (48)$$

где U - напряжение на шинах секции СН в предшествующем отключению (выбегу) установившемся режиме, В; $U_{ном}$ - номинальное напряжение на шинах секции СН, В; $\cos \varphi_c$ - коэффициент мощности, рассчитанный по формуле (14), отн.ед.; I_c - ток секции, определяемый по формуле (13), А; X_{Σ}'' - сум-

марное сверхпереходное сопротивление группы ЭД, Ом, вычисляемое по формуле

$$x_{\Sigma}'' = 1 / \sum_{j=1}^N (K_{nj} \sqrt{3} I_{ном j} / U_{ном}), \quad (49)$$

где K_{nj} - кратность пускового тока ЭД, отн.ед.;

д) сравниваем расчетное и заданное значения остаточного напряжения по формуле

$$\xi = |(U_{2p.3} - U_{2p.p})| / U_{2p.3} \leq \xi_3, \quad (50)$$

где ξ_3 - заданная точность расчета; $U_{2p.3}$ - заданное значение остаточного напряжения, равное 0,25 номинального [3];

е) если $\xi > \xi_3$, то задаем новым значением времени

$$t_{2p(i+1)} = t_{2p i} + \Delta t, \quad (51)$$

где Δt - шаг расчета по времени, с;

$t_{2p(i+1)}$, $t_{2p i}$ - последующее и предыдущее значения времени группового выбега, с.

Вновь производим расчет по п.7а до тех пор, пока не будет выполнено условие (50). Время $t_{2p i}$, при котором выполняется условие (50), принимается за время группового выбега T_{2p}

Затем для каждого ЭД определяются:

8) фиктивное время индивидуального выбега j -го агрегата $T_{ф j}$, с, по одной из формул табл. I;

9) полное эквивалентное время перерыва питания по формуле

$$T_{nj} = t - T_{2p} + T_{ф j}, \quad (52)$$

где t - время перерыва питания шин СН, с.

Под фиктивным временем индивидуального выбега $T_{ф i}$ понимается время, необходимое аг-

регату, выбегающему по индивидуальной характеристике, для достижения частоты вращения, равной эквивалентной частоте вращения n_{2p} .

Как видно из формулы (52), полное эквивалентное время перерыва питания T_{nj} складывается из фиктивного времени индивидуально-го выбега $T_{ф j}$ и времени выбега агрегата по индивидуальной характеристике $t - T_{2p}$;

10) частота вращения по одной из формул табл. I при $t = T_{nj}$.

Метод последовательных интервалов [9].

Данный метод применяется только в том случае, если зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения имеет сложный характер, не поддающийся аналитическому описанию.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

Для каждого ЭД определяются:

- 1) время ускорения по формуле (15);
- 2) номинальный коэффициент мощности по формуле (42);
- 3) номинальная полная мощность по формуле (43);
- 4) номинальное скольжение по формуле (3),

5) электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по формуле (44).

Далее определяются параметры эквивалентного ЭД (группы ЭД):

6) эквивалентная электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по формуле (45);

7) эквивалентная частота вращения n_{2p} и время выбега T_{2p} ;

задаем начальным значением времени группового выбега $t_{2p i}$, равным нулю;

принимая для каждого ЭД начальное значение частоты вращения $n_{ij} = n_{yj}$;

определяем методом последовательных интервалов частоту вращения каждого ЭД, которую он будет иметь в конце интервала времени Δt , по формуле

$$n_{(i+1)j} = n_{ij} - M_{cj} \Delta t / T_{Tj}, \quad (53)$$

где $n_{(i+1)j}$ и n_{ij} - последующие и предыдущие значения частоты вращения ЭД, отн.ед.; Δt - расчетный интервал времени, с; T_{jj} - время ускорения агрегата СН по формуле (15), с; M_{cj} - момент сопротивления механизма, представленный кусочно-линейной аппроксимацией (рис.9)

$$M_{cj} = M_{kj} + [M_{kj} - M_{(k+1)j}] (n_{kj} - n_{ij}) / [n_{(k+1)j} - n_{kj}], \quad (54)$$

где M_{kj} и $M_{(k+1)j}$ - значения момента сопротивления механизмов при частотах вращения соответственно n_{kj} и $n_{(k+1)j}$ отн.ед.;

определяем эквивалентную частоту вращения n_{2p} группы ЭД, отн.ед., по формуле (46);

определяем расчетное значение остаточного напряжения на шинах СН в момент времени T_{2p} по формуле (47), отн.ед.;

сравниваем расчетное значение остаточного напряжения $U_{2p,p}$ с заданным его значением $U_{2p,3}$ по формуле (50).

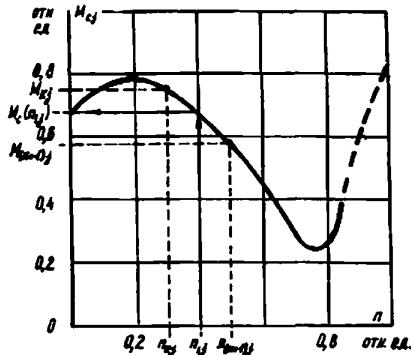


Рис.9. Кривая зависимости момента сопротивления механизма от частоты вращения: n_{kj} и $n_{(k+1)j}$ - табличные значения частот вращения вала агрегата и соответствующие им значения моментов сопротивления механизма M_{kj} и $M_{(k+1)j}$; n_{ij} - расчетное значение частоты вращения, для которого определяется значение момента сопротивления механизма $M_c(n_{ij})$

Если $\xi > \xi_3$, то задаемся новым значением времени по формуле (51); обычно ξ_3 задается равной 0,01 или 0,001.

Вновь определяем частоту вращения $n_{(i+1)j}$ по формуле (53) и проводим расчет до тех пор, пока не будет выполнено условие (50). Время t_{2pi} , при котором выполнится условие (50), принимается за время группового выбега T_{2p}

Затем для каждого ЭД определяются:

8) фиктивное время индивидуального выбега следующим образом:

принимая начальное значение времени индивидуального выбега t_{fij} , равным нулю;

задаемся начальным значением частоты вращения n_{ij} , равным n_{yj} , для каждого ЭД;

определяем по формуле (53) частоту вращения каждого ЭД, которую он приобретает за время Δt ;

сравниваем полученное значение частоты вращения $n_{(i+1)j}$ ЭД со значением эквивалентной частоты вращения n_{2p} . Если $n_{(i+1)j} > n_{2p}$, то задаемся новым значением времени $t_{f(i+1)j} = t_{fij} + \Delta t$ и вновь по формуле (53) определяем частоту вращения.

Это будет продолжаться до тех пор, пока не будет выполнено условие $n_{ij} \leq n_{2p}$. Время t_{fj} , при котором будет выполнено это условие, и принимается за фиктивное время индивидуального выбега T_{fj} ;

9) полное эквивалентное время перерыва питания по формуле (52);

10) частота вращения ЭД в конце перерыва питания следующим образом:

принимая начальное значение времени

$$t_{nj} = 0;$$

задаемся для каждого ЭД начальным значением частоты вращения $n_{ij} = n_{yj}$;

определяем частоту вращения ЭД, которую он приобретает за время Δt , по формуле (32).

Если $t_{nj} < T_{fj}$, то задаемся новым

значением времени $t_{n(i+1)j} = t_{nij} + \Delta t$ и вновь определяем частоту вращения по формуле (32). Это происходит до тех пор, пока не будет выполнено условие $t_{nj} \geq T_{fj}$. Частота вращения, которую будет иметь ЭД

при выполнении этого условия, и будет той частотой вращения, которую ЭД приобретает в конце перерыва питания.

3.3. Расчет режима

самозапуска группы электродвигателей
при повторной подаче напряжения
на шины секции собственных нужд

3.3.1. Оценка успешности самозапуска электродвигателей собственных нужд по значению начального напряжения

Практическую оценку успешности ускорения ЭД при самозапуске можно приближенно оценить по значению начального напряжения.

Для правильной оценки успешности самозапуска группы ЭД по значению начального напряжения необходимо и достаточно, чтобы для каждого ЭД во всем диапазоне частоты вращения выполнялось следующее условие [3, 11] :

$$M_{\partial ij}^{U_{\text{нач}}} U_{\text{нач}}^2 \geq K_{\text{зап}} M_{\text{сij}}, \quad (55)$$

где $M_{\partial ij}$, $M_{\text{сij}}$ - момент вращения ЭД и момент сопротивления механизма при текущем i -м значении частоты вращения каждого ЭД n_{ij} , отн.ед.; $U_{\text{нач}}$ - начальное напряжение в момент повторного включения, отн.ед.; j - порядковый номер ЭД; $K_{\text{зап}}$ - коэффициент запаса, учитывающий погрешность исходной информации и принимаемый равным 1,15.

Оценка успешности процесса самозапуска группы ЭД по условию (55) требует знания зависимостей тока статора, момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма от частоты вращения, а также выполнения расчета режима перерыва питания. Все это несколько увеличивает объем вычислений, но повышает точность и позволяет с большей достоверностью судить об успешности процесса самозапуска ЭД.

Следует отметить, что расчет по данной методике дает точные результаты, когда моменты вращения ЭД имеют в диапазоне частот вращения $0 + n_{\text{кр}}$ возрастающий характер. В тех случаях, когда хотя бы для одного ЭД

момент вращения имеет тенденцию к уменьшению, следует использовать аналитический метод последовательных интервалов.

Определение моментных характеристик ЭД и механизмов СН ТЭС экспериментальным путем связано с большими трудозатратами особенно в условиях действующей электростанции. Поэтому для оценки успешности процесса самозапуска группы ЭД необходимо в первую очередь применять экспериментальные или расчетные данные заводов-изготовителей. В случае отсутствия таких характеристик для приближенной оценки успешности самозапуска группы ЭД могут быть использованы их обобщенные (усредненные) характеристики момента вращения и тока статора, а также характеристики моментов сопротивлений механизмов СН [2]. При этом точность результатов расчета будет занижена.

При упрощенной оценке успешности самозапуска группы ЭД по значению начального напряжения расчет выполняется в следующие последовательности:

Для каждого ЭД определяется:

- 1) значение частоты вращения, полученной по методике, изложенной в п.3.2;
- 2) момент вращения, отнесенный к номинальному моменту, при номинальном напряжении и частоте вращения n_{ij} по формуле

$$M_{\partial ij}^{U_{\text{ном}}} = \begin{cases} M_{\text{кл}ij} & \text{при } n_{ij} \geq n_{\text{кр}j} \\ M_{\text{кл}ij} + M_{\text{доп}ij} & \text{при } n_{ij} < n_{\text{кр}j} \end{cases}; \quad (56)$$

$$M_{\text{кл}ij}^{U_{\text{ном}}} = 2 M_{\text{макс}j} / \left[(1 - n_{ij}) / s_{\text{кр}j} + s_{\text{кр}j} / (1 - n_{ij}) \right]; \quad (57)$$

$$M_{\text{доп}ij}^{U_{\text{ном}}} = \left[M_{n_j} - 2 M_{\text{макс}j} s_{\text{кр}j} / (1 + s_{\text{кр}j}^2) \right] \times \sqrt{\frac{(1 - n_{ij} - s_{\text{кр}j})}{(1 - s_{\text{кр}j})}}, \quad (58)$$

где M_{nj} - кратность начального пускового момента ЭД, отн.ед.; $M_{максj}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $S_{крj}$ - критическое скольжение ЭД, отн.ед.;

3) коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток роторов, K_{rij} по формуле

$$K_{rij} = \begin{cases} 1 + \left(\frac{M_{nj}}{K_{nj}^2 S_{номj}} - 1 \right) \left(\frac{0,9 - n_{ij}}{0,9} \right) & \text{при } n_{ij} < 0,9 \\ 1 & \text{при } n_{ij} \geq 0,9 \end{cases}, \quad (59)$$

где K_{nj} - кратность начального пускового тока ЭД, отн.ед.; $S_{номj}$ - номинальное скольжение ЭД, отн.ед.;

4) кратность пускового тока при номинальном напряжении и произвольном значении частоты вращения n_{ij}

$$K_{rij} = \sqrt{M_{dij}^{ном} (1 - n_{ij}) / (K_{rj} S_{номj})}; \quad (60)$$

5) полная электрическая проводимость, δ_{ij} , См, по формуле

$$\delta_{ij} = \sqrt{3} K_{rij} I_{номj} / U_{ном}, \quad (61)$$

где $I_{номj}$ - номинальный ток ЭД, А; $U_{ном}$ - номинальное напряжение ЭД, В.

Далее для группы ЭД и статической нагрузки определяются:

6) суммарная электрическая проводимость δ_{Σ} , См, по формуле

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \delta_{ij} + Q_{нагр} 10^3 / U_{ном}^2, \quad (62)$$

где N - общее количество ЭД, подключенных к секции СН, шт.; j - порядковый номер ЭД;

$Q_{нагр}$ - реактивная мощность статической нагрузки, кВ·А;

7) начальное напряжение на шинах секции при самозапущке $U_{нач}$, отн.ед. отнесенное к номинальному напряжению, по формуле

$$U_{нач} = U_c / (1 + \delta_{\Sigma} X_{\delta n}), \quad (63)$$

где $X_{\delta n}$ - индуктивное сопротивление внешней сети (кабельной линии, трансформатора или токоограничивающего реактора), Ом (приложение 7); U_c - напряжение источника питания, равное 1,05-1,1 отн.ед.

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

8) момент вращения при напряжении $U_{нач}$ по формуле

$$M_{dij} = M_{dij}^{ном} U_{нач}^2; \quad (64)$$

9) момент сопротивления M_{cij} механизма по одной из формул, приведенных в табл. I;

10) соотношение момента вращения M_{dij} и момента сопротивления M_{cij} по формуле (55); если для всех ЭД условие (55) выполняется, то ускорение ЭД при самозапущке будет успешным; если хотя бы для одного ЭД это условие не выполняется, то необходимо выполнить расчет всего процесса самозапущка.

При необходимости можно определить для каждого ЭД при частоте вращения n_{ij} и напряжении $U_{нач}$ ток, отнесенный к номинальному току, по формуле

$$I_{\delta j} = U_{нач} \delta_j U_{ном} / (\sqrt{3} I_{номj}) \quad (65)$$

Также можно рассчитать суммарный ток секции, отнесенный к номинальному току силового трансформатора или токоограничивающего реактора, по формуле

$$I_{сек} = U_{нач} \delta_{\Sigma} U_{ном.тр} / (\sqrt{3} I_{ном.тр}), \quad (66)$$

где $U_{ном.тр}$ - номинальное напряжение силового трансформатора или токоограничивающего реактора, В; $I_{ном.тр}$ - номинальный ток силового трансформатора или токоограничи-

вавшего реактора, А.

При выполнении расчетов учитываются ЭД резервных агрегатов СН, которые автоматически включаются в работу.

В случае самозапуска основной группы ЭД от шин резервного питания, к которым предварительно подключена другая группа ЭД, требуется проверка сохранения устойчивости их работы. В составе предвключенных ЭД могут быть асинхронные и синхронные. Поведение ЭД зависит от степени понижения напряжения. Поэтому проверка устойчивости работы предвключенных ЭД при самозапуске основной группы двигателей выполняется по значению допустимого минимального значения начального напряжения, которое определяется по формуле

$$U_{\partial j} = \sqrt{K_{\text{зап}} M_{\text{сij}} / M_{\partial \text{ij}}^{U_{\text{ном}}}}, \quad (67)$$

где $M_{\text{сij}}$ - момент сопротивления механизма, рассчитанный по одной из соответствующих формул, представленных в табл. I, при частоте вращения n_{ij} , отн.ед.; $M_{\partial \text{ij}}^{U_{\text{ном}}}$ - момент вращения ЭД при номинальном напряжении и частоте вращения n_{ij} .

Уменьшение напряжения на шинах СН одновременно приводит к уменьшению момента вращения ЭД и частоты вращения. Нарушение устойчивой работы АД происходит тогда, когда частота вращения n_{ij} достигает своего критического значения $n_{\text{крj}}$, а развиваемый АД момент вращения при данном значении начального напряжения будет меньше или равен моменту сопротивления механизма, т.е.

$$M_{\text{максj}}^{U_{\text{ном}}} U_{\text{нач}}^2 \leq M_{\text{сj}}(n_{\text{крj}}), \quad (68)$$

где $M_{\text{максj}}^{U_{\text{ном}}}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $M_{\text{сj}}(n_{\text{крj}})$ - момент сопротивления механизма, определяемый по одной из формул, представленных в табл. I, при критическом значении частоты вращения

$$n_{\text{крj}} = 1 - s_{\text{крj}} \quad (69)$$

Для сохранения устойчивой работы предвключенных АД необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$U_{\text{начj}} \geq U_{\partial j} \quad (70)$$

Для ЭД с наиболее характерным составом механизмов, момент сопротивления которых описывается аналитическими выражениями (16) - (24), минимальное значение допустимого начального напряжения может быть определено по формуле

$$U_{\partial j} = \sqrt{A_j}, \quad (71)$$

где A_j - параметр, отражающий необходимое значение избыточного момента, при котором не нарушается устойчивая работа агрегата в целом, отн.ед. (рис. 10).

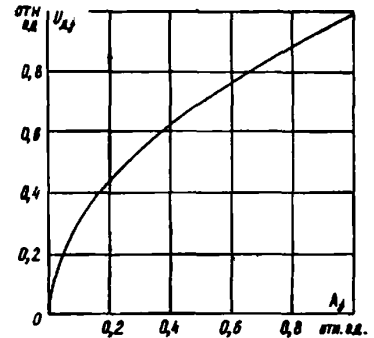


Рис. 10. Кривая зависимости допустимого напряжения по условию сохранения устойчивой работы предвключенных электродвигателей при самозапуске другой группы электродвигателей от расчетного параметра A_j

Значение параметра A_j определяется по техническим данным ЭД и зависимости момента сопротивления механизма от частоты вращения. Значение параметра A_j можно рассчитать по одной из формул:

для механизмов с моментом сопротивления, определяемым:
по формуле (16)

$$A_j = K_{\text{зап}} K_{\text{зj}} / M_{\text{максj}}, \quad (72)$$

где $K_{зj}$ - коэффициент загрузки ЭД по активной мощности, отн.ед.;

для механизмов с моментом сопротивления, определяем по формуле (17)

$$A_j = K_{зап} K_{зj} n_{крj} / M_{максj}; \quad (73)$$

для механизмов с моментом сопротивления, рассчитываемым по формуле (18)

$$A_j = K_{зап} K_{зj} n_{крj}^2 / M_{максj}; \quad (74)$$

по формуле (19)

$$A_j = K_{зап} [M_{снj} + (K_{зj} - M_{снj}) n_{крj}^2] / M_{максj}, \quad (75)$$

где $M_{снj}$ - начальный момент сопротивления механизма при частоте вращения, равной нулю, отн.ед.;

для механизмов с моментом сопротивления, определяемым по формуле (20)

$$A_j = K_{зап} K_{зj} n_{крj}^3 / M_{максj}; \quad (76)$$

для механизмов момент сопротивления которых рассчитывается по формуле (21)

$$A_j = K_{зап} [a_j + b_j n_{крj}] / M_{максj}, \quad (77)$$

где a_j и b_j - коэффициенты, определяемые по формулам (21а) и (21б);

для механизмов, момент сопротивления которых определяется по формуле (23)

$$A_j = K_{зап} [K_{зj} + (M_{снj} - K_{зj})(1 - n_{крj}^2)] / M_{максj}; \quad (78)$$

для механизмов со сложным характером зависимости момента сопротивления механизма от частоты вращения

$$A_j = K_{зап} M_{сj}(n_{крj}) / M_{максj} \quad (79)$$

Если в группе предвключенных ЭД есть синхронные, то их устойчивость работы при самозапуске основной группы ЭД будет оцениваться по значению допустимого напряжения U_{dj} , отн.ед., которое определяется по формуле

$$U_{dj} = K_{зj} P_{номj} X_j / (E_j U_{ном} 10^3), \quad (80)$$

где $P_{номj}$ - номинальная активная мощность СД, кВт; X_j и E_j - соответственно реактивное сопротивление, Ом, и ЭДС СД, кВ, в установившемся или переходном режиме; $U_{ном}$ - номинальное напряжение СД, кВ.

Значение ЭДС СД в установившемся или переходном режиме определяется по формуле

$$E_j = \sqrt{(U + Q_{oj} X_j / U)^2 + (P_{oj} X_j / U)^2} \quad (81)$$

Активная P_{oj} , кВт, и реактивная Q_{oj} , квар, мощности потребляемые СД в установившемся режиме работы из сети, по следующим формулам:

$$P_{oj} = K_{зj} P_{номj}; \quad (82)$$

$$Q_{oj} = P_{oj} \operatorname{tg} \varphi_{oj}, \quad (83)$$

где U - напряжение на зажимах обмотки статора СД в предшествующем установившемся режиме работы, кВ; φ_{aj} - угол между напряжением на зажимах обмотки статора и током, потребляемым СД в установившемся режиме работы, град.; "+" - при работе ЭД в режиме перевозбуждения; "-" - при работе ЭД в режиме недовозбуждения.

Если условие (70) выполняется, то устойчивость работы СД не нарушается. В противном случае устойчивость их работы нарушается.

При понижении напряжения до 0,5 номинального устойчивая работа СД в течение 0,3-0,5 с сохраняется за счет повышения динамического момента. При достижении условия, когда момент вращения СД будет меньше момента сопротивления механизма, начинается выбег, т.е. переход в асинхронный режим [19].

При снижении напряжения менее 0,7 номинального в течение более 0,5 с СД отключается первой ступенью ЗМН (аналогично может отключаться и ряд АД). Если в течение 0,5 с напряжение восстановилось, то при благоприятном сочетании асинхронного момента и загрузки СД, напряжения сети ускорение СД и его ресинхронизация происходит автоматически.

По значению тока секции в начальный момент времени можно с достаточной степенью точности судить о перегрузке внешней сети по току и об отстройке максимальных токовых защит питающих элементов от токов самозапуска.

Значение начального напряжения при самозапуске ЭД позволяет на стадии проектирования приблизительно оценить правильность выбора уставки блокировки минимального напряжения максимальных токовых защит резервных вводов и трансформаторов СН.

Расчетное значение пускового тока ЭД при текущем значении частоты вращения дает возможность приблизительно оценить правильность выбора уставки по току токовой отсечки ЭД, а время самозапуска позволяет оценить уставку по времени защиты от перегрузки током обмотки статора электродвигателя. За уставку по времени защиты от перегрузки током обмотки статора ЭД принимается большее из двух значений, полученных

по формулам:

$$t_{уст} = 1,3 t_{пуск}, \quad (84)$$

$$t_{уст} = 1,3 t_{сз}, \quad (85)$$

где $t_{пуск}$ - расчетное значение времени пуска ЭД, с; $t_{сз}$ - расчетное значение времени самозапуска ЭД, с; 1,3 - коэффициент надежности.

3.3.2. Расчет процесса самозапуска электродвигателей собственных нужд

Расчет всего процесса самозапуска ЭД СН выполняется в том случае, если при оценке успешности самозапуска ЭД по значению начального напряжения хотя бы для одного электродвигателя не выполнено условие (55) или требуется отстроить уставку по времени защиты от перегрузки по току статора ЭД от времени пуска или самозапуска.

Аналитический метод расчета группового самозапуска ЭД СН, основанный на использовании среднего значения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма [12]

Аналитический метод расчета может быть применен, если известны характеристики вращающих моментов и токов ЭД, моментов сопротивления механизмов от скольжения, а также известны значения частот вращения (или скольжения) каждого ЭД в конце перерыва питания из расчета по п.3.2.

В первую очередь необходимо использовать в расчетах характеристики, полученные экспериментальным путем в условиях действующей ТЭС или на испытательных стендах заводов-изготовителей. При отсутствии экспериментальных характеристик рекомендуется использовать расчетные характеристики заводов-изготовителей. И только в том случае, если по какой-нибудь причине расчетные характеристики заводов-изготовителей отсутствуют, рекомендуется использовать обобщенные усредненные характеристики момента вращения (56), тока статора (60) ЭД и моментов сопротивления механизмов (16)-(23).

При выполнении расчета принимаются допущения, незначительно снижающие его точность, но приводящие к значительному его упрощению:

а) ток самозапуска считается чисто индуктивным, т.е. активными сопротивлениями отдельных элементов схемы замещения пренебрегают;

б) напряжение на шинах системы считается неизменным по значению, а ее сопротивление равным нулю;

в) напряжение на шинах секции СН (рис. II, кривая 1 по данным эксперимента) в течение пуска или самозапуска одного ЭД принимается по значению неизменным (см. рис. II, кривая 2), а при достижении этим ЭД установившегося значения (см. рис. II, кривые 3, 4, 5) частоты вращения напряжение на шинах СН изменяется скачком до значения, определяемого полными сопротивлениями ЭД на данный момент времени;

г) нелинейные зависимости момента вращения $M_{\partial j}(n)$ ЭД и момента сопротивления механизма $M_{с j}(n)$ от частоты вращения заменяются эквивалентными средними соответственно $M_{\partial ср. j}$ и $M_{с ср. j}$ (рис. I2), обеспечивающими тот же запас кинетической энергии ротора ЭД, что и исходные нелинейные; причем во всем диапазоне $M_{\partial ср. j}$ должно быть больше $M_{с ср. j}$ для всех агрегатов СН; если хотя бы для одного агрегата это условие не выполняется, то с помощью данного метода получается неправильное значение времени разворота и его не стоит применять для

оценки успешности самозапуска электродвигателей; в этом случае следует использовать аналитический метод расчета группового самозапуска ЭД СН, основанный на использовании обобщенных (или экспериментальных, расчетных зависимостей тока статора, момента вращения ЭД, момента сопротивления механизма) характеристик агрегатов СН методом последовательных интервалов.

Расчет выполняется в следующей последовательности:

для каждого ЭД определяются:

- 1) номинальное скольжение $s_{ном j}$ по формуле (3);
- 2) критическое скольжение $s_{кр j}$ по формуле (2);
- 3) время ускорения $T_{j j}$ по формуле (15);
- 4) текущее значение частоты вращения n_{ij} по одной из формул табл. I;
- 5) конкретное значение $K_{n i j}$ для конкретной частоты вращения, если известна зависимость кратности тока статора ЭД от скольжения и затем производится расчет по п. 6; если зависимость кратности тока статора ЭД неизвестна, то для ее определения используется обобщенная зависимость момента вращения ЭД (56); по формуле (59) определяется коэффициент вытеснения тока и по формуле (60) значение кратности тока статора $K_{n i j}$;
- 6) полная электрическая проводимость по формуле (61).

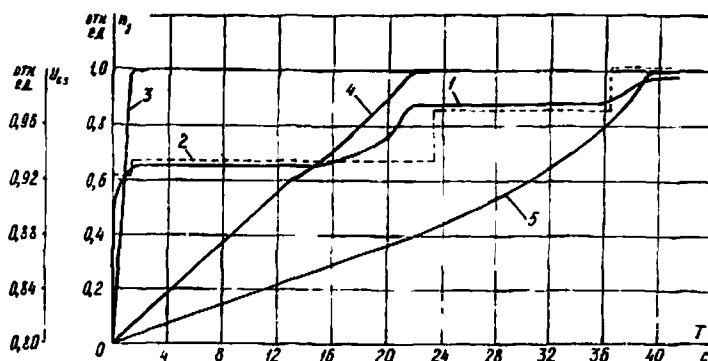


Рис. II. Кривые зависимости напряжения секции (1,2), частот вращения электродвигателей (3,4,5) при самозапуске от времени:
 ————— экспериментальные; - - - - - расчетные

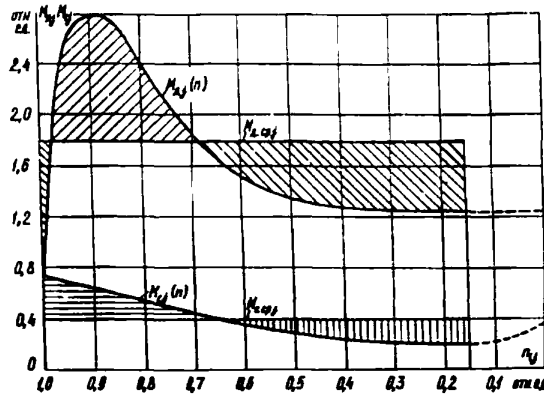


Рис.12. Кривые зависимости момента вращения электродвигателя и момента сопротивления механизма:

$M_{dj}(n); M_{cj}(n)$ – реальные; $M_{d.crpj}; M_{c.crpj}$ – эквивалентные

далее для группы ЭД определяются:

7) суммарная электрическая проводимость по формуле (62);

8) напряжение на шинах секции СН по формуле (63), обозначение его U_{c3} ;

9) ток секций по формуле (66).

Затем для каждого ЭД рассчитывается:

10) ток статора по формуле (65);

11) среднее значение момента вращения $M_{d.crpj}$ по методике, изложенной в приложении 8;

12) среднее значение момента сопротивления механизма $M_{c.crpj}$ по методике, изложенной в приложении 8;

13) время разворота до установившегося значения частоты вращения при постоянстве напряжения U_{c3} по формуле

$$T'_{pj} = T_{jj} (n_{uj} - n_{ij}) / \left(M_{d.crpj}^{U_{ном}} U_{c3}^2 - M_{c.crpj} \right), \quad (86)$$

где T_{jj} – время ускорения, с; n_{uj} – установившееся значение частоты вращения, отн.ед.; n_{ij} – текущее значение частоты вращения, отн.ед.; $M_{d.crpj}^{U_{ном}}$ – среднее значение момента вращения ЭД, отн.ед.;

$M_{c.crpj}$ – среднее значение момента сопротивления механизма, отн.ед.

Из всех ЭД выбирается такой, у которого минимальное время разворота. Это время обозначается T'_{pk} . Для этого ЭД

частота вращения при дальнейших расчетах принимается равной n_{uj} , а при приближенных расчетах за установившееся значение частоты вращения ЭД можно принять ее номинальное значение

$$n_{uj} = n_{номj}^* = n_{номj} / n_{синхj}, \quad (87)$$

где $n_{номj}$ – номинальная частота вращения вала ЭД, об/мин; $n_{синхj}$ – синхронная частота вращения магнитного поля статора ЭД, об/мин.

Полное время разворота ЭД определяется как сумма всех минимальных значений времени разворота T'_{pk} по формуле

$$T_{pj} = \sum_{k=1}^N T'_{pk}, \quad (88)$$

где k – индекс, указывающий на последовательность ускорения ЭД;

14) частота вращения, которую ЭД приобретает за время T'_{pk} по формуле

$$n_{(i+1)j} = n_{ij} + T'_{pk} \left(M_{d.crpj}^{U_{ном}} U_{c3}^2 - M_{c.crpj} \right) / T_{jj}, \quad (89)$$

где $n_{(i+1)j}$ и n_{ij} - последующие и предыдущие значения частоты вращения, отн.ед.

Проверяется, все ли ЭД развернулись до установившегося значения частоты вращения: если все ЭД развернулись, то расчет заканчивается; если не все ЭД развернулись, то вновь выполняется расчет по п.5.

К достоинствам данного метода расчета прежде всего следует отнести: простоту и наглядность; возможность выполнять расчет ускорения ЭД механизмов, имеющих произвольный характер зависимости момента сопротивления от частоты вращения; малый объем вычислений (по сравнению с любым методом расчета, основанным на решении уравнения движения ротора ЭД методом последовательных интервалов), который может быть определен по формуле

$$K_{\text{выч}} = \sum_{j=1}^N (N-j) + 1, \quad (90)$$

где N - общее количество ЭД, шт.; j - порядковый номер ЭД.

Недостатки данного метода расчета:

а) предварительно подключенная группа ЭД к шинам резервного питания может быть учтена в расчетах только как постоянная нагрузка;

б) на каждом шаге расчета требуется аналитическое определение средних значений момента вращения ЭД $M_{\text{д.срj}}^{u_{\text{ном}}}$ и момента сопротивления механизма $M_{\text{с.срj}}$ при частоте вращения n_{ij}

Если в результате расчета окажется, что расчетное время самозапуска ЭД больше допустимого (по условию нагрева ЭД или нарушения устойчивости технологического режима теплоэнергетического оборудования), то расчет следует выполнить по методу последовательных интервалов.

Аналитический метод расчета группового самозапуска ЭД СН, основанный на использовании обобщенных или конкретных зависимостей тока статора, момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма [2]

При выполнении расчетов принимаются следующие допущения:

а) ток статора ЭД считается чисто индуктивным;

б) пренебрегают активными сопротивлениями элементов схемы замещения;

в) напряжение на шинах системы считается неизменным;

г) шаг расчета по времени принимается равным 0,5-1,5 с.

Расчет выполняется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

1) номинальное скольжение $s_{\text{номj}}$ по формуле (3);

2) критическое скольжение $s_{\text{крj}}$ по формуле (2);

3) время ускорения T_{jj} по формуле (15);

4) начальное значение частоты вращения n_{ij} по одной из формул табл. I;

5) конкретное значение $K_{n_{ij}}$ для конкретного значения частоты вращения, если известна зависимость кратности тока статора ЭД от частоты вращения, и затем выполняется расчет по п.6; если зависимость кратности тока статора ЭД от частоты вращения неизвестна, то для ее определения используется обобщенная зависимость момента вращения ЭД (56); по формуле (59) определяется коэффициент вытеснения тока и по формуле (60) значение кратности тока статора $K_{n_{ij}}$;

6) полная электрическая проводимость по формуле (61).

Далее для группы ЭД и статической нагрузки определяются:

7) суммарная электрическая проводимость по формуле (62);

8) напряжение на шинах секции СН по формуле (63), обозначив его $U_{\text{сз}}$;

9) ток секции по формуле (66).

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

10) ток статора по формуле (65);

11) конкретное значение $M_{\text{дj}}^{u_{\text{ном}}}$

для конкретного значения частоты вращения, если известна зависимость момента вращения ЭД от частоты вращения, и затем выполняется расчет по п.12; если зависимость момента вращения ЭД от частоты вращения неизвестна, то используется обобщенная характеристика момента вращения, определяемая по формуле (56);

12) момент вращения ЭД при частоте вращения n_{ij} и напряжении $U_{\text{сз}}$ по формуле (64);

13) момент сопротивления механизма при частоте вращения n_{ij} по известной зависимости (расчетной или экспериментальной); если

неизвестна зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения n_{ij} , то используются обобщенные характеристики, определяемые по формулам (16) - (23);

14) приращение частоты вращения за промежуток времени Δt по формуле

$$\Delta n_j = (M_{\partial ij} - M_{c ij}) \Delta t / T_{Jj}; \quad (91)$$

15) частота вращения в конце расчетного интервала времени Δt по формуле

$$n_{(i+1)j} = n_{ij} + \Delta n_j, \quad (92)$$

где $n_{(i+1)j}$ и n_{ij} - последующее и предыдущее значения частоты вращения ЭД.

Если значение частоты вращения n_{ij} ЭД будет больше частоты вращения в установившемся режиме работы $n_{y j}$, то такой ЭД считается самозапустившимся и в дальнейших расчетах его частота вращения принимается равной $n_{y j}$;

16) время самозапуска по формуле

$$t_{cz} = \sum_{i=1}^K \Delta t_i, \quad (93)$$

где K - количество расчетных интервалов времени Δt , за которое ЭД достигает установившегося значения частоты вращения $n_{y j}$.

Время самозапуска должно быть меньше допустимого времени по условию нагрева ЭД и меньше допустимого времени, обеспечивающего устойчивость технологического режима энергоблока (т.е., когда не срабатывает ни одна из технологических защит, приводящая к отключению энергоблока).

Для каждого ЭД по требованию заводоизготовители могут выдавать значения допустимого времени пуска по условию предельного нагрева обмотки статора или ротора

при номинальном напряжении $t_{доп U_{ном}}$. В зависимости от типа ЭД допустимое время пуска по условию нагрева будет разным [21]. У нормальных СД на напряжение 3, 6, 10 кВ и АД на напряжение 3 кВ время пуска ограничивается обычно допустимой температурой обмотки ротора, а для АД на напряжение 6 кВ - допустимой температурой обмотки статора. Для этих ЭД при отклонении напряжения от номинального допустимое время пуска увеличивается обратно пропорционально квадрату напряжения и определяется по формуле

$$t_{доп U} = t_{доп U_{ном}} / K_U^2, \quad (94)$$

где $t_{доп U_{ном}}$ - допустимое время пуска ЭД по условию нагрева при номинальном напряжении, с; K_U - значение напряжения на выводах ЭД, отнесенное к номинальному значению напряжения, отн.ед.

В формуле (94) принимается, что в течение всего процесса пуска ЭД напряжение на его выводах обмотки статора остается неизменным. Но во время самозапуска группы ЭД сопротивление каждого ЭД увеличивается, ток уменьшается с увеличением частоты вращения и пропорционально уменьшению напряжения, а следовательно уменьшается суммарный ток самозапуска группы ЭД и падение напряжения во внешней сети. Напряжение при самозапуске с течением времени увеличивается. Поэтому при оценке допустимости самозапуска по условию нагрева обмотки статора ЭД в формуле (94) необходимо принимать усредненное напряжение за весь процесс самозапуска, определяемое методом площадей. Зная допустимое время пуска по условию нагрева ЭД и действительное время пуска, самозапуска, и но определить, нагреваются ли обмотки стат ЭД за время самозапуска выше допустимой температуры. Если время пуска, самозапуска меньше допустимого времени пуска по условию нагрева, то ЭД не нагреваются выше допустимой температуры. Если время пуска, самозапуска больше допустимого, то ЭД нагреваются выше допустимой температуры.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, УЧАСТВУЮЩИХ В САМОЗАПУСКЕ ПРИ ПИТАНИИ ШИН СН ОТ ТРАНСФОРМАТОРА ИЛИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩЕГО РЕАКТОРА

Сохранение устойчивости технологического режима электростанции зависит от наличия в работе необходимых конкретных механизмов СН. Электродвигатели этих механизмов не отключаются при перерыве питания и участвуют в процессе группового самозапуска. Суммарная мощность неотключаемых ЭД, определяемая условиями сохранения устойчивости технологического режима, зависит также от схемы внешнего электроснабжения.

Существует два варианта схем резервного электроснабжения СН ТЭС:

1) токоограничивающий реактор или пускорезервный трансформатор, питающий СН, подключен к шинам системы бесконечно большой мощности, для которой характерно постоянство значения напряжения на шинах и отсутствие внутреннего индуктивного сопротивления;

2) мощность резервного источника питания невелика и соизмерима с помощью подключаемых ЭД.

Для современных ТЭС типичным является первый вариант. Второй - в основном типичен для систем надежного питания атомных электростанций. На ТЭС питание потребителей СН от генераторов соизмеримой мощности применяется редко. В настоящее время рассматривается установка дизель-генераторов на ТЭС для питания ответственных потребителей.

Значения мощности силового трансформатора (или токоограничивающего реактора) и его реактивного сопротивления зависят от суммарной мощности неотключаемых ЭД и их параметров, а также характера момента сопротивления приводимого ими механизма и требуемой степени ограничения тока короткого замыкания.

При питании ЭД от пускорезервного двухобмоточного нерасщепленного трансформатора (см.рис.4) значение его номинальной мощности по условию успешного самозапуска определяется следующим образом:

определяется значение начального напряжения на шинах секции СН по формуле

$$U_{нач} = U_c / \left[1 + \left(\frac{U_{кз} U_{ном}^2}{100 S_{ном.т}} + \chi_{\theta н} \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{K_{п.ср} P_{ном \Sigma} 10^2}{\cos \varphi_{ном.ср} \eta_{ном.ср} U_{ном}^2} + \frac{Q_{нагр}}{U_{ном}^2} \right) \right], \quad (95)$$

где U_c - напряжение источника питания, отн.ед.; $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $Q_{нагр}$ - реактивная составляющая мощности постоянной нагрузки, квар; $U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора при конкретном положении регулятора под нагрузкой (РПН), определяемое расчетным или экспериментальным методом, а при неизвестном положении РПН принимается усредненное значение, % (см.приложение 5); $U_{ном}$ - номинальное напряжение, кВ; $\chi_{\theta н}$ - сопротивление внешней сети, Ом; $K_{п.ср}$ - усредненное значение кратности пускового тока ЭД, определяется по формуле

$$K_{п.ср} = \sum_{j=1}^N (P_{номj} K_{пj}) / \sum_{j=1}^N P_{номj}, \quad (96)$$

где N - общее количество ЭД на секции, шт.; j - порядковый номер ЭД; $K_{пj}$ - кратность пускового тока ЭД по паспорту или каталогу, отн.ед.; $P_{номj}$ - номинальная мощность ЭД по паспорту или каталогу, кВт;

$P_{ном \Sigma}$ - суммарная номинальная мощность всех ЭД, участвующих в самозапуске, кВт; $\cos \varphi_{ном.ср}$ - усредненное значение номинального коэффициента мощности ЭД, отн.ед.;

$\eta_{ном.ср}$ - усредненное значение номинального коэффициента полезного действия ЭД, %;

проверяется для каждого ЭД выполнение

условия (55) при скольжении единица, т.е.

$$M_{пj} U_{нач}^2 \geq K_{зап} M_{снj}, \quad (97)$$

где $M_{пj}$ - кратность пускового тока ЭД, отн.ед.; $M_{снj}$ - начальный момент сопротивления механизма, отн.ед.; если для группы ЭД выполняется условие (97), то значения номинальной мощности трансформатора $S_{ном.т}$ достаточно для самозапуска неотключаемых ЭД; если хотя бы для одного ЭД условие (97) не выполняется, то необходимо либо уменьшить значение суммарной мощности неотключаемых ЭД, если это возможно, или реактивной мощности нагрузки, либо повысить мощность трансформаторов и расчет повторить.

При питании ЭД от пускорезервного двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой (см.рис.4) значение его номинальной мощности по условию успешного самозапуска определяется следующим образом:

а) определяется значение начального напряжения на шинах первой и второй секций СН по формулам:

$$U_{нач.1} = U_c X_{н1д} / [A(X_{нг1} + X_{н1д})]; \quad (98)$$

$$U_{нач.2} = U_c X_{н2д} / [A(X_{нг2} + X_{н2д})] \quad (99)$$

Промежуточный коэффициент A определяется по формуле

$$A = 1 + \frac{X_{\beta} + X_{\beta н}}{X_{н1} + X_{н1д}} + \frac{X_{\beta} + X_{\beta н}}{X_{н2} + X_{н2д}} \quad (100)$$

Суммарное индуктивное сопротивление ЭД и статической нагрузки соответственно первой и второй секций, Ом, рассчитывается по формулам:

$$X_{н1д} = \frac{U_{ном}^2}{\frac{K_{п.ср1} P_{ном \Sigma 1}}{10 \cos \varphi_{ном ср1} \eta_{ном ср1}} + Q_{нагр.1} 10^{-3}} \quad (101)$$

$$X_{н2д} = U_{ном}^2 / \left[K_{п.ср2} P_{ном \Sigma 2} / (10 \cos \varphi_{ном ср2} \times \eta_{ном ср2}) + Q_{нагр.2} 10^{-3} \right], \quad (102)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ЭД, кВ $K_{п.ср1}$, $K_{п.ср2}$ - усредненные значения кратностей пусковых токов ЭД соответственно первой и второй секций, отн.ед.; $\cos \varphi_{ном.ср1}$, $\cos \varphi_{ном.ср2}$ - усредненные значения номинального коэффициента мощности ЭД первой и второй секций, отн.ед.; $\eta_{ном.ср1}$, $\eta_{ном.ср2}$ - усредненные значения номинального коэффициента полезного действия ЭД первой и второй секций, %; $Q_{нагр.1}$, $Q_{нагр.2}$ - реактивная составляющая мощности постоянной нагрузки первой и второй секций, квар; $X_{н1}$, $X_{н2}$ - индуктивные сопротивления первой и второй расщепленных обмоток низкого напряжения трансформатора (см.приложение 7), Ом; X_{β} - индуктивное сопротивление обмотки высокого напряжения трансформатора, Ом; U_c - напряжение источника питания, отн.ед.;

б) проверяется для каждого электродвигателя каждой секции выполнение условий (97). Если условие (97) выполняется для всех ЭД, то значения номинальной мощности трансформатора $S_{ном.т}$ достаточно для самозапуска неотключаемых ЭД. Если хотя бы для одного ЭД условие (97) не выполняется, то необходимо либо уменьшить значения реактивной мощности нагрузки или суммарной мощности неотключаемых ЭД, если это возможно, либо повысить мощность трансформатора и расчет повторить.

При питании от одинарного или двояного токоограничивающего реактора допустимо по условию успешного самозапуска неотключаемых ЭД значение его номинальной мощности определяется аналогично двухобмоточным трансформаторам с нерасщепленной и расщепленной на две части обмоткой низкого напряжения. Параметры эквивалентной схемы замещения реакторов определяются по формулам, приведенным в приложении 7.

При определении номинальной мощности трансформатора (или токоограничивающего реактора), подключенного к источнику питания через внешнее индуктивное сопротивление $X_{\beta н}$ (кабельную и воздушную линию, обмотку низкого сопротивления, автотрансформатора), по

условию успешного самозапуска неотключаемых ЭД необходимо учесть это сопротивление путем суммирования с индуктивным сопротивлением X_B трансформатора (или реактора).

Заключение

Выше были изложены упрощенные приближенные методы расчета режимов работы электродвигателей СН электростанций. Эти методы характеризуются малым объемом вычислительных операций. Предлагаемые методы позволяют выполнить для одного или группы ЭД СН отдельно расчеты следующих режимов: установившегося режима при нормальной работе, режима глубокой посадки напряжения на шинах СН при КЗ за блочным трансформатором, режима выбега одного или группы ЭД при потере электропитания, режима самозапуска группы ЭД при восстановлении электропитания. Эти методы позволяют также оценить правильность выбора мощности ТСН, состава ЭД подключенных ТСН, соотношения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма для обеспечения пуска и самозапуска, уставок некоторых

видов устройств РЗА.

В зависимости от требуемой точности при оценке успешности самозапуска группы ЭД может применен один из предлагаемых способов расчета. Для того, чтобы ответить на вопрос, успешен или неуспешен процесс самозапуска группы ЭД, необходимо, как минимум, рассчитать индивидуальный выбег каждого агрегата, а после определения начального напряжения выполнить проверку соотношения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма в диапазоне частот вращения от начального (в конце выбега) до установившегося значения. Достаточным условием успешности самозапуска является то, что время самозапуска ЭД должно быть меньше допустимого времени, определяемого нагревом ЭД и условием нарушения технологического режима теплоэнергетического оборудования.

В приложении 9 приведены примеры расчетов режимов работы ЭД СН электростанций.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

При выполнении расчетов режимов перерыва питания и самозапуска группы ЭД на стадии проектирования определение коэффициента загрузки ЭД по активной мощности выполняется по формуле

$$K_{3j} = N_{номj} / P_{номj}, \quad (\text{П.1})$$

где $P_{номj}$ - номинальная активная мощность на валу ЭД, определяемая по паспорту или каталогу, кВт; $N_{номj}$ - номинальная мощность потребляемая механизмом при его номинальных подаче $Q_{номj}$ и частоте вращения $n_{номj}$ и определяемая по каталожным и паспортным зависимостям мощности от подачи, кВт (рис.П.1).

При описании момента сопротивления насоса, работающего через обратный клапан на сеть с противодавлением, определяется также коэффициент загрузки ЭД при работе насоса на закрытую задвижку

$$K_{30j} = N_{0j} / P_{номj}, \quad (\text{П.2})$$

где N_{0j} - мощность, потребляемая насосом при номинальной частоте вращения и подаче, равной нулю, кВт (см.рис.П.1).

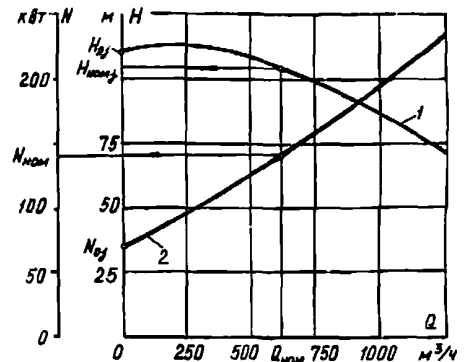


Рис.П.1. Кривые зависимостей напора и потребляемой мощности механизмов тягодутьевой и насосной групп СН от подачи:
1 - кривая зависимости напора от подачи;
2 - кривая зависимости потребляемой мощности от подачи

При выполнении расчетов режимов перерыва и самозапуска группы ЭД действующей ТЭС необходимо определить реальную загрузку каждого ЭД по активной мощности, потребляемой из сети при максимальной нагрузке энергоблока. Измерение активной мощности выполняется общеизвестными прямыми или косвенными методами [2, 13, 14] .

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Т а б л и ц а П2.1

Баковые масляные выключатели с простым разрывом дуги в масле [23]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВМ-6	200	3	0,15	0,06
	400	3	0,17	0,1
	200	6	0,15	0,06
ВМ-14	200	3	0,075	0,11
	600			
	1000			
	1250			
	200	6		
400				
ВМ-16	200	3	0,12 [*] 0,14	0,24 0,25
	600			
	1000			
	200	6		
600				
	200	10		
ВМ-18	2000	3	0,08	0,17
	3000			
ВМ-22Ф ВМ-22Н	400	6	0,15 [*] 0,18	0,24 0,26
	600			
	1000			
	1500			
	400	10	0,15 [*] 0,18	0,24 0,26
600				
ВМ-23Ф ВМ-23Н ВМ-23П	600	10	0,15 [*] 0,2	0,28 0,32
	1000			
	1500			
ВМ-25 ВМ-25Н	600	20	- [*]	0,17
	600	35	0,75	-
ВБ-10	200	10	0,06	0,25
	400, 600			0,3
ВБ-6	200	3	0,15	-
	200	6		

* Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

Т а б л и ц а П2.2

Баковые масляные выключатели с дугогасительными приспособлениями [23]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВМ-35Ф	600	20	0,08	0,26
ВМ-35Н	600	35		
ВМ-35	600	35	0,12	0,27
ВМД-35	600	20		
МД-15	600	3	0,16	0,25
	1000			
	600	6		
	1000			
МКП-153С	600	110	1,086	0,8
МКП-153Д				
МКП-160Д	600	110	0,15	0,7-0,8
	1000			
МКП-180Д	600, 1000	154	0,15	0,7-0,9
МКП-160	600	110	<u>0,07*</u>	<u>0,8</u>
МКП-160П			0,35	0,85
МКП-274	600	220	<u>0,08*</u>	<u>1,5</u>
			0,35	1,55
МКП-274П	600	220	0,15	<u>0,7-0,9</u> 1,1
МКП-35	600	35	<u>0,05*</u>	<u>0,38-0,43</u> 0,4-0,45
	1000		0,2	
	600	20	0,08 ^{хв}	
МКП-110М	600	110	<u>0,04-0,06*</u>	<u>0,5-0,6</u> 0,55-0,65
			0,5	
			0,05-0,08 ^{хв}	
МКП-220	600	220	0,08 ^{хв}	-
ВМ-103	600	3	0,09	0,25
	1000			
	1500			
	600	6		
МГТ-10	1000	6,10	<u>0,11-0,12*</u> 0,24-0,22	<u>-</u> 0,42-0,44
	1500			
	3150			
	4000			
	5000			

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
МТГ-20	5000 6000	20	0,2 ^{***}	0,65
МТГ-223КБ	2000 3000	10	<u>0,15</u> [*] 0,3	<u>0,55</u> 0,65
МТГ-229	2000	10	<u>0,15</u> [*] 0,33	<u>0,65</u> 0,7
	4000		<u>0,15</u> [*] 0,35	<u>0,8</u> 0,85
МТГ-229М	4000	10	0,33 ^{***}	0,65
МТГ-529	400	20	0,33 ^{***}	0,65
ВМГ-133-I ВМГ-133-II	600	3,6,10	<u>0,1</u> [*] 0,18	0,23-0,28
ВМГ-133-III	1000	10	<u>0,1</u> [*] 0,18	0,28
МГ-35	600	35	<u>0,06</u> [*] 0,17 0,08 ^{***}	0,25
МГ-110	600	110	0,08 ^{***}	0,3-0,35

* Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

*** Время отключения до погасания дуги.

Т а б л и ц а П 2.3

Выключатели маломасляные внутренней установки [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВК-10	630	10	<u>0,05</u> * 0,07	0,75
	1000			
	1600			
ВКЭ-10	630	10	<u>0,07</u> * 0,095	0,3
	1000			
	1600			
ВМПЭ-10	630	10	<u>0,07</u> * 0,095	0,3
	1000			
	1600		<u>0,09</u> * 0,12	
	3150			
ВМШ-10	630	10	<u>0,12</u> * 0,14	0,3
	1000			
	1600			

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВМП-10	630 1000	10	<u>0,09</u> [*] 0,11	0,3
ВМП-10	630 1000	10	<u>0,12</u> [*] 0,14	0,3
МТУ-10	6300 9500	10	<u>0,15</u> [*] 0,2	0,8
ВМТ-20	11200	20	<u>0,15</u> [*] 0,2	0,7

^{*}Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

Т а б л и ц а П 2.4

Выключатели масляные баковые наружной установки [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
СМ-35М	630	35	<u>0,05</u> [*] 0,08	<u>0,34</u> 0,4
МКП-35	1000	35	<u>0,05</u> [*] 0,08	0,4
С-35-50	2000 3200	35	<u>0,055</u> [*] 0,08	0,7
МКП-110Б	630 1000	110	<u>0,05</u> [*] 0,08	0,6
У-110-40	2000	110	<u>0,06</u> [*] 0,08	0,8
У-110-50	2000	110	<u>0,06</u> [*] 0,08	<u>0,7</u> 0,3
У-220-25	1000 2000	220	<u>0,05</u> [*] 0,08	<u>0,8</u> 0,45
У-220-40	2000	220	<u>0,045</u> [*] 0,08	<u>0,9</u> 0,45

^{*}Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

Т а б л и ц а П2.5

Выключатели электромагнитные [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВЭ-6-40	1600	6	<u>0,06*</u>	0,075
	2000		0,075	
	3200			
ВЭМ-6-40	2000	6	<u>0,06*</u>	0,25
	3200		0,08	
ВЭС-6-40	1600	6	<u>0,06*</u>	0,075
	2000		0,075	
	3200			
ВЭМ-10Э-20	1000	10	<u>0,05*</u>	0,25
	1250		0,07	
ВЭ-10-20	1250	10	<u>0,06*</u>	0,075
	1600		0,075	
	2500			
	3600			
ВЭ-10-31,5	1250	10	<u>0,06*</u> 0,075	0,075
	1600			
	2500			
	3600			
ВЭ-10-40	1600	10	<u>0,06*</u> 0,08	0,08
	2500			
	3150			

*Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

Т а б л и ц а П2.6

Выключатели воздушные [23] , [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВВГ-20-160	12500	20	0,08	0,12
	20000			
ВВУ-35А-40	2000	35	0,07	0,13
ВВУ-110Б-40	2000	110	0,08	0,2
ВВЕМ-110Б-31,5	2000	110	0,07	0,2
ВВБК-110Б-50	3150	110	0,06	0,1
ВВБ-220Б-31,5	2000	220	0,08	0,2
ВВБ-220(Б)-63	3150	220	0,04	0,1
ВВ-330Б-31,5	2000	330	0,08	0,23
ВВД-330Б-40	3200	330	0,08	0,25

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВНВ-330(Б) -40	3150 4000	330	0,04	0,1
ВНВ-330(Б) -63	3150	330	0,04	0,1
ВВ-500Б-31,5	2000	500	0,08	0,26
ВВ-500А-35,5	2000	500	0,08	0,25
ВНВ-500(Б) -40	3150 4000	500	0,04	0,1
ВВБК-500-50	3200	500	0,04	0,13
ВНВ-500(Б) -63	3150 4000	500	0,04	0,1
ВВБ-750-40	3200	750	0,06	0,11
ВНВ-750(Б) -40	3150 4000	750	0,04	0,1
ВНВ-1150-40	4000	1150	0,04	0,1
ВВ-15	5500	13,8	0,15	0,135
ВВН-35	600 1000	35	0,3	0,3
ВВ-110 ВВН-110/800/4000	600	110	0,08*	0,3
ВВН-110/2000/4000	2000	110	0,27	0,28-0,32
ВВ-154	750	154	0,29	0,28-0,32
ВВ-154/800/4000	800	154	0,29	0,27-0,32
ВВ-220	1000	220	0,5	0,45
ВВ-440	2000	400	0,08*	0,45-0,5
ВВ-400/2000/15000	2000	400	0,36-0,4	0,9-1,0

*Время отключения до погасания дуги.

Т а б л и ц а П2.7

Выключатели вакуумные [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВВЗ-10-2	320	10	<u>0,06</u> * 0,1	0,08
ВВТЗ-10-10	630	10	<u>0,03</u> * 0,05	0,1
ВВТП-10-10	630	10	<u>0,03</u> * 0,05	0,1

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы П2.7

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВВ-10-20	630	10	<u>0,055</u> * 0,075	0,1
	1000			
	1600			
ВВТЭ-10-20	630	10	<u>0,03</u> * 0,05	0,1
ВВ1П-10-20	630	10	<u>0,03</u> * 0,05	0,1
ВВ-10-31,5	630	10	<u>0,055</u> * 0,075	0,1
	1000			
	1600			
	2000			
	3150			
ВЭК-35Б-20	1000	35	<u>0,05</u> * 0,07	0,3
ВЭК-110Б-20	1000	110	<u>0,05</u> * 0,07	0,3

* Над чертой дано собственное время отключения выключателя, а под чертой - полное время его отключения.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АСИНХРОННЫХ И СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Т а б л и ц а ПЗ.1

Технические данные асинхронных электродвигателей на напряжение 6 кВ

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
<u>Серия А исполнений А, АЗ, АП</u>									
А(АЗ, АП) 12-32-4	400	46,5	92,5	0,895	1480	2,1	1,0	5,1	22,5
А(АЗ, АП) 12-32-4У4	400	46,5	93,5	0,885	1480	2,1	1,0	5,0	22,5
А(АЗ, АП) 12-41-4	500	57,5	93,0	0,895	1480	2,2	1,1	5,7	25
А(АЗ, АП) 12-41-4У4	500	57,5	93,5	0,895	1480	2,2	1,1	5,7	25
А(АЗ, АП) 12-52-4	630	71,5	93,5	0,905	1480	2,2	1,1	5,7	30
А(АЗ, АП) 12-52-4У4	630	73,0	94,5	0,879	1480	2,2	1,1	5,7	30
А(АЗ, АП) 13-46-4	800	90,0	94,0	0,91	1485	2,1	1,0	5,4	50
А(АЗ, АП) 13-46-4У4	800	91,0	95,0	0,89	1485	2,1	1,0	5,4	50
А(АЗ, АП) 13-59-4	1000	112	94,0	0,91	1485	2,5	1,2	6,2	62,5
А(АЗ, АП) 13-59-4У4	100	114	94,5	0,893	1485	2,5	1,2	6,2	62,5
А(АЗ, АП) 12-35-6	250	29,5	91,5	0,89	985	2,2	1,1	5,7	35
А(АЗ, АП) 12-39-6	320	37,5	92,0	0,89	985	2,2	1,2	6,0	37,5
А(АЗ, АП) 12-39-6У4	320	38,0	92,5	0,876	985	2,2	1,2	6,0	37,5
А(АЗ, АП) 12-49-6	400	46,5	92,5	0,89	985	2,4	1,2	5,7	45
А(АЗ, АП) 12-49-6У4	400	47,0	93,0	0,88	985	2,4	1,2	5,7	45
А(АЗ, АП) 13-37-6	500	58,5	93,0	0,88	985	1,9	1,0	4,5	60
А(АЗ, АП) 13-37-6У4	500	59,0	93,5	0,894	985	2,0	1,0	4,6	60
А(АЗ, АП) 13-46-6	630	72,5	93,5	0,89	985	2,0	1,0	4,6	70
А(АЗ, АП) 13-46-6У4	630	73,0	94,0	0,883	985	2,0	1,0	4,6	70
А(АЗ, АП) 13-59-6	800	91,0	93,5	0,9	985	2,2	1,0	5,3	85
А(АЗ, АП) 13-59-6У4	800	94,0	94,5	0,867	985	2,2	1,0	5,3	85
А(АЗ, АП) 12-35-8	200	25,5	90,5	0,84	735	2,1	1,2	5,0	35
А(АЗ, АП) 12-35-8У4	200	26,0	92,0	0,805	735	2,1	1,2	5,0	35
А(АЗ, АП) 12-42-8	250	31,0	91,5	0,85	740	2,1	1,1	5,1	40
А(АЗ, АП) 12-42-8У4	250	31,0	92,5	0,839	740	2,1	1,1	5,1	40
А(АЗ, АП) 12-52-8	320	39,0	92,0	0,86	740	2,2	1,1	5,2	47,5
А(АЗ, АП) 12-52-8У4	320	39,0	93,0	0,85	740	2,2	1,1	5,2	48
А(АЗ, АП) 13-42-8	400	48	92,5	0,86	735	2,1	1,2	5,1	75
А(АЗ, АП) 13-42-8У4	400	49	93,5	0,84	735	2,1	1,2	5,1	75
А(АЗ, АП) 13-52-8	500	59,5	93,0	0,865	735	2,0	1,2	5,0	87,5
А(АЗ, АП) 13-52-8У4	500	61,0	94,0	0,839	735	2,0	1,2	5,0	87,5
А(АЗ, АП) 13-62-8	630	74,5	93,5	0,87	735	2,1	1,3	5,3	102,5
А(АЗ, АП) 13-62-8У4	630	76,0	94,0	0,849	735	2,1	1,3	5,3	102,5
А(АЗ, АП) 12-42-10	200	27	90,5	0,79	590	2,4	1,3	6,0	52,5
А(АЗ, АП) 12-42-10У4	200	27	91,5	0,78	590	2,4	1,3	5,5	52,5
А(АЗ, АП) 12-52-10	250	32	91,0	0,82	590	2,5	1,3	5,9	62,5
А(АЗ, АП) 12-52-10У4	250	32,5	92,0	0,805	590	2,5	1,3	5,9	62,5

Продолжение таблиц ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
A(A3, AП) I3-42-I0	320	40	91,5	0,84	590	2,1	1,1	4,8	85
A(A3, AП) I3-42-I0Y4	320	41	92,5	0,812	590	2,1	1,1	4,8	85
A(A3, AП) I3-52-I0	400	49	92,0	0,85	590	2,0	1,1	4,7	100
A(A3, AП) I3-52-I0Y4	400	50,5	93,0	0,82	590	2,0	1,1	4,7	100
A(A3, AП) I3-62-I0	500	61	92,5	0,85	590	2,1	1,1	4,8	117,5
A(A3, AП) I3-62-I0Y4	500	62	93,5	0,83	590	2,1	1,1	4,8	117,5
A(A3, AП) I3-42-I2	200	27	90,0	0,79	490	2,3	1,2	5,8	85
A(A3, AП) I3-52-I2	250	33	91,0	0,8	490	2,3	1,3	5,1	100
A(A3, AП) I3-52-I2Y4	250	34	92,0	0,77	490	2,3	1,3	5,1	100
A(A3, AП) I3-62-I2	320	41,5	91,5	0,81	490	2,1	1,3	4,9	117,5
A(A3, AП) I3-62-I2Y4	320	43,5	92,5	0,765	490	2,1	1,3	4,8	117,5
A-II3-2	320	37,1	92,1	0,901	2970	2,60	1,40	6,40	6,50
A-II3-2M	320	37,1	92,1	0,901	2970	2,60	1,40	6,50	6,70
A-II4-2	400	45,2	93,0	0,916	2970	3,00	1,50	7,20	8,00
A-II4-2M	400	45,2	93,0	0,916	2970	2,60	1,40	7,00	10,70
A-II2-4	200	23,5	91,4	0,896	1480	2,50	1,70	6,20	8,30
A-II2-4M	200	23,5	91,4	0,896	1485	2,50	1,70	6,20	8,25
A-II2-4M	200	23,5	91,4	0,896	1485	2,50	1,70	6,20	10,00
A-II3-4	250	29,4	92,0	0,889	1480	2,50	1,30	5,80	12,25
A-II3-4M	250	28,8	92,0	0,908	1480	2,00	1,40	5,00	10,00
A-II3-4M	250	28,8	92,0	0,908	1480	2,00	1,40	5,00	12,00
A-II4-4	320	37,1	92,8	0,894	1480	2,80	1,60	6,50	15,00
A-II4-4M	320	36,7	93,0	0,902	1480	2,30	1,70	5,70	12,50
A-II4-4M	320	36,7	93,0	0,902	1480	2,30	1,70	5,70	14,75
A-II4-6	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	1,20	5,80	19,50
A-II4-6M	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	1,20	5,80	19,50
A-II4-6M	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	1,20	5,80	22,50

Серия A2

A2-4505-4	400	46,0	94,0	0,89	1480	2,0	1,0	5,6	11,25
A2-4505-4M									
A2-450M-4	500	57,0	94,4	0,895	1480	2,0	1,1	5,7	12,5
A2-450M-4M									
A2-5005-4	630	71,0	94,6	0,9	1485	2,1	1,0	6,2	21,25
A2-500M-4	800	90,0	95,0	0,9	1485	2,2	1,2	6,7	26,25
A2-5605-4	1000	113,0	95,0	0,9	1485	2,1	1,0	6,0	42,5
A2-560M-4	1250	140,0	95,3	0,905	1485	2,2	1,1	6,6	51,25
A2-4505-6	315	38,0	93,5	0,86	985	2,1	1,3	6,2	17,5
A2-450M-6	400	47,5	93,9	0,87	985	2,1	1,3	6,2	20
A2-5005-6	500	58	94,2	0,88	985	2,1	1,1	6,0	32,5
A2-5005-6M									
A2-500M-6	630	73,0	94,5	0,88	985	2,1	1,2	6,2	38,75
A2-500M-6M									
A2-5605-6	800	93,0	94,5	0,88	985	2,1	1,1	5,7	67,5
A2-560M-6	1000	115,0	95,0	0,88	985	2,1	1,3	6,5	83,75

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
A2-450S-8	250	31,0	92,8	0,83	740	2,0	1,3	5,5	21,25
A2-450M-8	315	39,5	93,4	0,83	740	2,0	1,3	5,8	26,25
A2-500S-8	400	49,0	93,8	0,84	740	2,0	1,2	5,8	41,25
A2-500S-8M									
A2-500M-8	500	60,5	94,1	0,85	740	2,0	1,2	6,0	47,5
A2-500M-8M									
A2-560S-8	630	76,0	94,1	0,85	740	2,0	1,3	5,7	91,25
A2-560M-8	800	96,0	94,5	0,85	740	2,0	1,3	6,0	110
A2-450S-10	200	26,5	91,6	0,79	590	2,0	1,2	5,1	22,5
A2-450M-10	250	32,5	92,4	0,80	590	2,0	1,2	5,3	27,5
A2-500S-10	315	40,0	93,1	0,82	590	2,0	1,1	5,3	46,25
A2-500M-10	400	50,0	93,5	0,83	590	2,0	1,1	5,3	53,75
A2-560S-10	500	61,0	93,7	0,84	590	1,9	1,1	5,2	97,5
A2-560M-10	630	76,5	94,2	0,84	590	2,0	1,2	5,4	117,5
A2-500S _к -12	200	28,0	91,9	0,755	490	2,0	1,0	5,0	43,75
A2-500S-12	250	34,0	92,3	0,765	490	2,0	1,0	4,8	50
A2-500M-12	315	42,5	92,7	0,775	490	2,0	1,0	4,8	56,25
A2-560S-12	400	52,5	93,4	0,790	490	1,9	1,1	4,8	101,25
A2-560M-12	500	65,0	93,9	0,790	490	1,9	1,1	5,0	121,25

Серия А4

A4-355LK-4Y3	200	23,0	93,9	0,891	1470	2,2	1,2	6,0	5,25
A4-355L-4Y3	250	29,0	94,1	0,882	1470	2,2	1,2	6,0	6,25
A4-355X-4Y3	315	36,0	94,5	0,891	1470	2,2	1,2	6,0	8,0
A4-355Y-4Y3	400	45,0	95,3	0,898	1470	2,2	1,2	6,0	10,0
A4-400XK-4Y3	400	47,0	94,3	0,87	1470	2,3	1,2	5,7	10
A4-400X-4Y3	500	58,0	94,7	0,88	1470	2,3	1,2	5,7	11
A4-400Y-4Y3	630	72,5	95,1	0,88	1470	2,3	1,2	5,7	13
A4-450X-4Y3	800	92,0	95,2	0,88	1482	2,1	1,1	5,7	21
A4-450Y-4Y3	1000	113,5	95,5	0,89	1482	2,1	1,1	5,7	25
A4-355L-6Y3	200	23,5	93,8	0,873	985	2,2	1,2	6,0	11
A4-355X-6Y3	250	29,5	94,0	0,868	985	2,2	1,2	6,0	13
A4-400XK-6Y3	315	38	93,6	0,85	985	2,1	1,0	5,4	15
A4-400X-6Y3	400	47,5	94,0	0,86	985	2,1	1,0	5,4	18
A4-400Y-6Y3	500	59,5	94,4	0,86	985	2,1	1,0	5,4	21
A4-450X-6Y3	630	74,5	94,7	0,86	986	2,0	1,0	5,4	32
A4-450Y-6Y3	800	94,5	95	0,86	986	2,0	1,0	5,4	38
A4-400X-8Y3	250	32,0	93,2	0,81	739	1,9	1,0	5,0	19
A4-400Y-8Y3	315	39,5	93,6	0,82	739	1,9	1,0	5,0	22
A4-450X-8Y3	400	50,0	93,9	0,82	740	1,9	1,0	5,0	36
A4-450YK-8Y3	500	61,5	94,2	0,83	740	1,9	1,0	5,0	42
A4-450Y-8Y3	630	77,5	94,5	0,83	740	1,9	1,0	5,0	49
A4-400X-10Y3	200	27,5	92,0	0,77	583	1,9	1,1	4,8	19
A4-400Y-10Y3	240	33,5	92,5	0,78	583	1,9	1,1	4,8	22
A4-450X-10Y3	315	40,0	93,0	0,82	583	1,9	1,1	4,8	37

Продолжение таблицы ПЗ.І

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{эд}$ кг·м ²
А4-450У-10У3	400	50,0	93,4	0,82	583	1,9	1,1	4,8	42
А4-450Х-12У3	250	34,0	92,2	0,77	484	1,9	1,1	4,5	40
А4-450У-12У3	315	42,0	92,7	0,78	484	1,9	1,1	4,5	45
<u>Серия АВ</u>									
АВ-8000/6000	8000	875	96,6	0,91	2960	2,5	0,8	5,4	207,5
2АВ-8000/6000УХЛ4	8000	872	97,0	0,91	2961	3,0	1,0	6,5	230
2АВ-7100/6000Т4	7100	774	97,0	0,91	2967	3,4	1,0	7,2	207,5
<u>Серия АВКА</u>									
АВК-1000-1500УХЛ4	1000	112,1	95,50	0,899	1490	2,00	0,80	5,04	44,000
АВКА-1000-1500УХЛ4	1000	114,9	95,70	0,875	1491	2,10	0,80	4,66	32,300
АВКА-1250-1500УХЛ4	1250	143,8	95,73	0,874	1490	2,00	0,80	4,50	35,400
АВКА-1600-1500УХЛ4	1600	182,1	96,25	0,878	1493	2,00	1,00	5,40	117,200
АВКА-2000-1500УХЛ4	2000	226,3	96,34	0,883	1493	2,20	1,00	6,00	134,000
<u>Серия АЛО</u>									
АЛО-1250/600У3	1250	168,1	95,4	0,75	597	2,5	1,3	6,0	625
АЛО-1600/750У1	1600	194,7	95,3	0,83	745	2,1	0,8	5,5	550
АЛО-2500/1000У1	2500	285,7	95,7	0,88	995	2,3	0,8	5,7	572,5
АЛО-3150/1000У1	3150	354,8	96,0	0,89	996	2,5	1,0	6,5	749,5
<u>Серия АН</u>									
АН-14-49-6	1000	116	94,4	0,88	990	2,4	1,0	6,0	147,5
АН-14-59-6	1250	144	94,8	0,88	990	2,4	1,1	6,0	172,5
АН-15-41-6	1600	187	94,8	0,87	990	2,4	1,0	6,0	277,5
АН-15-51-6	2000	230	95,2	0,88	990	2,4	1,0	6,5	337,5
АН-14-46-8	800	96	94,2	0,85	740	2,0	1,0	5,2	160
АН-14-59-8	100	119	94,3	0,86	740	2,2	1,0	5,2	202,5
АН-15-44-8	1250	147	94,4	0,87	740	2,0	1,0	5,2	352,5
АН-15-54-8	1600	185	94,8	0,88	740	2,0	1,0	5,2	430
АН-15-64-8	2000	230	95,2	0,88	740	2,1	1,0	5,5	500
АН-14-46-10	630	79,5	93,4	0,82	590	2,0	1,0	4,9	190
АН-15-36-10	800	98	93,5	0,84	590	2,1	1,0	5,0	232,5
АН-15-44-10	1000	121	93,5	0,85	590	2,1	1,0	5,0	375
АН-15-56-10	1250	149	94,0	0,86	590	2,1	1,0	5,5	475
АН-16-44-10	1600	188	94,5	0,87	590	2,0	1,0	5,1	812,5
АН-14-49-12	500	65	93,3	0,8	490	1,9	1,0	4,4	185
АН-15-39-12	630	80	93,5	0,82	490	2,0	1,0	4,6	332,5
АН-15-49-12	800	99	94,0	0,83	490	2,0	1,0	4,7	412,5
АН-15-64-12	1000	124	94,2	0,83	490	2,1	1,0	5,0	550
АН-16-44-12	1250	154	95,2	0,83	495	2,2	1,0	5,7	862,5
АН-14-36-16	200	32	91,0	0,67	370	2,0	1,1	4,0	155
АН-14-41-16	250	38,5	91,2	0,69	365	1,9	1,0	3,9	175
АН-15-29-16	320	46	91,5	0,73	365	1,9	1,0	4,5	312,5
АН-15-34-16	400	56	92,3	0,75	365	2,0	1,0	4,3	350

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
АН2-17-57-10У4	1600	188	95,2	0,86	595	2,3	1,1	6,0	513
АН2-17-57-10УХЛ4									513
АН3-2-17-57-10У3									495
АН2-17-69-10У4	2000	232	95,5	0,87	595	2,3	1,1	6,0	610
АН2-17-69-10УХЛ4									610
АН3-2-17-69-10У3									593
АН2-16-39-12У4	500	64	93,8	0,8	493	2,3	1,0	5,5	180
АН2-16-39-12УХЛ4									180
АН3-2-16-39-12У3									168
АН2-16-48-12У4	630	80	94,1	0,8	493	2,3	1,0	5,5	210
АН2-16-48-12УХЛ4									210
АН3-2-16-48-12У3									198
АН2-16-57-12У4	800	101	94,5	0,8	493	2,4	1,0	5,5	243
АН2-16-57-12У4									243
АН3-2-16-57-12У3									230
АН2-17-48-12У4	1000	125	94,7	0,81	493	2,3	1,1	5,5	450
АН2-17-48-12УХЛ4									450
АН3-2-17-48-12У3									433
АН2-17-57-12У4	1250	156	95	0,81	493	2,3	1,2	5,5	520
АН2-17-57-12УХЛ4									520
АН3-2-17-57-12У3									503
АН2-17-31-16У4	500	68	93,3	0,76	370	2,0	1,1	5,0	340
АН2-17-31-16УХЛ4									340
АН3-2-17-31-16У3									320
АН2-17-39-16У4	630	85	93,7	0,76	370	2,0	1,1	5,0	400
АН2-17-39-16УХЛ4									400
АН3-2-17-39-16У3									380

Серия АО

АО-114-4	200	23,0	93,0	0,900	1480	2,5	1,7	6,5	13,50
АО-113-4М	200	23,7	92,0	0,883	1435	2,8	1,2	6,6	10,75
АО-114-4М	250	29,4	93,0	0,880	1435	2,8	1,3	7,0	13,50
АО-113-6	160	19,7	92,0	0,849	990	2,2	1,8	8,0	17,80
АО-113-6М	160	19,3	92,0	0,867	990	2,8	1,3	7,0	17,80
АО-114-6М	200	24,2	92,5	0,860	990	2,8	1,3	7,3	22,50

Серия АО2

АО2-18-120-8/10У1	4000	497,6	95,5	0,810	745	2,1	0,8	6,3	2000
АО2-18-120-8/10УХЛ1	2000	293,0	95,2	0,690	595	2,5	1,0	6,6	2000
АО2-20-83-12У1	5000	575,5	96,1	0,870	498	2,0	1,0	6,0	9250
АО2-21-39-16У1	2000	250,0	94,1	0,818	373	2,2	1,0	6,0	10500
АО2-21-49-16	3200	380,0	95,0	0,853	372	2,0	1,0	5,5	12500
АО2-21-49-16У1	3150	375	95	0,85	372	2,2	1,0	5,5	12500

Серия АО3

АО3-400-4У2	200	23,7	93,2	0,871	1485	3,3	1,0	6,0	7,25
-------------	-----	------	------	-------	------	-----	-----	-----	------

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДР-1250/6000 ДРП-1250/6000	1250	139	95,1	0,91	2975	2,5	1,05	5,7	35
ДР-1600/6000 ДРП-1600/6000	1600	177	95,6	0,91	2975	2,5	1,1	5,7	40,5
ДЗ-1000/6000 ДЗП-1000/6000	1000	112,5	94,6	0,905	2970	2,5	1,05	5,7	30,5
ДЗ-1250/6000 ДЗП-1250/6000	1250	139	95,1	0,91	2975	2,5	1,05	5,7	35
ДЗ-1600/6000 ДЗП-1600/6000	1600	177	95,6	0,91	2975	2,3	1,1	5,7	40,5
ДРП-2000/6000 ДРП-2500/6000	2000 2500	223 276	95,8 96,4	0,9 0,905	2975 2980	2,5 2,5	1,0 1,1	5,5 6,0	75 87,5
ДЗ-2000/6000 ДЗП-2000/6000	2000	223	95,8	0,9	2975	2,3	1,0	5,5	75
ДЗ-2500/6000 ДЗП-2500/6000	2500	276	96,4	0,905	2980	2,5	1,1	6,0	87,5
АС-3200/6000 АСП-3200/6000	3200	357	95,8	0,9	2985	2,7	0,75	5,5	158,3
АС-4000/6000 АСП-4000/6000	4000	440	96,2	0,91	2985	2,6	0,75	5,5	168,5
АС-5000/6000 АСП-5000/6000	5000	545	96,5	0,915	2985	2,4	0,75	5,5	181,8
АЗС-3200/6000 АЗСП-3200/6000	3200	357	95,8	0,9	2985	2,7	0,75	5,5	158,3
АЗС-4000/6000 АЗСП-4000/6000	4000	440	96,2	0,91	2985	2,6	0,75	5,5	168,5
АЗС-5000/6000 АЗСП-5000/6000	5000	545	96,5	0,915	2985	2,4	0,75	5,5	181,8
Серия АДЛ2 исполнений 2АЗМ, 2АЗМП, 2АЗУБ, 2АЗМВ1, 2АЗМП1, 2АЗЛ, 2АЗЛП, 2АРМ, 2АРМП, 2АРМ1, 2АРМП1, 2АРЛ, 2АРЛП									
2АЗМ-315/6000У4 2АРМ-315/6000У3	315	35,5	94,6	0,905	2980	2,4	1,3	7,0	4,0
2АЗМ-400/6000У4 2АРМ-400/6000У3	400	44,2	95,2	0,915	2980	2,4	1,3	7,0	4,5
2АЗМ-500/6000У4 2АЗМП-500/6000У4 2АРМ-500/6000У3 2АРМП-500/6000У3	500	54,8	95,5	0,92	2980	2,1	1,2	6,0	5,0
2АЗЛ-630/6000У4 2АЗЛП-630/6000У4 2АРЛ-630/6000У3 2АРЛП-630/6000У3	630	69,7	95,5	0,91	2975	2,4	0,9	6,0	8,75

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
2АЗМ-630/6000У4 2АЗМП-630/6000У4 2АРМ-630/6000У3 2АРМП-630/6000У3	630	70,5	95,4	0,9	2970	1,9	1,1	5,2	8,75
2АЗЛ-800/6000У4 2АЗЛП-800/6000У4 2АРЛ-800/6000У3 2АРЛП-800/6000У3	800	88,3	95,8	0,91	2975	2,5	0,9	6,0	11,25
2АЗМ-800/6000У4 2АЗМП-800/6000У4 2АРМ-800/6000У3 2АРМП-800/6000У3	800	89,5	95,7	0,9	2970	1,9	1,1	5,2	11,25
2АЗМ-500/6000У4 2АРМ-500/6000У4	500	54,8	95,5	0,92	2980	2,1	1,2	6,0	5,0
2АЗМП-630/6000У4 2АРМП-630/6000У4	630	70,5	95,4	0,9	2970	1,9	1,1	5,2	8,75
2АЗМП-600/6000У4 2АРМП-800/6000У4	800	89,5	95,7	0,9	2970	1,9	1,1	5,2	11,25
2АЗЛ-1000/6000У4 2АЗЛП-1000/6000У4 2АРЛ-1000/6000У4 2АРЛП-1000/6000У4	1000	111	96,0	0,91	2975	2,5	0,7	5,6	18,25
2АЗМ-1000/6000У4 2АЗМП-1000/6000У4 2АРМ-1000/6000У4 2АРМП-1000/6000У4	1000	113	95,7	0,89	2970	1,9	1,1	5,0	18,25
2АЗЛ-1250/6000У4 2АЗЛП-1250/6000У4 2АРЛ-1250/6000У4 2АРЛП-1250/6000У4	1250	137	96,5	0,91	2980	2,7	0,8	6,5	22,5
2АЗМ-1250/6000У4 2АЗМП-1250/6000У4 2АРМ-1250/6000У4 2АРМП-1250/6000У4	1250	140,5	96,3	0,89	2975	2,1	0,7	5,5	22,5
2АЗЛ-1600/6000У4 2АЗЛП-1600/6000У4 2АРЛ-1600/6000У4 2АРЛП-1600/6000У4	1600	173	96,8	0,92	2980	2,7	0,9	6,0	25,5
2АЗМ-1600/6000У4 2АЗМП-1600/6000У4 2АРМ-1600/6000У4 2АРМП-1600/6000У4	1600	177	96,5	0,9	2975	2,1	1,3	5,5	25,5

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	M_{max} отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
4АЭМ-800/6000УХЛ4 4АРМ-800/6000УХЛ4 4АЭМП-800/6000УХЛ4 4АРМП-800/6000УХЛ4	800	90	96,0	0,89	2979	2,0	1,0	5,3	5,8
4АЭМ-1000/6000УХЛ4 4АРМ-1000/6000УХЛ4 4АЭМП-1000/6000УХЛ4 4АРМП-1000/6000УХЛ4	1000	112,5	96,1	0,89	2976	2,0	1,0	5,3	6,5
4АЭМ-1250/6000УХЛ4 4АРМ-1250/6000УХЛ4 4АЭМП-1250/6000УХЛ4 4АРМП-1250/6000УХЛ4	1250	140	96,3 96,3 96,4 96,4	0,89	2973	2,1	0,95	5,5	13
4АЭМ-1600/6000УХЛ4 4АРМ-1600/6000УХЛ4 4АЭМП-1600/6000УХЛ4 4АРМП-1600/6000УХЛ4	1600	179	96,5 96,5 96,6 96,6	0,89	2973	2,0	0,9	5,2	14
4АЭМ-2000/6000УХЛ4 4АЭМП-2000/6000УХЛ4 4АРМП-2000/6000УХЛ4	2000	226	96,7	0,88	2973	1,9	0,77	4,7	21
4АЭМ-2500/6000УХЛ4 4АЭМП-2500/6000УХЛ4 4АРМП-2500/6000УХЛ4	2500	279	97,0	0,89	2973	2,0	0,85	5,0	24
4АЭМ-3150/6000УХЛ4 4АЭМП-3150/6000УХЛ4 4АРМП-3150/6000УХЛ4	3150	346	97,2	0,9	2976	2,1	0,9	5,3	29
4АЭМ-4000/6000УХЛ4 4АЭМ-5000/6000УХЛ4 4АЭМ-6300/6000УХЛ4 4АЭМ-8000/6000УХЛ4	4000 5000 6300 8000	444 543 690 876	97,3 97,5 97,6 97,6	0,89 0,9 0,9 0,9	2982 2982 2982 2985	2,2 2,2 2,2 2,3	0,9 0,9 0,95 0,95	5,7 5,7 5,9 6,0	49 56 64 148

Серия АТК

АТК-16АВ-6	800	95,0	93,0	0,871	980	1,80	0,70	4,5	448,8
АТК-16АВ-6	800	95,0	93,0	0,871	980	1,80	0,70	4,5	118,8
АТК-16А10-6	1000	117,0	93,4	0,881	980	1,80	0,70	4,8	112,5
АТК-18А10-6	1100	155,0	91,0	0,750	990	5,50	1,80	10,0	750,0
АТК-16А12-6	1200	140,0	93,9	0,878	980	1,80	0,70	5,0	130,0
АТК-17А6-8М	800	97,5	93,0	0,849	735	1,80	0,65	4,5	315,0
АТК-17АВ-8М	1050	126,0	93,3	0,859	735	1,80	0,65	4,8	362,5
АТК-17А10-8М	1300	154,0	93,6	0,868	735	1,80	0,65	5,0	405,0
АТК-16В10-10	620	75,5	93,0	0,850	590	1,90	0,80	5,0	140,0
АТК-17В10-10	1000	120,0	93,5	0,858	590	1,90	0,80	5,0	370,0
АТК-18В7-12	900	108,0	93,0	0,862	495	1,90	0,65	4,8	630,0
АТК-18В8-12	1050	126,0	93,3	0,859	495	1,95	0,65	5,0	700,0
АТК-20С8-12	3200	383,0	93,5	0,860	495	2,00	0,80	5,0	7050,0
АТК-18В7-24	390	55,5	90,0	0,751	245	2,20	1,10	4,8	600,0

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
<u>Серия АТМ</u>									
АТМ-500-2	500	60	93	0,86	2980	1,8	1,1	5,3	20
АТМ-700-2	700	82	93,5	0,88	2980	1,7	1,0	5,0	25
АТМ-850-2	850	98	94	0,89	2980	2,0	1,2	6,0	27,5
АТМ-2000-2	2000	230	95,5	0,876	2980	2,0	1,1	6,0	77,5
АТМ-3500-2	3800	450	96,0	0,86	2985	2,5	1,4	7,0	171
<u>Серии ВАЗ, ВАЗ2</u>									
ВАЗ-215/39-12У3	2000	231	94,4	0,883	494	2,40	0,72	4,40	2000
ВАЗ-215/51-12АУ3	2500	287	95,3	0,880	495	2,60	0,92	5,50	2750
ВАЗ-215/89-20У3	2500	354	94,0	0,723	296	1,80	0,75	4,00	4000
ВАЗ2-215/84-20У3	2500	339	94,5	0,751	296	2,00	0,80	5,00	3500
ВАЗ-215/109-6АМО5	8000	880	96,0	0,911	994	3,00	1,60	8,00	7250
ВАЗ-215/109-6АО5	8000	875	95,9	0,917	995	2,85	1,43	7,43	4500
<u>Серия ВАН исполнения АВ</u>									
АВ-113-4	250	29,2	92,0	0,895	1480	2,40	1,30	6,50	12,250
АВ-114-4	320	36,7	93,0	0,902	1480	2,40	1,50	6,50	15,500
ВАН(АВ)-14-39-6	800	96	93,5	0,86	990	2,1	0,9	5,5	175
ВАН(АВ)-14-49-6	1000	122	94,0	0,84	992	2,5	1,2	6,5	225
ВАН(АВ)-14-59-6	1250	152	94,4	0,80	992	2,5	1,2	6,5	275
ВАН(АВ)-14-26-8	400	50	92,3	0,83	738	2,1	0,82	4,2	137,5
АВ-14-26-8	400	51	91,8	0,83	738	2,0	0,8	5,0	125
ВАН(АВ)-14-31-8	500	61	92,9	0,85	738	2,06	0,84	4,3	150
ВАН(АВ)-14-39-8	630	76	93,2	0,86	738	2,05	0,86	4,3	162,5
ВАН(АВ)-15-31-8	800	95	93,7	0,86	740	2,2	0,72	4,6	250
ВАН(АВ)-15-36-8	1000	116	94,3	0,88	740	2,1	0,72	4,4	275
ВАН(АВ)-16-31-8	1250	143	93,7	0,89	740	2,0	0,65	4,6	525
ВАН(АВ)-16-31-8К	1250	145	93,4	0,89	741	2,1	0,65	4,8	650
ВАН(АВ)-16-36-8	1600	186	94,2	0,88	740	2,0	0,7	4,5	575
ВАН(АВ)-16-36-8К	1600	186	93,8	0,89	741	2,2	0,68	5,0	700
АВ-14-26-10	315	44	91,2	0,76	590	2,2	0,9	5,0	137,5
ВАН(АВ)-14-26-10	320	44	91,8	0,75	590	2,2	0,94	4,2	150
ВАН(АВ)-14-31-10	400	52	92,4	0,8	590	2,15	0,92	4,2	162,5
ВАН(АВ)-14-39-10	500	63	93,1	0,82	590	2,1	0,85	4,1	175
ВАН(АВ)-15-31-10		79	93,3		590			4,6	275
АВ-15-31-10	630	79,5	92,6	0,82	592	2,4	1,0	5,0	225
АВ-15-31-10К		79,5	92,6		592			5,0	225
ВАН(АВ)-15-39-10	800	99,5	93,8	0,82	593	2,5	1,3	5,2	325
ВАН(АВ)-16-31-10	1000	122	94,1	0,84	593	2,2	0,9	4,5	600
ВАН(АВ)-16-31-10К	1000	122	93,3	0,84	593	2,3	0,9	5,2	650
ВАН(АВ)-16-36-10	1250	149	94,4	0,85	593	2,2	0,8	4,8	650
ВАН(АВ)-16-36-10К	1250	152	93,8	0,85	593	2,3	0,7	5,4	700
ВАН(АВ)-16-49-10	1600	186	94,8	0,87	593	2,1	0,7	4,5	775
ВАН(АВ)-16-49-10К	1600	186	94,5	0,87	593	2,2	0,8	5,1	875

Продолжение таблицы ПЗ.І

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{эд}$ кг·м ²
ВАН ІІ8/5І-І0У3 ВАН ІІ8/5І-І0КУ3	800	99	93,7	0,82	592	І,9	0,7	4,2	І90
ВАН І43/4І-І0У3 ВАН І43/4І-І0КУ3	І000	І2І	94,0	0,84	592	І,9	0,6	4,5	350
ВАН І43/5І-І0У3 ВАН І43/5І-І0КУ3	І250	І54	94,4	0,83	593	2,0	0,7	4,2	450
ВАН І73/39-І0У3 ВАН І73/39-І0КУ3	І600	І89	94,6	0,86	592	2,0	0,7	4,8	550
ВАН ІІ8/28-І2У3 ВАН ІІ8/28-І2КУ3	3І5	45,5	9І,5	0,73	490	2,0	0,8	4,0	ІІ5
ВАН ІІ8/5І-І2У3 ВАН ІІ8/5І-І2КУ3	630	87,0	93,0	0,74	492	2,І	0,8	4,2	І90
ВАН І43/4І-І2У3 ВАН І43/4І-І2КУ3	800	І02	93,7	0,80	493	2,0	0,65	4,5	350
ВАН І43/5І-І2У3 ВАН І43/5І-І2КУ3	І000	І26	94,0	0,8І	494	І,9	0,6	5,0	5І0
ВАН І73/39-І2У3 ВАН І73/39-І2КУ3	І250	І54	94,2	0,83	493	2,І	0,7	4,8	550
ВАН І73/46-І2У3 ВАН І73/46-І2КУ3	І600	І94	94,5	0,84	493	2,0	0,7	4,5	630
ВАН І73/56-І2У3 ВАН І73/56-І2КУ3	2000	242	94,8	0,84	493	2,0	0,7	4,8	750
ВАН 2І5/4І-І2У3 ВАН 2І5/4І-І2КУ3	2500	295	94,7	0,85	495	2,2	0,6	5,0	І850
ВАН І43/36-І6У3 ВАН І43/36-І6КУ3	500	74,5	92,І	0,70	368	2,0	0,85	4,0	300
ВАН І43/46-І6У3 ВАН І43/46-І6КУ3	630	90,0	92,9	0,72	369	2,І	0,85	3,8	390
ВАН І73/36-І6У3 ВАН І73/36-І6КУ3	800	І08	93,5	0,76	368	І,8	0,7	3,9	570
ВАН І73/46-І6У3 ВАН І73/46-І6КУ3	І000	І33	93,8	0,77	369	І,8	0,6	4,0	700
ВАН І73/56-І6У3 ВАН І73/56-І6КУ3	І250	І66	94,8	0,77	369	І,9	0,7	4,0	830
ВАН 2І5/4І-І6У3 ВАН 2І5/4І-І6КУ3	І600	І96	94,5	0,83	369	І,9	0,65	4,3	І850
ВАН 2І5/49-І6У3 ВАН 2І5/49-І6КУ3	2000	246	94,6	0,83	368	І,7	0,5	4,0	2І50

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ВАН 215/59-16УЗ ВАН 215/59-16КУЗ	2500	306	94,7	0,83	370	1,9	0,65	4,2	2650

Серия ВАО

ВАО-450М-2	200	23,5	93,7	0,874	2980	2,8	1,1	6,5	4,25
ВАО-450Л-2	250	29,0	94,2	0,881	2980	2,8	1,1	6,5	5,25
ВАО-500М-2	315	36,5	94,0	0,888	2980	2,8	1,1	6,5	9,75
ВАО-500Л-2	400	46,0	94,2	0,888	2980	2,8	1,1	6,5	10,75
ВАО-450М-4	200	23,6	93,0	0,877	1480	2,5	1,2	6,0	6,50
ВАО-450Л-4	250	29,6	93,2	0,872	1480	2,5	1,2	6,0	7,50
ВАО-500М-4	315	37,3	94,0	0,864	1480	2,5	1,2	6,0	12,50
ВАО-500Л-4	400	46,1	94,5	0,884	1480	2,5	1,3	6,0	17,00
ВАО-560М-4	500	57,0	94,0	0,898	1490	2,5	1,3	6,5	26,75
ВАО-560Л-4	630	71,0	94,5	0,904	1490	2,5	1,3	6,5	30,50
ВАО-630М-4	800	89,5	95,0	0,905	1490	2,5	1,3	6,5	35,25
ВАО-630Л-4	1000	114,0	95,4	0,885	1490	2,5	1,3	6,5	57,75
ВАО-450Л-6	200	24,5	93,5	0,840	990	2,4	1,1	5,5	11,75
ВАО-500М-6	250	29,5	94,0	0,868	990	2,4	1,2	5,5	22,10
ВАО-500Л-6	315	36,9	94,5	0,869	990	2,4	1,3	5,5	26,30
ВАО-560М-6	400	47,0	94,2	0,869	990	2,4	1,3	6,0	41,25
ВАО-560Л-6	500	57,5	94,5	0,885	990	2,4	1,3	6,0	47,25
ВАО-630М-6	630	72,0	94,9	0,887	990	2,4	1,3	6,0	54,25
ВАО-630Л-6	800	92,0	95,3	0,878	990	2,4	1,3	6,0	90,00
ВАО-500М-8	200	26,1	93,2	0,791	740	2,2	1,2	5,5	22,00
ВАО-500Л-8	250	32,4	93,7	0,792	740	2,2	1,3	5,5	27,00
ВАО-560М-8	315	40,0	93,9	0,807	740	2,2	1,3	5,5	48,00
ВАО-560Л-8	400	50,0	94,3	0,816	740	2,2	1,3	5,5	56,25
ВАО-630М-8	500	61,0	94,7	0,833	745	2,2	1,3	5,5	65,75
ВАО-630Л-8	630	76,0	95,0	0,840	745	2,2	1,3	5,5	115,00

Серия ВАО2

ВАО2-450S-2У2 ВАО2-450S-2У5	200	22,9	94,1	0,89	2976	2,9	1,1	6,5	2,85
ВАО2-450М-2У2 ВАО2-450М-2У5	250	28,3	94,3	0,9	2973	2,9	1,1	6,5	3,22
ВАО2-450ЛА-2У2 ВАО2-450ЛА-2У5	315	35,2	94,4	0,91	2970	2,9	1,1	6,5	3,97
ВАО2-450ЛБ-2У2 ВАО2-450ЛБ-2У5	400	44,7	94,5	0,91	2967	2,9	1,1	6,5	5,05
ВАО2-450S-4У2 ВАО2-450S-4У5	200	23,3	93,6	0,88	1481	2,5	1,2	5,5	5,65
ВАО2-450М-4У2 ВАО2-450М-4У5	250	29,0	94,2	0,88	1481	2,5	1,2	5,5	6,64

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{эв}$ кг·м ²
BA02-450LA-4Y2 BA02-450LA-4Y5	315	36,0	94,8	0,89	2958	2,5	1,2	5,5	8,42
BA02-450LB-4Y2 BA02-450LB-4Y5	400	45,5	95,0	0,89	1485	2,5	1,2	5,5	10,4
BA02-560S-4Y2 BA02-450LB-4Y5	500	56,2	95,0	0,9	1487	2,5	1,3	6,5	28,0
BA02-560M-4Y2 BA02-560M-4Y5	630	71,0	95,3	0,9	1487	2,5	1,3	6,5	32,0
BA02-560LA-4Y2 BA02-560LA-4Y5	800	90,0	95,6	0,9	1487	2,5	1,3	6,5	34,0
BA02-560LB-4Y2 BA02-560LB-4Y5	1000	112	95,9	0,9	1487	2,5	1,3	6,5	39,0
BA02-630S-4 BA02-630M-4 BA02-630L-4	1250 1250 1600	139,2 139,3 178,0	96,0 95,9 96,1	0,90 0,90 0,90	1485 1485 1485	2,30 2,30 2,30	1,10 1,10 1,10	6,0 6,5 6,5	37,7 43,8 48,9
BA02-630M-4 BA02-630L-4	1600 2000	177,4 221,3	96,4 96,6	0,90 0,90	1485 1485	2,30 2,30	1,10 1,10	6,0 6,0	43,8 48,9
BA02-450M-6Y2 BA02-450L-6Y5	200	24,3	93,7	0,84	990	2,2	1,1	5,5	10,8
BA02-450LA-6Y2 BA02-450LA-6Y5	250	29,4	94,2	0,87	990	2,2	1,1	5,5	14,2
BA02-450LB-6Y2 BA02-450LB-6Y5	315	37,0	94,7	0,87	991	2,2	1,1	5,5	16,9
BA02-560S-6Y2 BA02-560S-6Y5	400	46,8	94,8	0,83	992	2,2	1,1	5,5	36,0
BA02-560M-6Y2 BA02-560M-6Y5	500	60,1	95,2	0,84	992	2,2	1,1	5,5	42,0
BA02-560LA-6Y2 BA02-560LA-6Y5	630	75,6	95,2	0,84	993	2,2	1,1	5,5	51,0
BA02-560LB-6Y2 BA02-560LB-6Y5	800	94,7	95,5	0,85	994	2,2	1,1	5,5	62,0
BA02-450LA-8Y2 BA02-450LA-8Y5	200	26,0	93,4	0,79	744	2,0	1,0	5,5	13,9
BA02-450LB-8Y2 BA02-450LB-8Y5	250	32,5	94,0	0,79	744	2,0	1,0	5,5	16,7
BA02-560S-8Y2 BA02-560S-8Y5	315	41,0	94,7	0,78	745	2,2	1,0	5,5	43,0
BA02-560M-8Y2 BA02-560M-8Y5	400	51,9	95,0	0,78	745	2,2	1,0	5,5	52,0

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
BA02-560LA-8V2 BA02-560LA-8V5	500	63,9	95,2	0,79	746	2,2	1,0	5,5	63,0
BA02-560LB-8V2 BA02-560LB-8V5	630	80,2	95,5	0,79	746	2,2	1,0	5,5	77,0
<u>Серия ВДА</u>									
ВДА 173/99-6-2AУ4	5600	620	96,0	0,905	990	2,90	1,22	7,10	3500
ВДА 173/99-6-2AУЗД4	5800	620	96,0	0,905	990	2,80	0,90	7,30	3750
<u>Серия ВДЛ</u>									
ВДЛ-140/29-6	850	102,0	92,9	0,863	988	1,7	0,64	3,6	218
ВДЛ-170/34-10	850	104,0	91,8	0,857	591	1,9	0,82	4,1	750
ВДЛ-170/34-12	850	108,0	92,2	0,821	493	1,9	0,99	4,0	750
ВДЛ-170/39-12	1000	126,0	91,8	0,831	494	2,0	1,00	4,3	800
ВДЛ-170/34-16	500	71,0	91,4	0,741	370	2,1	1,00	4,0	700
ВДЛ-170/44-16	750	104,0	92,4	0,751	369	2,0	1,00	4,1	850
ВДЛ-213/44-16	1350	168,0	92,9	0,832	365	2,2	1,00	4,5	2370
ВДЛ-213/54-16	1700	215,0	93,7	0,812	371	2,5	1,30	5,4	2750
<u>Серия ВДН</u>									
ВДН 170/49-10	1600	188	93,2	0,83	588	2,0	0,8	4,8	950
ВДН 170/34-12	800	99	91,3	0,84	492	2,2	1,0	5,0	700
ВДН 170/39-12	1000	123	92,5	0,84	493	2,2	0,95	5,3	800
ВДН 170/34-16	500	70	91,4	0,75	370	2,1	1,1	4,7	700
ВДН 213/44-16	1250	156	93,0	0,83	371	2,3	1,0	5,4	2375
ВДН 213/54-16	1600	206	94,7	0,79	372	2,9	1,15	5,9	2750
<u>Серия ДА(ДАЗ), ДАД</u>									
ДА-1708-8	1050	125	94,0	0,860	740	1,8	0,87	4,2	400,0
ДА-1712-12	900	112	93,5	0,827	492	2,4	1,30	5,3	562,5
ДА(ДАЗ)-1449-4	1250	147	94,3	0,868	1490	2,2	0,9	4,9	120
ДА(ДАЗ)-1459-4	1600	188	94,8	0,864	1490	2,2	0,9	5,0	138
ДА(ДАЗ)-1469-4	2000	237	95,2	0,853	1491	2,4	1,0	5,3	154
ДА(ДАЗ)-1479-4	2500	292	95,3	0,864	1491	2,3	1,0	5,3	170
ДА(ДАЗ)-1612-6	660	85	94,0	0,789	995	5,0	2,6	10,2	1750
ДА(ДАЗ)-1612-6	800	102	94,4	0,799	995	4,1	2,2	9,0	1750
ДА(ДАЗ)-1810-6	1200	210	92,2	0,596	993	4,3	1,4	8,92	750
ДА(ДАЗ)-1818-8	1800	295	93,0	0,631	744	5,85	1,2	8,8	1775
ДА(ДАЗ)-2012-16	4000	465	95,2	0,869	371	2,33	0,8	4,6	1000
ДАД-170/44-12	1000	138	92,74	0,752	493	2,24	1,1	4,65	850
<u>Серия ДА4, ДАЗ</u>									
ДА4-560Х-4У3	1600	182,5	95,8	0,88	1485	2,0	0,9	5,7	45
ДА4-560УХ-4У3	2000	228	96,0	0,88	1485	2,0	0,9	5,7	55
ДА4-560У-4У3	2500	281	96,2	0,89	1482	2,0	0,9	5,7	65
ДА4-560Х-6У3	1250	146,5	95,7	0,86	989	1,9	1,1	5,3	70

Продолжение таблицы ГЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об./мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДА4-560Ук-6УЗ	1600	185	95,9	0,87	969	1,9	1,1	5,3	80
ДА4-560У-6УЗ	2000	231	96,1	0,87	969	1,9	1,1	5,3	90
ДА4-560Х-8УЗ	800	101	95,1	0,8	743	1,9	1,1	5,0	87
ДА4-560Ук-8УЗ	1000	125	95,4	0,81	743	1,9	1,1	5,0	107
ДА4-560У-8УЗ	1250	153,5	95,6	0,82	742	1,9	1,1	5,0	120
ДА4-560Хк-10УЗ	500	64,5	94,3	0,79	593	1,9	1,1	5,0	75
ДА4-560Х-10УЗ	630	80	94,6	0,8	593	1,9	1,1	5,0	87
ДА4-560Ук-10УЗ	800	101	94,9	0,8	593	1,9	1,1	5,0	105
ДА4-560У-10УЗ	1000	125	95,1	0,81	593	1,9	1,1	5,0	120
ДА4-560Хк-12УЗ	400	54	93,6	0,76	494	1,9	1,1	4,5	75
ДА4-560Х-12УЗ	500	66,5	94,2	0,77	494	1,9	1,1	4,5	87
ДА4-560Ук-12УЗ	630	83,5	94,5	0,77	494	1,9	1,1	4,5	105
ДА4-560У-12УЗ	800	105,5	94,7	0,77	493	1,9	1,1	4,5	120
ДА3-1610-4	1100	137	94,4	0,818	1490	1,63	0,91	4,7	137,500
ДА3-14-49-4МУХЛ4	1250	147	95,3	0,859	1490	2,20	0,9	4,9	100
ДА3-14-49-4У4	1250	147	95,3	0,859	1490	2,20	0,9	4,9	120
ДА3-1614-4	1300	97,5	94,0	1,365	1490	2,20	1,2	6,4	162,5
ДА3-1612-4	1500	173	94,7	0,881	1490	1,90	1,3	5,6	150
ДА3-14-59-4МУХЛ4	1600	188	95,3	0,859	1490	2,20	0,9	5,0	115
ДА3-14-59-4У4	1600	188	95,3	0,859	1490	2,20	0,9	5,0	138
ДА3-1616-4	2000	245	95,0	0,827	1490	2,10	1,2	6,0	175
ДА3-14-69-4МУХЛ4	2000	237	95,7	0,849	1491	2,40	1,0	5,3	130
ДА3-14-69-4У4	2000	237	95,7	0,849	1491	2,40	1,0	5,3	154
ДА3-14-79-4МУХЛ4	2500	292	95,8	0,860	1491	2,30	1,0	5,3	150
ДА3-14-79-4У4	2500	292	95,8	0,860	1491	2,30	1,0	5,2	170

Серия ДАЗО

ДАЗО 12-36-4МУ1	320	39,0	91,5	0,85	1485	2,4	1,1	5,5	21,3
ДАЗО 12-36-4	320	39,0	91,0	0,87	1483	2,4	0,9	5,5	21,3
ДАЗО 12-41-4МУ1	400	49,0	92,0	0,85	1485	2,5	1,2	5,7	23,8
ДАЗО 12-41-4	400	48,0	93,0	0,87	1483	2,5	1,0	5,7	23,8
ДАЗО 12-55-4МУ1	500	60,0	93,0	0,86	1487	2,8	1,5	7,2	30
ДАЗО 12-55-4	500	59,0	93,5	0,87	1485	2,9	1,2	6,5	30
ДАЗО 13-50-4МУ1	630	73,0	93,0	0,89	1490	3,0	1,0	6,5	52,5
ДАЗО 13-50-4	630	73,0	93,5	0,9	1490	3,0	1,0	6,5	52,5
ДАЗО 13-62-4МУ1	800	91,0	93,0	0,9	1490	2,9	1,0	6,5	65
ДАЗО 13-62-4	800	91,5	94,0	0,9	1490	2,9	1,0	6,5	65
ДАЗО 12-55-6МУ1	320	38,5	91,8	0,86	987	2,9	1,4	6,8	46,3
ДАЗО 12-55-6	320	38,5	92,0	0,87	989	3,0	1,1	6,8	46,3
ДАЗО 13-42-6ЛУ1	400	49,0	92,4	0,88	990	2,2	1,0	5,3	66,3
ДАЗО 13-42-6	400	47,5	92,5	0,88	935	2,2	0,9	5,3	66,3
ДАЗО 15-59-6У1	700	82	93	0,88	744	3,2	1,3	7,0	500
ДАЗО 15-59-8/10МУ1	900 500	107 64,5	92,5 91,5	0,87 0,81	744 595	2,9 2,6	1,0 1,0	6,4 5,9	500

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДАЗО 15-69-8/10У1	<u>800</u> 400	<u>94</u> 52	<u>92,5</u> 91,0	<u>0,9</u> 0,81	<u>743</u> 595	<u>2,6</u> 2,9	<u>0,9</u> 1,0	<u>5,9</u> 6,0	500
ДАЗО 15-41-10/12У1	<u>400</u> 230	<u>53</u> 35	<u>90,5</u> 88	<u>0,8</u> 0,71	<u>594</u> 495	<u>2,3</u> 2,8	<u>0,75</u> 1,0	<u>4,9</u> 5,2	300
ДАЗО 15-49-10/12У1	<u>500</u> 290	<u>65,0</u> 40,5	<u>91</u> 89,5	<u>0,8</u> 0,75	<u>594</u> 495	<u>2,5</u> 2,4	<u>0,8</u> 0,9	<u>5,2</u> 4,9	350
ДАЗО 15-49-10У1	500	62,5	93	0,82	594	2,8	1,1	6,3	350
ДАЗО 15-69-10У1	630	80	93	0,81	595	3,2	1,3	6,6	425
ДАЗО 15-69-10/12У1	<u>630</u> 370	<u>79</u> 52	<u>91,5</u> 90	<u>0,83</u> 0,75	<u>593</u> 495	<u>2,3</u> 2,5	<u>0,8</u> 1,0	<u>4,9</u> 5,0	425
ДАЗО 15-69-10/12У1	<u>630</u> 370	<u>78</u> 48,5	<u>92</u> 91	<u>0,8</u> 0,75	<u>596</u> 496	<u>3</u> 2,7	<u>0,95</u> 1,0	<u>5,7</u> 5,1	500
ДАЗО 15-69-10У1	800	102	93,5	0,8	595	3,2	1,3	7,0	500
ДАЗО 17-08-8	600	73,5	91	0,85	745	2,4	0,9	5,5	375
ДАЗО 17-09-8/10	<u>300</u> 150	<u>40,5</u> 27,5	<u>87,7</u> 83,3	<u>0,815</u> 0,63	<u>746</u> 598	<u>2,95</u> 4,3	<u>1,15</u> 1,85	<u>6,1</u> 7,1	425
ДАЗО 17-12-8/10	<u>500</u> 250	<u>63</u> 39,5	<u>89,3</u> 86,7	<u>0,86</u> 0,71	<u>745</u> 597	<u>2,7</u> 3,7	<u>0,96</u> 1,5	<u>5,9</u> 6,65	500
ДАЗО 17-12-8/10А	<u>650</u> 330	<u>84,5</u> 49,0	<u>90</u> 89	<u>0,8</u> 0,72	<u>745</u> 597	<u>2,8</u> 3,0	<u>1,1</u> 1,2	<u>5,9</u> 5,7	475
ДАЗО 18-10-10/12	<u>600</u> 360	<u>84</u> 52	<u>89,4</u> 88	<u>0,77</u> 0,76	<u>595</u> 495	<u>2,7</u> 2,6	<u>1,0</u> 1,15	<u>5,4</u> 5,0	350
ДАЗО 19-16-8/10У1	<u>1100</u> 625	<u>160</u> 92	<u>85</u> 85,5	<u>0,78</u> 0,77	<u>748</u> 598	<u>4,6</u> 3,6	<u>2,0</u> 1,6	<u>11</u> 8,5	3500
ДАЗО 19-10-10У1	1600	200	93	0,82	596	2,5	0,85	5,3	2125
ДАЗО 19-14-10/12У1	<u>1500</u> 850	<u>204</u> 118	<u>91</u> 90,5	<u>0,77</u> 0,76	<u>599</u> 497	<u>2,6</u> 2,5	<u>0,9</u> 1,0	<u>6,1</u> 5,5	3000
ДАЗО 19-14-10/12У1	<u>620</u> 360	<u>99</u> 64	<u>84,4</u> 83,4	<u>0,72</u> 0,65	<u>599</u> 497	<u>4,2</u> 4,4	<u>1,8</u> 2,3	<u>9,2</u> 8,0	3000
ДАЗО 19-15-10У1	2500	296	94	0,86	597	2,25	0,8	5,0	3500
ДАЗО 19-14-12/16У1	<u>1400</u> 600	<u>180</u> 90	<u>92,8</u> 91,0	<u>0,8</u> 0,7	<u>497</u> 373	<u>3,0</u> 2,6	<u>1,15</u> 1,1	<u>5,9</u> 4,7	3000
ДАЗО 19-10-12/16У1	<u>900</u> 400	<u>126</u> 61,5	<u>91,4</u> 89,5	<u>0,75</u> 0,7	<u>744</u> 595	<u>2,9</u> 2,6	<u>1,0</u> 1,0	<u>6,4</u> 5,9	500
ДАЗО 19-10-12У1	1700	216	94	0,8	496	2,25	0,9	4,5	2125
ДАЗО 19-12-12У1	2100	260,5	94,3	0,8	496	2,3	0,9	5,5	2500
ДАЗО 13-65-12МУ1	200	28,0	90,3	0,76	492	2,3	1,2	4,7	110
ДАЗО 13-65-12	200	27,5	91,0	0,77	492	2,3	1,0	4,7	110

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДАЗО I3-70-I2МУI	250	35,0	91,3	0,76	492	2,5	1,3	5,1	136,3
ДАЗО I3-70-I2	250	34,0	91,5	0,77	493	2,5	1,0	5,1	136,3
Серия ДАЗО2									
ДАЗО2 I6-59-4УI	I250	I48,5	94,0	0,85	I492	2,4	I,05	7,1	I50
ДАЗО2 I6-44-6/8УI	400	50,0	90,5	0,84	99I	2,5	0,7	5,8	II2,5
	I70	26,5	88,5	0,69	745	3,5	I,0	6,8	
ДАЗО2 I6-44-8/I0УI	250	34,5	90,0	0,77	744	2,8	0,8	6,1	II2,5
	I25	26,0	86,4	0,53	597	5,0	I,6	7,2	
ДАЗО2 I6-54-8УI	630	75,5	93,5	0,85	740	2,0	0,75	4,8	I37,5
ДАЗО2 I6-54-8/I0УI	320	41,5	91,0	0,81	743	2,3	0,65	5,5	I37,5
	I60	25,0	89,0	0,68	595	3,2	I,1	6,5	
ДАЗО2 I6-54-I0/I2УI	250	36,5	90,0	0,73	594	2,4	0,8	5,5	I37,5
	I45	33,5	86,8	0,48	497	4,0	I,4	5,8	
ДАЗО2 I6-64-6УI	800	92,0	92,0	0,88	988	2,3	0,75	5,6	I62,5
ДАЗО2 I6-64-8/I0УI	400	50,5	91,5	0,82	742	2,1	0,6	5,0	I62,5
	200	29,0	89,7	0,73	595	2,7	0,9	6,0	
ДАЗО2 I6-64-I0/I2УI	320	43,5	91,0	0,76	593	2,1	0,65	4,7	I62,5
	I90	32,5	89,5	0,68	495	2,6	0,9	5,2	
ДАЗО2 I7-39-8/I0УI	500	61,5	91,0	0,85	741	2,1	0,65	5,2	287,5
	250	35,0	89,5	0,76	594	2,6	0,85	6,1	
ДАЗО2 I7-39-I0/I2УI	400	52,0	91,0	0,80	592	2,1	0,65	4,9	287,5
	230	39,0	89,0	0,63	496	3,2	I,1	6,2	
ДАЗО2 I7-44-8/I0УI	630	76,5	91,5	0,85	741	2,1	0,65	5,2	3I2,5
	320	44,0	90,5	0,77	594	2,7	0,9	6,1	
ДАЗО2 I7-44-8УI	800	96	93,5	0,85	744	2,7	I,05	6,8	3I2,5
ДАЗО2 I7-44-I0/I2УI	500	65,0	91,5	0,80	593	2,2	0,7	5,1	3I2,5
	290	43,5	90,0	0,7	495	2,6	0,9	5,7	
ДАЗО2 I7-44-I0УI	500	62	93,0	0,82	592	2,3	0,95	5,8	3I2,5
ДАЗО2 I7-54-6/8УI	800	94,5	91,2	0,88	990	2,5	0,7	5,7	387,5
	400	51,5	90,3	0,82	745	3,3	I,0	7,1	
ДАЗО2 I7-54-8УI	800	93,0	93,5	0,87	744	2,6	I,05	6,8	387,5
ДАЗО2 I7-54-I0/I2УI	630	80,5	92,5	0,80	593	2,3	0,75	5,2	387,5
	370	53,0	91,0	0,73	495	2,5	0,95	5,3	
ДАЗО2 I7-54-I0УI	630	81,0	93,5	0,79	594	3,0	I,3	7,1	387,5
ДАЗО2 I7-64-8/I0УI	800	96,0	92,5	0,86	743	2,5	0,85	6,4	462,5
	400	53,0	91,5	0,79	595	2,8	0,95	6,7	
ДАЗО2 I7-64-I0/I2УI	630	79,5	92,0	0,81	594	2,3	0,8	5,7	462,5
	370	51,5	91,0	0,75	495	2,5	0,95	5,8	

Продсложение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДАЗО4-450УК-8У1 ДАЗО4-14-49-8У1	400	50,5	94,0	0,81	741	2,4	1,2	6,0	43 45
ДАЗО4-450У-8У1 ДАЗО4-14-59-8У1	500	62,0	94,3	0,82	741	2,4	1,2	6,0	50 52,5
ДАЗО4-560У-8У1	630	81,0	94,7	0,790	744	2,2	1,3	6,0	87
ДАЗО4-560УК-8У1	800	101,1	95,0	0,802	744	2,2	1,3	6,0	105
ДАЗО4-560У-8У1	1000	126,5	95,3	0,798	743	2,2	1,3	6,0	120
ДАЗО4-400У-10У1	200	28,0	92,5	0,75	589	2,3	1,3	6,0	23
ДАЗО4-450У-10У1	250	33,0	92,9	0,79	589	2,3	1,3	6,0	38
ДАЗО4-450У-10У1	315	40,5	93,3	0,8	589	2,3	1,3	6,0	43
ДАЗО4-560УК-10У	400	52,5	93,6	0,783	595	2,2	1,3	6,0	75
ДАЗО4-560У-10У1	500	65,5	94,1	0,781	595	2,2	1,3	6,0	87
ДАЗО4-560УК-10У1	630	81,0	94,6	0,791	595	2,2	1,3	6,0	105
ДАЗО4-560У-10У1	800	101,5	94,9	0,799	594	2,2	1,3	6,0	120
ДАЗО4-450У-12У1	200	28,0	92,2	0,75	491	2,3	1,3	5,5	41
ДАЗО4-450У-12У1	250	34,0	92,7	0,76	491	2,3	1,3	5,5	46
ДАЗО4-560УК-12У	315	44,0	92,9	0,742	495	2,2	1,3	5,5	75
ДАЗО4-560У-12У1	400	55,0	93,4	0,749	495	2,2	1,3	5,5	87
ДАЗО4-560УК-12У	500	68,5	93,9	0,748	495	2,2	1,3	5,5	105
ДАЗО4-560У-12У1	630	85,5	94,4	0,751	494	2,2	1,3	5,5	120

Серия ДАМСО

ДАМСО 147-4	360	43	91,5	0,880	1485	2,5	1,2	6,0	20,0
ДАМСО 148-4	440	52	92,5	0,880	1485	2,4	1,4	5,7	22,5
ДАМСО 1410-4	500	59	92,5	0,882	1485	2,2	1,2	6,0	27,5
ДАМСО 158-4	680	79	93,0	0,891	1485	1,9	1,0	4,8	42,5
ДАМСО 1510-4	850	98	93,5	0,893	1485	2,0	1,0	5,3	52,5
ДАМСО 1512-4	1050	120	94,0	0,896	1485	2,0	1,0	5,0	62,5
ДАМСО 148-6	310	39	91,0	0,841	985	2,6	1,2	6,0	35,0
ДАМСО 1410-6	380	46	92,0	0,864	985	2,5	1,1	5,8	42,5
ДАМСО 157-6	460	55	92,0	0,875	985	1,9	1,0	4,7	55,0
ДАМСО 158-6	550	66	93,0	0,862	985	2,0	1,0	5,0	62,5
ДАМСО 1510-6	650	77	93,0	0,873	985	2,4	1,2	5,8	77,5
ДАМСО 1512-6	780	92	93,5	0,873	985	2,4	1,2	5,9	92,5
ДАМСО 147-8	200	27	89,5	0,796	740	1,9	1,0	4,6	30,0
ДАМСО 148-8	240	32	90,0	0,802	740	2,1	1,0	4,6	35,0
ДАМСО 1410-8	280	37	91,0	0,800	740	2,3	1,0	5,2	42,5
ДАМСО 157-8	320	41	91,0	0,825	740	1,9	1,0	4,4	60,0
ДАМСО 158-8	380	47	91,5	0,850	740	2,0	1,1	4,8	70,0
ДАМСО 1510-8	475	58	92,0	0,857	740	1,9	1,1	4,6	85,0
ДАМСО 1512-8	570	70	92,5	0,847	740	2,1	1,1	5,0	102,5
ДАМСО 1410-10	200	27	89,0	0,801	590	2,5	1,1	5,6	52,5
ДАМСО 157-10	260	35	90,0	0,794	590	2,0	1,0	4,5	70,0
ДАМСО 158-10	310	40	90,5	0,824	590	1,8	1,0	4,2	80,0
ДАМСО 1510-10	400	51	91,5	0,825	590	1,9	1,0	4,5	100,0

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДАМСО I5I2-I0	480	6I	92,0	0,823	590	2,1	1,1	4,8	II7,5
ДАМСО I5I0-I2	280	38	90,5	0,783	490	1,9	1,0	4,3	100,0
ДАМСО I5I2-I2	330	45	91,0	0,775	490	2,0	1,0	4,4	II7,5
Серия ДАП									
ДАП-I4-49-4	1250	147	94,3	0,868	1490	2,2	0,9	4,9	120
ДАП-I4-49-474	1250	147	95,3	0,859	1490	2,2	0,9	4,9	120
ДАП-I4-59-4	1600	188	94,8	0,864	1490	2,2	0,9	5,0	137,5
ДАП-I4-59-474	1600	188	95,3	0,859	1490	2,2	0,9	5,0	138
ДАП-I4-69-4	2000	237	95,2	0,853	1491	2,4	1,0	5,3	154
ДАП-I4-69-474	2000	237	95,7	0,849	1491	2,4	1,0	5,3	154
ДАП-I4-79-4	2500	292	95,3	0,864	1481	2,3	1,0	5,2	170
ДАП-I4-79-474	2500	292	95,8	0,860	1491	2,3	1,0	5,2	170
Серия ДВДА									
ДВДА I73/29-I0-I2	<u>500</u> 315	<u>66</u> 46	<u>91</u> 90	<u>0,801</u> 0,732	<u>594</u> 495	<u>2,5</u> 3,5	<u>0,8</u> 1,2	<u>6,0</u> 6,5	650
ДВДА 215/49-I0-I2	<u>1600</u> 1000	<u>190</u> 120	<u>93</u> 93,2	<u>0,868</u> 0,86	<u>595</u> 496	<u>2,1</u> 2,1	<u>0,6</u> 0,7	<u>5,5</u> 5,5	2200
ДВДА I73/49-I2-I6	<u>800</u> 400	<u>99</u> 60	<u>92,9</u> 90,5	<u>0,837</u> 0,709	<u>494</u> 372	<u>2,2</u> 2,1	<u>0,9</u> 1,0	<u>5,0</u> 4,8	950
ДВДА 215/39-I2-I6	<u>1000</u> 500	<u>122</u> 67	<u>92,8</u> 91,2	<u>0,85</u> 0,787	<u>494</u> 371	<u>2,1</u> 2,2	<u>0,7</u> 0,8	<u>5,0</u> 4,0	1750
ДВДА 215/64-I6-20	<u>1400</u> 710	<u>188</u> 109	<u>93,5</u> 91,5	<u>0,766</u> 0,675	<u>371</u> 298	<u>2,0</u> 2,1	<u>0,65</u> 0,75	<u>4,5</u> 4,0	2750
ДВДА 260/99-I6-20	<u>5000</u> 2500	<u>658</u> 350	<u>95,8</u> 95,1	<u>0,763</u> 0,723	<u>372</u> 297	<u>2,04</u> 1,89	<u>0,73</u> 0,76	<u>4,3</u> 3,84	10000
ДВДА 260/79-20-24	<u>3150</u> 1600	<u>452</u> 253	<u>94,65</u> 93,85	<u>0,708</u> 0,648	<u>297</u> 247	<u>1,88</u> 2,04	<u>0,58</u> 0,68	<u>3,6</u> 3,54	8500
ДВДА 260/74-I4-I6K74	<u>3150</u> 2500	<u>400</u> 342	<u>94,2</u> 94,0	<u>0,804</u> 0,748	<u>425</u> 372	<u>2,1</u> 2,1	<u>0,7</u> 0,8	<u>6,0</u> 6,0	8000
ДВДА 260/99-20-2474	<u>4000</u> 2500	<u>580</u> 387	<u>95,0</u> 94,28	<u>0,699</u> 0,659	<u>297</u> 247	<u>2,08</u> 1,89	<u>0,63</u> 0,6	<u>3,8</u> 3,4	10500
Серия ДВДА2									
ДВДА2 II8/56-I0-I2УХЛ3	<u>500</u> 315	<u>66</u> 51	<u>93,4</u> 91,1	<u>0,78</u> 0,652	<u>595</u> 495	<u>3,0</u> 2,5	<u>0,9</u> 0,8	<u>6,0</u> 5,0	285
ДВДА2 I73/59-I0-I2УХЛ3	<u>1600</u> 1000	<u>195</u> 130	<u>94,2</u> 93	<u>0,888</u> 0,796	<u>595</u> 496	<u>3,0</u> 2,5	<u>0,9</u> 0,7	<u>6,0</u> 5	250
ДВДА2 I43/56-I2-I6	<u>800</u> 400	<u>106</u> 58	<u>93,8</u> 91,8	<u>0,774</u> 0,723	<u>496</u> 370	<u>2,8</u> 2,5	<u>1,2</u> 1,2	<u>5,3</u> 4,6	500
ДВДА2 I73/46-I2-I6У3	<u>1000</u> 500	<u>128</u> 75	<u>94</u> 92	<u>0,8</u> 0,697	<u>495</u> 371	<u>2,5</u> 2,2	<u>0,8</u> 0,6	<u>6,0</u> 4,5	225

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы ПЗ.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м ²
ДЭДА2 235/89-20-24УХЛЗ	<u>3150</u> 1600	<u>416</u> 288	<u>94,7</u> 93,8	<u>0,769</u> 0,58	<u>297</u> 248	<u>2,2</u> 3,0	<u>0,9</u> 1,0	<u>4,8</u> 5,5	690
ДЭДА2 235/104-20-24УХЛЗ	<u>4000</u> 2500	<u>547</u> 432	<u>95</u> 94,1	<u>0,741</u> 0,592	<u>297</u> 248	<u>2,2</u> 3,0	<u>0,7</u> 1,1	<u>4,8</u> 5,0	7800
Серия ДДП									
ДДП 116/49-4	1200	144	93,6	0,857	1484	1,70	0,60	4,0	112,5
ДДП 140/34-6	1000	116	93,3	0,889	987	1,70	0,60	4,0	250
ДДП 140/49-6	1350	156	94,0	0,886	988	1,90	0,75	4,5	325
ДДП 140/39-4	800	97	92,5	0,858	741	1,93	0,85	4,2	0
ДДП 140/34-8	800	97	92,8	0,855	743	1,90	0,65	4,5	300
ДДП 140/49-10	800	96	92,3	0,869	590	1,60	0,65	4,0	550

Т а б л и ц а ПЗ.2

Технические данные синхронных электродвигателей серии СТД на напряжение 6, 10 кВ*

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$S_{ном}$ кВ·А	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
СТД-630-2	630	735	<u>6000</u> 10000	<u>71</u> 42	<u>96,1</u> 96,0	<u>1,61</u> 1,65	2,03	5,66	0,013
СТД-800-2	800	935	<u>6000</u> 10000	<u>90</u> 54	<u>96,3</u> 96,1	<u>1,66</u> 1,63	2,01	5,58	0,014
СТД-1000-2	1000	1160	<u>6000</u> 10000	<u>112</u> 67	<u>96,5</u> 96,2	<u>1,66</u> 1,74	2,41	6,70	0,015
СТД-1250-2	1250	1450	<u>6000</u> 10000	<u>139</u> 84	<u>96,8</u> 96,5	<u>1,67</u> 1,67	2,07	6,48	0,025
СТД-1600-2	1600	1850	<u>6000</u> 10000	<u>178</u> 107	<u>96,9</u> 96,6	<u>1,71</u> 1,66	2,16	6,79	0,028
СТД-2000-2	2000	2300	<u>6000</u> 10000	<u>221</u> 133	<u>96,9</u> 96,8	<u>1,65</u> 1,61	2,23	6,91	0,030
СТД-2500-2	2500	2870	<u>6000</u> 10000	<u>276</u> 166	<u>97,4</u> 97,2	<u>1,81</u> 1,71	1,75	6,16	0,057
СТД-3200-2	3200	3680	<u>6000</u> 10000	<u>352</u> 213	<u>97,6</u> 97,3	<u>1,74</u> 1,74	1,85	6,63	0,064
СТД-4000-2	4000	4560	<u>6000</u> 10000	<u>438</u> 265	<u>97,5</u> 97,4	<u>1,65</u> 1,72	1,92	6,69	0,069

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$S_{ном}$ кВ·А	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} 10^3$ кг·м ²
СТД-5000-2	5000	5740	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{553}{332}$	$\frac{97,6}{97,5}$	$\frac{1,65}{1,65}$	2,07	7,22	0,080
СТД-6300-2	6300	7230	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{696}{417}$	$\frac{97,5}{97,6}$	$\frac{1,63}{1,63}$	1,62	6,28	0,172
СТД-8000-2	8000	9130	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{880}{527}$	$\frac{97,9}{97,8}$	$\frac{1,61}{1,61}$	1,76	6,93	0,191
СТД-10000-2	10000	11400	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{1098}{658}$	$\frac{97,8}{97,9}$	$\frac{1,73}{1,61}$	2,06	8,10	0,227
СТД-12500-2	12500	14200	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{1368}{820}$	$\frac{98,0}{97,6}$	$\frac{1,74}{1,65}$	2,24	8,86	0,260

*Номинальная частота вращения 3000 об/мин.

Т а б л и ц а ПЗ.3

Технические данные синхронных электродвигателей серия СТМ

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} 10^3$ кг·м ²
СТМ-800-2	800	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{91}{55}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{94,14}{93,76}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,68}{1,84}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{6,9}{7,3}$	$\frac{0,045}{0,045}$
СТМ-1500-2	1500	6000	168	0,9	95,36	3000	1,64	2,4	6,7	0,06
СТМ-2000-2	2000	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{225}{135}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{95,26}{95,42}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,65}{1,8}$	$\frac{2,0}{2,15}$	$\frac{6,65}{7,1}$	$\frac{0,09}{0,09}$
СТМ-3500-2	2500	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{279}{167}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{95,83}{95,87}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,9}{1,92}$	$\frac{3,1}{3,1}$	$\frac{11,0}{11,0}$	$\frac{0,12}{0,12}$
	3500	$\frac{6000}{10000}$	$\frac{390}{235}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{96,4}{96,29}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,63}{1,73}$	$\frac{2,2}{2,35}$	$\frac{7,85}{8,0}$	$\frac{0,12}{0,12}$
СТМ-4000-2	4000	6000	445	0,9	96,72	3000	1,72	2,4	7,6	0,15
		$\frac{6000}{10000}$	$\frac{660}{268}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{96,82}{95,24}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,77}{2,34}$	$\frac{2,4}{2,4}$	$\frac{8,3}{8,3}$	$\frac{0,32}{0,32}$
СТМ-6000-2	5000	10000	335	0,9	95,72	3000	2,1	2,4	10,1	0,32
		$\frac{6000}{10000}$	$\frac{992}{595}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{97,48}{97,27}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,64}{1,72}$	$\frac{3,0}{3,0}$	$\frac{9,0}{9,0}$	$\frac{0,41}{0,41}$
СТМ-9000-2	9000	10000	595	0,9	97,27	3000	1,72	3,0	9,0	0,41
		$\frac{6000}{10000}$	$\frac{1320}{791}$	$\frac{0,9}{0,9}$	$\frac{97,43}{97,25}$	$\frac{3000}{3000}$	$\frac{1,61}{1,52}$	$\frac{2,8}{3,0}$	$\frac{9,0}{8,3}$	$\frac{0,65}{0,65}$

Т а б л и ц а ПЗ.4

Технические данные синхронных электродвигателей серии ВДС

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{зд} 10^3$ кг·м ²
ВДС-173/29-10	800	6000	92,5	0,9	92,0	600	2,0	0,3	4,5	0,8
ВДС-173/44-10	1600	6000	182	0,9	94,2	600	2,0	0,35	4,5	1,05
ВДС-213/54-10	3200	6000	360	0,9	94	600	1,9	0,95	5,9	2,7
ВДС-173/34-12	1000	6000	113	0,9	93,4	500	1,9	0,39	4,5	0,9
ВДС-213/24-12	1000	10000	70	0,9	91,9	500	2,0	0,3	4,2	1,42
ВДС-173/41-12	1250	6000	143	0,9	93,6	500	2,2	0,35	5,1	1,0
ВДС-213/29-12	1250	10000	86	0,9	92,4	500	2,0	0,37	5,2	1,37
ВДС-213/34-12	1600	6000	180	0,9	95	500	1,8	0,35	4,8	1,62
ВДС-213/54-16	2000	6000	226	0,9	95,2	375	2,0	0,4	5,3	4,5
ВДС-325/44-18	5000	6000	566	0,9	94,7	333	1,7	0,3	4,5	1,57
ВДС-213/24-20	800	6000	93	0,9	92,2	300	2,2	0,4	4,6	1,5
ВДС-325/29-24	2000	10000	139	0,9	92,7	250	2,7	0,4	5,0	10,7
ВДС-325/49-24	4000	10000	266	0,9	95,4	250	2,1	0,45	4,3	2,07
ВДС-325/49-16	5000	10000	340	0,9	94,5	375	2,0	0,37	4,2	12,5
ВДС-325/69-16	8000	10000	540	0,9	95,5	375	1,9	0,43	4,2	26,5

Т а б л и ц а ПЗ.5

Технические данные синхронных электродвигателей серии СДК(П)

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{зд} 10^3$ кг·м ²
СДК(П) -14-26-10	320	6000	37	0,9	92,4	600	2,2	1,1	5,5	0,13
СДК(П) -14-31-10	400	6000	46	0,9	92,8	600	2,3	1,2	5,9	0,16
СДК(П) -14-36-10	500	6000	57,5	0,9	93,4	600	2,0	1,0	6,2	0,17
СДК(П) -14-44-10	630	6000	71,5	0,9	93,8	600	2,0	0,9	5,4	0,21
СДК(П) -14-56-10	800	6000	90,5	0,9	94,4	600	2,0	1,0	5,8	0,26
СДК(П) -15-39-10	1000	6000	113	0,9	94,6	600	2,1	1,1	5,9	0,42
СДК(П) -15-49-10	1250	6000	141	0,9	95,1	600	2,0	1,1	5,9	0,5
СДК(П) -14-31-12	320	6000	37	0,9	92,2	500	2,3	1,0	6,0	0,12
СДК(П) -14-36-12	400	6000	46	0,9	92,6	500	2,0	0,9	5,8	0,137
СДК(П) -14-44-12	500	6000	57,5	0,9	93,4	500	2,0	0,9	5,5	0,16
СДК(П) -15-34-12	630	6000	72,5	0,9	93,6	500	2,0	1,0	4,8	0,31
СДК(П) -15-39-12	800	6000	91	0,9	94,0	500	2,1	1,0	5,0	0,35
СДК(П) -15-49-12	1000	6000	113	0,9	94,8	500	2,0	1,0	5,3	0,45
СДК(П) -16-41-12	1250	6000	140	0,9	94,8	500	2,0	1,1	5,5	1,27
СДК(П) -16-51-12	1600	6000	180	0,9	95,3	500	2,0	1,0	5,2	1,53
СДК(П) -16-64-12	2000	6000	224	0,9	95,7	500	2,0	1,0	5,4	1,86
СДК(П) -17-49-12	2500	6000	279	0,9	95,7	500	2,0	1,2	5,9	3,7
СДК(П) -17-59-12	3200	6000	357	0,9	96,2	500	2,0	1,2	5,8	4,42
СДК(П) -17-76-12	4000	6000	446	0,9	96,5	500	2,0	1,3	6,0	5,4

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы П 3.5

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
СДК(П) -I6-34-I6	500	6000	57,5	0,9	92,6	375	2,0	0,85	5,2	0,337
СДК(П) -I6-4I-I6	630	6000	72,5	0,9	93,2	375	2,0	0,85	5,2	0,4
СДК(П) -I6-34-I6	800	6000	91,5	0,9	94,6	375	2,1	0,85	5,5	0,81
СДК(П) -I6-4I-I6	1000	6000	114	0,9	94,0	375	2,1	0,85	5,5	0,91
СДК(П) -I6-5I-I6	1250	6000	141	0,9	94,6	375	2,1	0,9	5,7	1,21
СДК(П) -I7-4I-I6	1600	6000	181	0,9	94,8	375	2,2	1,2	5,9	2,2
СДК(П) -I7-49-I6	2000	6000	225	0,9	95,2	375	2,0	1,1	5,2	2,61
СДК(П) -I7-59-I6	2500	6000	281	0,9	95,6	375	2,0	1,2	5,5	3,15
СДК(П) -I8-49-I6	3200	6000	358	0,9	95,6	375	2,0	0,9	5,7	8,62
СДК(П) -I8-6I-I6	4000	6000	446	0,9	96,0	375	2,0	0,95	5,8	10,35
СДК(П) -I8-76-I6	5000	6000	553	0,9	96,3	375	2,1	1,0	6,5	12,47
СДК(П) -I8-9I-I6	6300	6000	698	0,9	96,5	375	2,0	0,9	6,0	14,5
СДК(П) -I7-46-20	1600	6000	181	0,9	94,6	300	2,1	0,85	5,5	2,8
СДК(П) -I8-39-20	2000	6000	225	0,9	95,0	300	2,1	0,85	5,3	4,5
СДК(П) -I8-49-20	2500	6000	281	0,9	95,3	300	2,2	0,95	5,8	5,47
СДК(П) -I8-6I-20	3200	6000	359	0,9	95,8	300	2,2	1,0	6,1	6,7
СДК(П) -I8-74-20	4000	6000	447	0,9	96,2	300	2,2	0,95	6,3	8
СДК(П) -I9-54-20	5000	6000	553	0,9	96,2	300	2,0	0,7	5,2	17,66
СДК(П) -I9-69-20	6300	6000	700	0,9	96,4	300	2,1	0,8	6,0	21,2
СДК(П) -I8-49-24	2000	6000	220	0,9	94,4	250	2,2	1,0	6,3	6,12
СДК(П) -I8-6I-24	2500	6000	282	0,9	95,1	250	2,1	1,0	6,2	7,5
СДК(П) -I9-46-24	3200	6000	360	0,9	95,3	250	2,0	0,7	5,1	14,85
СДК(П) -I9-54-24	4000	6000	447	0,9	95,6	250	2,1	0,7	5,6	16,6
СДК(П) -I9-69-24	5000	6000	553	0,9	95,8	250	2,0	0,8	5,2	20,3
СДК(П) -I9-84-24	6300	6000	702	0,9	96,2	250	2,0	0,8	5,6	24,45

Т а б л и ц а П 3.6

Технические данные синхронных электродвигателей серий ДСМ, ДСМП, ДСП, ДСК, ДСПК

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
ДСМ-213-29-24 ДСМП-213/29-24	600	<u>6000</u> 3000	<u>70</u> 140	0,9	91,5	250	2,4	2,0	7,5	1,75
ДСМ-213/24-32	300	<u>6000</u> 3000	<u>35</u> 70	0,9	87,8	187	3,1	1,5	7,3	1,5
ДСМ-213/34-32	380	<u>6000</u> 3000	<u>50</u> 100	0,8	88,3	187	3,2	2,0	6,5	2,0
ДСМ-260/44-32	1250	<u>6000</u> 3000	<u>143</u> 286	0,9	93,6	187	2,4	1,0	6,0	5,0
ДСМ-260/39-36 ДСМП-260/39-36	900	<u>6000</u> 3000	<u>103</u> 206	0,9	92,6	167	2,6	1,6	7,3	4,75

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
ЦМ-260/44-36	1100	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{125}{250}$	0,9	94,0	167	2,4	1,5	6,7	5,25
ДСП-116/49-4	1300	6000	144	0,9	95	1500	1,5	0,9	4	0,087
ДСП-140/74-4	2000	6000	225	0,9	95	1500	1,8	2,2	7,5	0,25
ДСП-140/74-4	3000	6000	336	0,9	96	1500	1,6	1,6	5,5	0,25
ДСЖ-260/10-40	200	380	395	0,9	87,4	150	2,36	0,605	4,07	1,75
ДСЖП-213/20-32	250	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{30,3}{60,6}$	0,9	88,4	187	2,26	0,63	4,48	3,25
ДСЖ-173/16-16	300	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{40,5}{81}$	0,8	89	375	2,54	0,84	4,35	0,4
ДСЖ-260/15-36	320	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{39}{78}$	0,9	87	167	2,5	0,58	5,0	3,7
ДСЖП-260/15-36	320	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{39}{78}$	0,9	87	167	2,38	0,577	5,15	6,0
ДСЖ-260/24-36	625	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{71,5}{143}$	0,9	90,95	167	2,0	0,5	4,5	7,0
ДСЖП-260/24-36	625	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{71,5}{143}$	0,9	90,95	167	2,0	0,5	4,5	7,0
ДСЖП-260/24-36А	630	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{74}{148}$	0,9	90,95	167	2	0,5	4,5	8,75
ДСЖ-260/20-32	630	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{74}{148}$	0,9	90,95	187	2,14	0,498	4,3	6,5
ДСЖП-260/20-32	630	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{74}{148}$	0,9	90,95	187	2,1	0,45	4,4	4,5
ДСЖ-260/29-36	840	$\frac{6000}{3000}$	$\frac{98}{196}$	0,9	91	167	2,02	0,448	3,58	4,5

Т а б л и ц а П 3.7

Технические характеристики синхронных электродвигателей серий ДСК30, ДСКЗ, ВСДН(СДВ)

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$T_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
ДСК30-260/20-32	630	6000	71,5	0,9	90,95	187	2,14	0,5	4,3	6,5
ДСКЗ-260/29-32	800	6000	94	0,9	92,85	187	1,97	0,428	4,07	6,5
ДСКЗ-260/15-36	320	6000	39	0,9	88,68	167	2,71	0,6	5,0	6,0
ДСКЗ-260/20-36	420	6000	50,3	0,9	91,1	167	2,56	0,61	5,0	6,5
ДСКЗ-260/29-36	840	6000	98	0,9	92,1	167	2,02	0,448	3,58	4,62
ВСДН(СДВ)-15-26-8	800	6000	90	0,9	93,6	750	2,1	0,34	4,5	0,25
ВСДН(СДВ)-15-31-8	1000	6000	111	0,9	94,3	750	2,2	0,36	5,1	0,25

Тип электро- двигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м ²
ВСДН(СДВ)-16-3I-8	1250	6000	140	0,9	93,8	750	1,7	0,36	4,2	0,67
ВСДН(СДВ)-16-36-8	1600	6000	179	0,9	94,5	750	1,7	0,36	4,3	0,75
ВСДН(СДВ)-15-3I-10	800	6000	90	0,9	93,6	600	2,0	0,4	4,5	0,3
ВСДН(СДВ)-16-3I-10	1000	6000	112	0,9	94,3	600	2,1	0,4	5,2	0,67
ВСДН(СДВ)-16-36-10	1250	6000	142	0,9	94,7	600	2,0	0,4	5,2	0,75
ВСДН(СДВ)-16-44-10	1600	6000	179	0,9	95,0	600	2,0	0,38	5,2	0,87
ВСДН(СДВ)-17-3I-10	2000	6000	221	0,9	95,2	600	2,1	0,4	5,0	1,5
ВСДН(СДВ)-17-39-10	2500	6000	277	0,9	95,4	600	2,2	0,4	5,7	1,87
ВСДН(СДВ)-17-49-10	3200	6000	352	0,9	96,0	600	2,1	0,4	5,4	2,37
ВСДН(СДВ)-16-3I-12	800	6000	90	0,9	93,5	500	2,4	0,5	5,9	0,61
ВСДН(СДВ)-16-36-12	1000	6000	111	0,9	94,2	500	2,2	0,4	5,5	0,8
ВСДН(СДВ)-16-41-12	1250	6000	140	0,9	94,7	500	2,2	0,45	5,8	0,9
ВСДН(СДВ)-16-51-12	1600	6000	178	0,9	95,2	500	2,0	0,37	5,2	1,1
ВСДН(СДВ)-17-39-12	2000	6000	221	0,9	95,4	500	2,4	0,5	6,2	1,87
ВСДН(СДВ)-17-49-12	2500	6000	276	0,9	95,8	500	2,0	0,4	5,9	2,5
ВСДН(СДВ)-17-59-12	3200	6000	353	0,9	96,4	500	2,0	0,4	5,4	2,87
ВСДН(СДВ)-16-51-16	1250	6000	142	0,9	94,6	375	2,3	0,5	5,7	1,1
ВСДН(СДВ)-17-39-16	1600	6000	179	0,9	94,6	375	2,3	0,3	5,0	1,7
ВСДН(СДВ)-17-49-16	2000	6000	225	0,9	95,7	375	2,0	0,3	5,3	2,37
ВСДН(СДВ)-17-59-16	2500	6000	280	0,9	96,1	375	2,5	0,5	6,1	2,7
ВСДН(СДВ)-18-49-16	3200	6000	358	0,9	95,8	375	2,1	0,4	5,6	4,0

Т а б л и ц а ПЗ.8

Пусковые характеристики синхронных электродвигателей
 $\left(\frac{I_{пуск}}{I_n} = I_n(s) - \text{верхняя строка}; \quad \frac{M_n}{M_n} = m_n(s) - \text{нижняя строка} \right)$

Тип электро- двигателя	Скольжение, отн.ед.								
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
СТД-630-2	5,66	5,39	5,04	4,80	4,52	3,60	2,73	2,00	1,38
	2,03	2,06	2,08	2,08	2,07	1,91	1,59	1,19	0,745
СТД-800-2	5,58	5,32	4,96	4,78	4,44	3,54	2,67	1,94	1,31
	2,01	2,05	2,07	2,06	2,06	1,90	1,59	1,18	0,75
СТД-1000-2	6,70	6,37	5,93	5,65	5,30	4,22	3,18	2,28	1,49
	2,41	2,46	2,49	2,49	2,48	2,30	1,93	1,45	0,889
СТД-1250-2	6,48	6,22	5,85	5,61	5,31	4,34	3,37	2,48	1,65
	2,07	2,14	2,20	2,23	2,24	2,17	1,91	1,50	0,954
СТД-1600-2	6,79	6,51	6,12	5,87	5,55	4,53	3,51	2,57	1,67
	2,16	2,24	2,32	2,35	2,36	2,29	2,02	1,60	1,01
СТД-2000-2	6,91	6,62	6,21	5,94	5,61	4,55	3,51	2,55	1,63
	2,23	2,32	2,40	2,43	2,44	2,35	2,07	1,63	1,02

Продолжение таблицы ПЗ.8

Тип электро- двигателя	Скольжение отн.ед.								
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
СТД-2500-2	6,16 1,75	5,94 1,84	5,64 1,93	5,43 1,97	5,17 2,00	4,31 1,97	3,43 1,82	2,50 1,50	1,74 0,997
СТД-3200-2	6,63 1,85	6,40 1,95	6,07 2,07	5,85 2,12	5,56 2,16	4,63 2,17	3,68 1,99	2,77 1,65	1,82 1,09
СТД-4000-2	6,69 1,92	6,45 2,03	6,11 2,14	5,88 2,20	5,58 2,24	4,60 2,23	3,52 2,02	2,71 1,66	1,75 1,08
СТД-5000-2	7,22 2,07	6,96 2,20	6,59 2,35	6,33 2,41	6,00 2,47	4,90 2,45	3,83 2,20	2,83 1,80	1,79 1,16
СТД-6300-2	6,28 1,62	6,09 1,73	5,81 1,86	5,69 1,93	5,36 1,99	4,50 2,05	3,61 1,92	2,75 1,65	1,78 1,13
СТД-8000-2	6,93 1,76	6,72 1,89	6,42 2,05	6,20 2,13	5,92 2,21	4,95 2,29	3,95 2,14	3,01 1,83	1,93 1,26
СТД-10000-2	8,10 2,06	7,86 2,24	7,50 2,44	7,24 2,55	6,90 2,65	5,71 2,75	4,51 2,53	3,39 2,14	2,14 1,46
СТД-12500-2	8,86 2,24	8,60 2,43	8,21 2,67	7,93 2,80	7,56 2,92	6,24 3,04	4,89 2,79	3,67 2,35	2,30 1,50
СМ	1,0	0,95	0,86	0,82	0,78	0,65	0,53	0,4	0,25
СММ	1,0	0,98	0,92	0,87	0,82	0,65	0,5	0,3	0,15
ВДС-325	1,0	0,98	0,96	0,94	0,92	0,83	0,67	0,53	0,4
	1,0	1,17	1,6	1,87	2,23	3,19	3,4	2,8	1,27
ДСМ и ДСММ	1,0	0,98	0,93	0,88	0,81	0,63	0,44	0,33	0,22
	1,0	1,13	1,33	1,466	1,58	1,53	1,2	0,8	0,4
ДСМ-116/49-4	1,0	0,96	0,91	0,88	0,81	0,67	0,55	0,43	0,34
	1,0	1,03	1,11	1,14	1,18	1,14	1,0	0,81	0,51
ДСМ-140/74-4	1,0	0,97	0,93	0,87	0,82	0,64	0,48	0,36	0,27
	1,0	1,15	1,29	1,35	1,42	1,45	1,31	1,13	0,63
ДСМЗ-260	1,0	0,99	0,96	0,94	0,91	0,8	0,62	0,5	0,37
	1,0	1,22	1,51	1,73	2,02	2,76	2,53	1,78	0,89
ВСДН(ДВ)-16-31-10	1,0	0,99	0,98	0,97	0,96	0,87	0,69	0,48	0,29
	1,0	1,31	1,75	2,19	2,66	4,0	4,5	3,44	1,88
СДК(П)-14-26-10	1,0	0,99	0,97	0,95	0,9	0,75	0,5	0,4	0,2
	1,0	1,19	1,53	1,72	1,94	2,14	1,65	0,94	0,4
СДК(П)-14-31-10	1,0	0,99	0,97	0,96	0,91	0,73	0,56	0,42	0,24
	1,0	1,15	1,48	1,65	1,9	2,1	1,65	0,9	0,4
СДК(П)-14-44-10	1,0	0,99	0,97	0,95	0,9	0,75	0,5	0,4	0,2
СДК(П)-14-36-10	1,0	1,23	1,56	1,69	2	2,3	2	1,1	0,5
СДК(П)-14-56-10	1,0	0,99	0,98	0,95	0,91	0,77	0,42	0,37	0,23
	1,0	1,25	1,57	1,69	2	2,31	2	1,1	0,5
СДК(П)-15-39-12	1,0	0,98	0,97	0,95	0,91	0,73	0,523	0,32	0,18
СДК(П)-15-49-12	1,0	1,2	1,5	1,65	1,89	2,17	1,83	1,01	0,66

Продолжение таблицы ПЗ.1

Тип электро- двигателя	Скольжение, отн.ед.								
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
СДК(П) -14-31-12	1,0	1,0	0,99	0,94	0,92	0,75	0,54	0,33	0,25
	1,0	1,18	1,44	1,76	2,03	2,65	2,24	1,24	0,76
СДК(П) -14-36-12	1,0	1,0	1,0	0,95	0,93	0,77	0,55	0,36	0,23
	1,0	1,19	1,38	1,75	2,06	2,69	2,22	1,25	0,72
СДК(П) -14-44-12	1,0	1,0	1,0	0,97	0,95	0,79	0,52	0,38	0,33
	1,0	1,2	1,53	1,73	2	2,67	2,37	1,43	0,87
СДК(П) -15-34-12	1,0	0,97	0,95	0,92	0,87	0,68	0,49	0,32	0,22
	1,0	1,21	1,46	1,52	1,7	1,85	1,46	1,0	0,67
СДК(П) -15-39-12	1,0	0,98	0,95	0,9	0,83	0,7	0,5	0,3	0,2
	1,0	1,12	1,47	1,59	1,76	1,88	1,53	1,12	0,6
СДК(П) -15-49-12	1,0	0,95	0,91	0,88	0,84	0,7	0,51	0,32	0,23
	1,0	1,19	1,39	1,5	1,69	1,89	1,56	0,94	0,69
СДК(П) -16-41-12	1,0	0,98	0,95	0,9	0,86	0,71	0,5	0,38	0,24
	1,0	1,24	1,44	1,56	1,74	1,91	1,56	1,47	0,74
СДК(П) -16-64-12	1,0	0,98	0,95	0,9	0,86	0,71	0,5	0,38	0,24
	1,0	1,15	1,36	1,5	1,67	1,79	1,58	1,27	0,73
СДК(П) -16-51-12	1,0	0,98	0,95	0,9	0,85	0,7	0,55	0,4	0,2
	1,0	1,15	1,36	1,5	1,67	1,79	1,58	1,27	0,73
СДК(П) -17-49-12	1,0	0,96	0,93	0,89	0,83	0,65	0,52	0,3	0,22
СДК(П) -17-76-12	1,0	1,19	1,38	1,5	1,62	1,57	1,36	1,0	0,67
СДК(П) -17-59-12	1,0	0,98	0,95	0,9	0,84	0,7	0,54	0,36	0,27
	1,0	1,18	1,3	1,5	1,6	1,57	1,35	1,05	0,65
СДК(П) -15-34-16	1,0	1,0	0,98	0,95	0,93	0,75	0,53	0,35	0,23
СДК(П) -15-41-16	1,0	1,21	1,57	1,79	2,04	2,68	2,29	1,46	1,0
СДК(П) -16-34-16	1,0	1,0	0,98	0,95	0,93	0,76	0,57	0,38	0,29
СДК(П) -16-41-16	1,0	1,25	1,5	1,7	2	2,61	2,3	1,5	1,14
СДК(П) -16-51-16	1,0	1,0	0,98	0,95	0,93	0,77	0,57	0,34	0,25
	1,0	1,25	1,5	1,7	2	2,61	2,3	1,5	1,14
СДК(П) -17-41-16	1,0	0,98	0,93	0,91	0,87	0,71	0,53	0,4	0,27
	1,0	1,2	1,43	1,6	1,7	1,7	1,45	1,05	0,68
СДК(П) -17-49-16	1,0	1,0	0,93	0,89	0,85	0,7	0,5	0,4	0,3
	1,0	1,19	1,4	1,5	1,67	1,67	1,39	1,06	0,72
СДК(П) -17-59-16	1,0	1,0	0,95	0,9	0,86	0,71	0,57	0,45	0,33
	1,0	1,15	1,35	1,5	1,6	1,5	1,1	1,0	0,65
СДК(П) -18-49-16	1,0	1,0	0,98	0,93	0,91	0,8	0,64	0,51	0,36
СДК(П) -18-91-16	1,0	1,21	1,52	1,66	1,86	2,2	2,07	1,66	1,1
СДК(П) -18-76-16	1,0	1,0	0,96	0,92	0,9	0,78	0,64	0,48	0,36
	1,0	1,19	1,5	1,66	1,84	2,16	2,03	1,78	1,5
СДК(П) -17-46-20	1,0	1,0	0,96	0,95	0,93	0,81	0,61	0,44	0,26
	1,0	1,25	1,5	1,70	2	2,46	2,29	1,46	1,11

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы ПЗ.8

Тип электро- двигателя	Скольжение, отн.ед.								
	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
СДК(П) -18-39-20	1,0 1,0	1,0 1,21	0,98 1,46	0,95 1,68	0,9 1,86	0,8 2,04	0,63 1,79	0,45 1,5	0,3 1,29
СДК(П) -18-49-20	1,0 1,0	0,98 1,19	0,96 1,44	0,93 1,63	0,91 1,81	0,76 1,97	0,6 1,56	0,47 1,5	0,36 1,0
СДК(П) -18-61-20	1,0 1,0	1,0 1,17	0,96 1,46	0,92 1,6	0,89 1,74	0,77 1,86	0,61 1,71	0,48 1,43	0,4 1,14
СДК(П) -19-54-20	1,0 1,0	1,0 1,25	0,98 1,5	0,93 1,67	0,9 1,96	0,78 2	0,65 1,92	0,5 1,79	0,4 1,29
СДК(П) -19-69-20	1,0 1,0	1,0 1,22	0,98 1,48	0,93 1,59	0,91 1,81	0,8 1,93	0,65 1,81	0,57 1,56	0,46 1,11
СДК(П) -18-49-24	1,0 1,0	1,0 1,18	0,98 1,5	0,94 1,71	0,92 1,91	0,76 2,35	0,53 2,11	0,33 1,32	0,18 1,18
СДК(П) -19-46-24	1,0 1,0	1,0 1,14	0,97 1,48	0,95 1,76	0,92 2,0	0,82 2,67	0,64 2,67	0,54 2,14	0,33 1,52
СДК(П) -19-54-24	1,0 1,0	1,0 1,21	0,98 1,54	0,95 1,71	0,93 2	0,81 2,54	0,67 2,5	0,55 2,1	0,38 1,54
СДК(П) -19-69-24	1,0 1,0	1,0 1,15	0,97 1,46	0,95 1,62	0,92 1,85	0,82 2	0,64 1,85	0,54 1,58	0,33 1,27
СДК(П) -19-84-24	1,0 1,0	1,0 1,14	0,98 1,4	0,95 1,61	0,93 1,82	0,81 1,96	0,67 1,82	0,55 1,61	0,38 1,14

П р и л о ж е н и е 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУД

Т а б л и ц а П4.1

Технические данные дутьевых вентиляторов

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\text{макс}}$				Момент инерции кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность на валу, кВт	
ВД-6	6,5 4,4	2,12(216) 0,95(97)	1500 1000	5,75 1,73	1,9-2,25
ВД-8	10 8	1,68(172) 0,97(98,5)	1000 750	7,0 3,2	7,0
ВД-10	20 15-16	2,65(270) 1,49(152)	1000 750	20,5 8,5-11,3	14,5
ВД-12	35 26 18	3,82(390) 2,16(220) 0,95(97)	1000 750 5000	54 22,5 6,8	34

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность на валу, кВт	
ВД-13,5 ^ж	60	5,15(525)	1000	117-138	56
	45	2,8(285)	750	48,5-57	
	30	1,25(127)	500	15	
ВД-15,5 ^ж	129,5-50	6,55(668) - 5,93(604)	1000	350-136	115
	65-68	3,71(378)	750	60-100	
	55-58	2,38(243)	600	38-52,5	
ВД-18	105	5,0(510)	750	209	265,5
	80	3,14(320)	600	99	
ВД-20	140	6,11(623)	750	331	433,8
	100-115	3,96(404)	600	181	
ВВДН-15	38	7,95(810)	1500	105	86,8
ВВДН-17	58	10,0(1020)	1500	200	137,4
ВДН-8	10,5	2,22(226)	1500	8	-
ВДН-9	15	2,8(286)	1500	14	-
ВДН-9AC	17,5	3,92(400)	1800 ^{жж}	23	-
ВДН-10	20,45	3,47(354)	1500	24	-
ВДН-10AC	20	3,33(340)	1500	22,5	-
ВДН-11,2	28,75	4,35(444)	1500	43	-
ВДН-11,2AC	34	6,08(619,5)	1800 ^{жж}	70,5	-
ВДН-12,5	40	5,39(550)	1500	73	-
ВДН-12,5AC	39,1	5,26(536)	1500	70,5	-
ВДН-14-11	80	2,38(243)	1000	95	137,5
ВДН-14-11 ^{жж}	59	2,05(209)	1000	62	120
ВДН-15	75-78	7,69(787) - 8,38(854)	1500	194-215	88,3
	50	3,43(350)	1000	58,5	
ВДНА-НЖ-15C	30-60	3,67(374,6) - 2,69(274,6)	1000	36-57	-
ВДН-16-11	112	2,77(282)	1000	108	220
	84,95	1,57(160)	750	46	
	67,7	1,0(102)	600	18	
ВДН-16-11 ^{жж}	82,5	2,39(244)	1000	71	187,5
	62,3	1,36(139)	750	31	
ВДН-17	110-113	1,11(113)	1500	364-400	145,3
ВДНА-НЖ-17C	80	4,04(412)	1000	113	-
ВДН-18	152	3,79(386)	1000	190	332,5
ВДН-18-11	180	3,53(360)	1000	200	400
	135	2,06(210)	750		
	156	3,74(382)	1000	100	
	120	2,19(223)	750		
ВДН-18-11 ^{жж}	115-117	3,58(365) - 3,51(358)	1000	130	350
	85-88	2,06(210) - 1,98(202)	750	55	
ВДН-19y	100	2,45(250)	1000	82	350
ВДН-20	215	4,62(471)	1000	326-360	500

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность на валу, кВт	
ВДН-20-II	240-222 180-173	4,3I(4,39)-4,5I(460) 2,45(250)-2,68(273)	1000 750	350 156	575
ВДН-20-IIу ^{ЖБЖ}	165-170 125-127	4,4I(450)-4,27(435) 2,45(250)-2,44(249)	1000 750	225 100	500
ВДН-20,5у	155	4,86(495)	1000	255	475
ВДН-22-IIу	210 167	3,23(329) 2,06(210)	750 600	225 113	825
ВДН-24у	200	3,82(389)	750	255	1200
ВДН-24-IIу	275 220	3,87(395) 2,45(250)	750 600	350 178	1200
ВДН-24х2IIу	500-600 400-480	3,62(370) 2,55(260)-2,32(237)	750 600	650-710 290-365	2150
ВДН-25у	220	4,18(426)	750	309	1425
ВДН-25х2	500-520 380	8,09(825)-7,84(800) 4,7(480)	1000 750	1250-1320 540	2250
ВДН-25х2-I	580	8,53(870)	1000	1600-1680	2325
ВДН-26у	240	4,62(470)	750	372	1625
ВДН-26-IIу	350 280	4,56(465) 2,89(295)	750 600	520 270	1575
ВДН-28-IIу	420-430 338-345	4,85(494)-4,6I(470) 3,1I(317)-2,94(300)	750 600	650-700 330	2725
ВДН-28,6-IIу	500 400	5,37(547) 3,38(345)	750 600	870 445	3250
ВДН-30,5х2-I	900	14,1(1437)	1000	4035	7750
ВДН-3I,5	367	9,42(960)	750	1070-1130	4250
ВДОД-3I,5 ^{ЖБЖЖ}	783	5,9(601)	600		5875
	855	7,02(716)			
	800	5,5(560)	600	1540-1607 2000-2300	5750
	850	6,24(636)			
ВДН-32Б ^{ЖБЖЖ}	475 384	6,08(620) 3,97(405)	750 600	910-920	4375-4400
ВДН-36х2	1450 1555	14,3I(1459) 13,23(1349)	1000	6400-6650	17500
ВО-I-16/II	215	4,4I(450)	1500	337	128,3
И9ЦС-63АС-3000	1,9	6,08(620)	3000	6,5	-
И9ЦС-63АС-3600	1,9	6,08(620)	3600 ^{ЖБЖ}	6,5	-

^ЖЗначения подачи и полного давления приведены для границ зоны $\eta = 0,9 \eta_{\max}$

^{ЖБЖ} частота питающего тока ЭД 60 Гц.

^{ЖБЖЖ} с узким рабочим колесом.

Над чертой указаны значения подачи и полного давления при $\eta_{\max}$ под чертой - эти же значения при режиме максимального регулирования "Вверх" по квадратичной параболе, проходящей через точку $\eta_{\max}$ и начало координат системы $H-Q$.

Примечание. Обозначения типов вентиляторов в порядке следования букв и цифр: ВДН (кроме ВДН-36х2 и ВДН-25х2) - вентилятор дутьевой центробежного типа с загнутыми назад лопатками; диаметр рабочего колеса, мм; х2 - двустороннее всасывание; II - индекс аэродинамической схемы; у - унифицированный; ВДН-36х2 и ВДН-25х2 - воздуходувки (обозначения те же); ВДН-1 - вентилятор дутьевой осевой двухступенчатый; ВД-1-16/II - то же одноступенчатый, II - диаметр втулки рабочего колеса, мм; ВД - вентилятор дутьевой одностороннего всасывания; ВВДН - вентилятор высокого давления с загнутыми назад лопатками (обозначения те же); ВДНА-НЖ-17С - вентилятор дутьевой с загнутыми назад лопатками для АЭС; НЖ - нержавеющий; диаметр рабочего колеса, мм; С - сейсмостойкий (АС - для АЭС сейсмостойкий); 19ПС-63АС-3000 - подача 19·10² м³/ч, ПС - центробежный электровентилятор специальный, полное давление 63х10² Па, АС - для АЭС сейсмостойкий, частота вращения 3000 об/мин.

Таблица П4.2

Технические данные вентиляторов горячего дутья

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ВД-20у	146 146	3,84(392) 2,7(275)	750 750	223 156	433,8
ВД-15,5	85	4,05(413)	1000	136	114,3
ВД-15,5у	85	2,82(287)		95	119
ВД-13,5	60	3,06(312)	1000	73	55,8
ВД-13,5у	60	2,15(219)	1000	51	56,3
ГД-12	35	2,34(239) 1,66(169)	1000	34	42,5
ВДН-II,2	19	0,86(88)	1000	5,8	-
ВДН-12,5	27	1,07(109)	1000	10	-
ВДН-13,5у	60	2,15(223)	1000	51	56,3
ВДН-15,5у	85	2,81(286)	1000	95	118,8
ВДН-15	77,4 75	3,79(386) 3,49(356)	1500 1500	96 88,7	102,5 102,5
ВДН-17	109,5-II3	4,48(457)-4,9(500)	1500	166-180	167,5
ВДН-19	102	2,48(253)	1000	89	397,5
ВДН-19Б	108	2,46(250)	1000	93	950
ВДН-19М	106	2,68(273)	1000	93	1035
ВДН-21	143 136	3,75(382) 3,04(310)	1000	158 190	550
ВДН-21М	143	3,27(334)	1000	153	4700
ВОД-9/300	10,67	3,77(385)	3000	23	-

Примечание. Обозначения типов вентиляторов в порядке следования букв и цифр: ВГД и ВДН - вентилятор горячего дутья с загнутыми соответственно вперед и назад лопатками; диаметр рабочего колеса, мм; у - унифицированный; Б - Барнаульский котельный завод; М - модернизированный; ВОД-9/300 - вентилятор острого дутья подачи 9 тыс. м³/ч на полное давление 300 кгс/м².

Т а б л и ц а 74.3

Технические данные мельничных вентиляторов

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление кПа (кгс/м ²)	частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ВМ-15*	38	7,15(730)	1500	90-92	83,75
ВМ-17*	58	9,02(920)	1500	171-177	190
ВМ-18А*	108	10,44(1065)	1500	368-382	258,8
ВМ-18ДЛ*	110	10,6(1080)	1500	400	250
ВМ-20А*	150	12,64(1290)	1500	613-643	382,5
ВМ-20ДЛ*	150	13,24(1350)	1500	676	375
ВМ-40/750-ИБ ^{ХХХ}	40	7,5(760)	1500	115	80
	40	7,33(748)	1500	115	80
ВМ-40/750-ИУ ^{ХХХ}	40	3,74(382)	1500	58	80
ВМ-40/750-ИБ ^{ХХХ}					
ВМ-50/1000-ИУ ^{ХХХ}	54	5,34(545)	1500	112	155
ВМ-50/1000-ИБ ^{ХХХ}	50	10,3(1050)	1500	223	155
	54,8	10,4(1065)	1500	223	155
ВМ-50/1000-ИБ ^{ХХХ}	53,6	5,34(545)	1500	112	155
	35	2,3(235)	1000	31	155
ВМ-75/1200у ^{ХХХ}	75	12,3(1250)	1500	350	225
ВМ-75/1200-ИБ ^{ХХХ}	43,6	2,82(287)	1500	48	225
ВМ-75/200-ИБ ^{ХХХ}	67,5	12,7(1292)	1500	334	225
ВМ-100/1000у ^{ХХХ}	90	9,85(1004)	1500	353	192,5
ВМ-100/1000у ^{ХХХ}					
ВМ-100/1200у ^{ХХХ}	90	11,5(1175)	1500	412	217,5
ВМ-100/1200у ^{ХХХ}	96,8	11,36(1158)	1500	440	300
ВМ-180/1100у ^{ХХХ}	180	12,54(1280)	1500	826-920	437,5
ВМ-180/1100-И ^{ХХХ}	180	14,5(1475)	1500	920-925	437,5
		14,2(1447)	1500	925	440
ВМ-75/1200-Иу ^{ХХХ}	75	2,81(288)	1000	48	225
ВМ-160/850у ^{ХХХ}	160	8,82(900)	1000	525-540	625
ВМ-160/850-И ^{ХХХ}	160	8,58(875)	1000	525	625
	180	8,63(880)	1000	625	625
ВВМ-1у ^{ХХХ}	14	5,2(530)	1500	34	31,25
ВВМ-1 ^{ХХХ}	12	5,2(530)	1500	33,5	
ВВМ-1-1 ^{ХХХ}	14	5,2(530)	1500	125	31,25
		4,57(466)	1500	125	31
ВВМ-2у ^{ХХХ}	33	5,02(512)	1000	73	50,0-67,5
ВВМ-2 ^{ХХХ}	33	5,02(512)	1000	73	64
ВВМ-2-1 ^{ХХХ}	33	5,02(512)	1000	73	50,0-67,5
		4,92(502)	1000	73	68

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ВВМ-3у ^{БББ}	60	4,66(475)	1000	125	75
ВВМ-3-Г ^{БББ}	60	5,0(510)	1000	132	71
ВВМ-3-Г ^{БББ}	60	4,66(475)	1000	33,5	75
		5,1(520)	1000	33,5	
ВВМ-4 ^{БББ}	80	4,9(500)	1000	175	-

*Вентилятор мельничный с загнутыми назад лопатками одностороннего всасывания; цифры обозначают диаметр рабочего колеса, мм; А - индекс аэродинамической схемы; Дл - конструктивная модификация рабочего колеса (с дополнительными противоизносными лопатками).

^{БББ}Вентилятор мельничный одностороннего всасывания; первая группа цифр - подача, тыс. м³/ч; вторая - полное давление, кгс/м²; у - унифицированный; Г и Д - индексы аэродинамической схемы; Б - Барнаульский котельный завод.

^{БББ}Вентилятор валковый среднеходной мельницы; Г, 2, 3, 4 - типоразмеры вентилятора; у - унифицированный; Г - номер аэродинамической схемы.

Таблица П4.4

Технические данные дымососов для агрессивных газов

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление кПа (кгс/м ²)	Частота вращения об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ДН-ГГ,2НБ	19,3	0,86(88)	1000	5,8	-
ДН-ГГ,5НБ	26,7	1,07(109)	1000	10	-
ДН-Г5НБ	50,3	1,56(159)	1000	27,5	102,5
	75	3,49(356)	1500	88,7	
	77	3,8(387)	1500	96	
ДН-Г7НБ	73,3	1,99(203)	1000	51	167,5
	109,5	4,48(457)	1500	166	
ДН-Г9НБ	90	2,82(288)	1000	89	397,5
	102	2,48(253)	1000	90	397,5
ДН-Г9БНБ	105	2,6(265)	1000	90,8	380

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: ДН - дымосос с загнутыми назад лопатками; диаметр рабочего колеса, мм; НБ - нержавеющий; Б - Барнаульский котельный завод.

Т а б л и ц а Г4.5

Технические данные котельных дымоходов

Тип дымохода	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Д-3,5	4,3	3,53(360)	1500	0,74	-
Д-8	10	1,06(108)	1000	4,4	8,58
	8	0,59(61,6)	750	2	
Д-10	20	1,65(169)	1000	12,8	25,4
	15	0,94(95)	750	5,3	
Д-12	35	2,33(238)	1000	33,8	64,0
	27,5	1,34(137)	750	14,1	
	18	(60,6)	500	4,25	
Д-13,5*	87,5-60-35	3,09(315)-2,8(285)	1000	114-43	95,0
	65,5-45-26	1,75(179)-1,9(193)	750	46,5-18	
	44-30-16,5	0,77(79)-0,71(72)	500	14,7-5,2	
Д-13,5x2y	101	3,1(316)	1000	125	212,5
	75	1,7(173)	750	54	
	50	0,76(78)	500	16	
Д-13,5x2	101	3,1(316)	1000	163	212,5
	60	1,11(113)	600	32	
	50	0,76(78)	500	19	
Д-15	75	6,31(643)	1500	-	102,5
Д-15,5*	129,5-52	4,07(415)-3,67(375)	1000	217-85	156,5
	100-38	2,33(238)-2,07(211)	750	95,5-35,0	
	80-30,5	1,48(151)-1,33(136)	500	50-17,5	
Д-15,5x2y	105	2,35(240)	750	98	335
	80	1,5(153)	600	48	
Д-15,5x2	80	1,5(153)	600	126	335
Д-18*	170-50	3,09(315)-2,65(270)	750	220-65	328,8
	140-20	2,01(205)-1,76(180)	600	115-40	
Д-18x2	180	3,23(330)	750	270	725
	180	4,12(420)	750	290	
	143	2,04(208)	600	135	
Д-20*	200-70	3,82(390)-3,23(330)	750	380-100	535
	180-50	2,55(260)-2,11(215)	600	280-65	
Д-20x2	245	4,0(408)	750	460	1125
	245	5,1(520)	750	490	
	195	2,53(258)	600	230	
Д-21,5x2y	305	4,61(470)	750	520-558	1300
Д-21,5x2	242	2,94(300)	600	282-290	
	200	2,06(210)	500	175	

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Д-25х2ШБ	650	4,9(500)	600	1290	2812,5
	550	3,43(350)	500	765	
Д-25х2ШБГМ	430	2,0(204)	375	350	
Д-300/400	310	4,17(425)	750	645	1500
	246	2,65(270)	600	325	
ДН-9	14,8	2,28(232)	1500	11,5	-
	10	1,0(102)	1000	3,5	-
	7,6	0,57(58)	750	1,5	-
ДН-9у	14,9	2,26(230)	1500	12	-
ДН-9уI	13,2	2,09(213)	1500	10	-
ДН-10	20,4	2,82(287)	1500	19,6	-
	13,7	1,24(126)	1000	5,9	-
	10,4	0,53(54)	750	1,9	-
ДН-10у	20,4	2,77(283)	1500	20	-
ДН-10уI	18,1	2,59(264)	1500	16	-
ДН-11,2	28,8	3,52(359)	1500	34,5	-
	19,3	1,55(158)	1000	10,4	-
	14,6	0,88(89,7)	750	4,5	-
ДН-11,2у	28,7	3,5(357)	1500	35	-
ДН-11,2уI	25,4	3,27(333)	1500	29	-
ДН-12,5	40	4,39(447)	1500	60	-
	26,7	1,92(196)	1000	17,8	-
	19,8	0,76(77)	750	5,2	-
ДН-12,5у	39,9	4,38(446)	1500	60	-
ДН-12,5уI	35,4	4,07(415)	1500	50	-
ДН-15	75	6,31(644)	1500	160	102,5
	77	6,94(707)	1500	173	
	50	2,8(286)	1000	49	
	39	1,47(150)	750	19,6	
ДН-17	113	8,97(915)	1500	324	167,5
ДН-17	109,5	8,07(823)	1500	293	167,5
	73	3,59(366)	1000	78,5	
	55	1,87(191)	750	36	
ДН-18х2у	240	1,47(150)	750	120	560
ДН-18х2	270	1,47(150)	750	114	575
ДН-19	102	4,48(457)	1000	158	397,5
	77	2,35(240)	750	94,5	
ДН-19Б	108	4,53(462)	1000	168	397,5
ДН-19БГМ	90 ^{РБ}	5,1(520)		160	

Продолжение таблицы 74.5

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{\text{макс}}$				Момент инерции $\text{кг} \cdot \text{м}^2$
	Подача, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	Полное давление, кПа ($\text{кгс}/\text{м}^2$)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Н-21	I43	5,74(585)	1000	284	562,5
Н-21ГМ	I38	5,48(559)	1000	262	550
	I05	2,87(293)	750	105	550
Н-21х2у	390	1,96(200)	750	260	985
Н-21х2	380	2,06(210)	750	300	985
Н-22	I42	3,19(325)	750	157	800
	I62	3,08(314)	750	175	
Н-22ГМ	II2	2,06(210)	600	80	
Н-22х2 ^Ж	285	3,31(338)	750	345	1325
Н-22х2-0,62	289	3,23(330)	750	325	1575
Н-22х2-0,62ГМ	289	3,18(324)	750	325	1325
Н-24	I76	3,82(390)	750	234	1125
	210	3,67(374)	750	270	
Н-24ГМ	I45	2,45(250)	600	123	
Н-24х2 ^Ж	370	3,9(398)	750	525	1925
Н-24х2-0,62	375	3,85(393)	750	502	1925
Н-24х2-0,65ГМ					
Н-26	242	4,49(458)	750	385	1875
	267	4,3(438)	750	403	1750
Н-26ГМ	I90	2,86(292)	600	189	
Н-26х2у	500	3,43(350)	750	585	2375
Н-26х2 ^Ж	475	4,59(468)	750	790	3500
Н-26х2-0,62	477	4,52(461)	750	749	3500
Н-26х2-0,62ГМ					
ЮД-28,5	585 680 ^Ж	3,76(384)	600	743	5000
ЮД-28,5ГМ		5,12 ^Ж (513)		1310 ^Ж	
ЮД-28,5-1					
ЮД-28,5-1ГМ					
ПОД-31,5ФГМ	850	3,64(372)	500	1080	5375
ПОД-31,5Ф	985 ^Ж	4,9 ^Ж (490)		1790	
ДО-31,5-III	800	3,38(345)	500	-	5000
ДО-31,5ГМ					
ДОД-31,5	725	3,19(326)	500	790	5000
ДОД-31,5ГМ	850 ^Ж	4,35 ^Ж (444)		1360	
ПОД-41-1	1140	2,63(268)	375	1010	23175
ПОД-41-1ГМ	1300 ^Ж	3,33 ^Ж (340)		1730	24275
ДОД-41	1080	3,14(320)	375	1140	24575
ДОД-41ГМ	1220 ^Ж	4,12 ^Ж (420)		1880	23475
ДОД-41-500	1580	6,72(685)	500	3860	30000

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ДОД-43	1335	3,49(3,56)	375	1570	28875
ДОД-43ГМ	1520 ^{жк}	4,53 ^{жк} (462)		2500	24700
	1500	4,32(440)	375	2280	23750
ДОД-43-500-1	1890	5,74(585)	500	4030	28000
ДОД-43-500-4	2015	7,65(780)	500	5470	33500
ДОД-43-500ГМ	2015	7,65(780)	500	5470	33500

^{жк}Значения подачи и полного давления приведены для границ $\eta = 0,9 \eta_{\max}$

^{жк}При режиме максимального регулирования "Вверх" по квадратичной параболе, проходящей через точку $\eta_{\max}$ и начало координат системы Н- Q .

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: Д и ДН - дымососы с загнутыми соответственно вперед и назад лопатками, ДО, ДОД - дымососы осевой и осевой двухступенчатый; диаметр рабочего колеса, дм; х2 - двустороннее всасывание, без этого обозначения - одностороннее всасывание; у - унифицированный; Ф, ГМ - форсированный, для газомазутного топлива; Ш - широкое рабочее колесо; Б - Барнаульский котельный завод; I-III - номера аэродинамической схемы.

Т а б л и ц а П 4.6

Технические данные дымососов рециркуляции газов

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{\max}$				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Полное давление, кПа (кгс/м ²)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ГД-20-500у	200	4,8(490)	1000	390	600
ГД-20	200	5,15(525)	100	397	670
ГД-26х2	520	5,34(545)	1000	980	4000
ГД-26х2	600	5,57(568)	1000	1090	3750
ГД-26х2-1	650	4,77(487)	1000	1067	3740
ГД-26х2-1	600	5,49(560)	1000	1100	3750
ГД-31	345	4,02(410)	750	460	4375
	330	4,2(430)	750	480	4375
ДРТ-29х2-1	985	(693)	1000	2538	6250
ДРТ-29х2-П	750	(371)	750	1050	6250

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: ГД - "горячий" дымосос (центробежный для систем рециркуляции дымовых газов), ДРТ - дымосос рециркуляции газов; диаметр рабочего колеса, дм; х2 - двустороннее всасывание, без этого обозначения - одностороннее всасывание; I, П - номера аэродинамической схемы.

Т а б л и ц а П4.7

Технические данные конденсатных насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Кс I2-50/2	I2	0,49(50)	3000	3,6	-
Кс I2-ИIC/4	I2	I,08(II0)	3000	8,5	-
Кс 20-50-2	20	0,49(50)	3000	5,0	-
Кс 20-ИIO/4	20	I,08(II0)	3000	I2,5	-
Кс 32-И50/6	32	I,47(И50)	3000	I9,8	-
Кс 50-ИIO	50	I,08(II0)	I500	23,8	-
Кс 50-ИIO-I				22,3	-
КсА I500-240	I500	2,35(240)	3000	II4I-II90	-
КсА I500-240-2 (ИИ I500-240)*					
КсА I500-240-2	I850	I,67(И70)	3000	998-IO60	-
КсВ I25-55	I25	0,54(55)	3000	23,4	-
КсВ I25-И40		I,37(И40)		62	-
КсВ 200-220-2, КсВА 200-220	200	2,И6(220)	I500	I54-И64	3
КсВ 320-2IO, КсВА 320-2IO	320	2,06(2IO)	I500	229	2,И3
КсВ 360-И60, КсВА 360-И60	360	I,57(И60)	I500	I96-2IO	2,И5
КсВ 500-85	500	0,83(85)	I000	I54	3,8
КсВ 500-И50 (И6 КсВ ИИх4)*	500	I,47(И50)	I500	272	3,75
КсВ 500-220-2, КсВА 500-220 (И6 КсВ IOх5)*	500	2,И6(220)	I500	375-400	3,75
КсВ 630-И25, КсВА 630-И25	630	I,22(И25)	I500	266-287	-
КсВА 650-И35	650	I,32(И35)	I500	272	-
КсВА 700-И80	700	I,76(И80)	I500	404	-
КсВ 900-И80	900	I,76(И80)	I500	509	-
КсВ IO00-95	IO00	0,93(95)	I500	342	6,6
КсВА IO00-И90/220	IO00	I,86(И90)/2,И6(220)	I500	680/759	-
КсВА IO00-И90	IO40	I,86(И90)	I500	632	-
КсВ IO00-220, КсВА IO00-220	IO00	2,И6(220)	I500	742-760	-

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
КсВ 1500-120, КсВА 1500-120	1500 1850	1,17(120) 0,93(95)	750,0	599-620 592-615	33,8
КсВА 2000-45	2000	0,44(45)	1000	291	-
КсВА 2200-100	2200	0,98(100)	1500	742	-
КсВА 2200-170	2200	1,37(170)	1500	1195	-
КсВА 2200-220	2200	2,16(220)	1500	1547	-
КсД 230-115/3 (10 КсД 5х3)*	260	1,66(170)	1000	118	5,1
КсД 320-160 (12 КсД 9х4)*	320	1,57(160)	1500		2,13
ПН 1000-220 Кс 1000-220	1000	2,06(210)	3000	750	0,9
ПН 1600-220 Кс 1600-220	1600	2,16(220)	3000	1170	3

*В скобках указаны применявшиеся ранее типы насосов.

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: ПН - центробежный насос; КсВ - конденсатный вертикальный насос с односторонним расположением колеса (с буквой А - для АЭС); КсД - конденсатный горизонтальный насос двойного всасывания; первая группа цифр - подача, м³/ч; вторая - напор, м; /2, /3, /4, /6 - количество ступеней насосов.

Т а б л и ц а П 4.8

Технические данные насосов общего назначения

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Д2000-21 (16НДн)	2000	0,206 (21)	1000	-	8,8
Д1250-14 (16НДн)	1250	0,137 (14)	730	59,5	8,8
Д2000-100 (20НД-6)	2000	0,981 (100)	1000	750	12,8
Д2000-34 (18НДс)	2000	0,33 (34)	750	250	12,5
Д2500-62 (18НДс)	2500	0,608 (62)	1000	486	12,5
Д3200-33 (20НДн)	3200	0,323 (33)	1000	310	12,5
Д3200-75 (20НДс)	3200	0,735 (75)	1000	800	17,5
Д4000-95 (22НДс)	4000	0,931 (95)	1000	-	47,5
Д2500-17 (20НДн)	2500	0,166 (17)	750	-	12,5
Д2500-45 (20НДс)	2500	0,441 (45)	750	370	17,5

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы П4.8

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерция, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Д3200-55 (22НДС)	3200	0,539 (55)	750	550	47,5
Д4000-22 (32Д-19)	4000	0,216 (22)	600	295	21,25
Д5000-32 (24НДн)	5000	0,314 (32)	750	320	21,3
Д6300-27 (32Д-19)	6300	0,265 (27)	750	590	21,3
Д6300-80 (24НДС)	6300	0,785 (80)	750	1600	55
Д3200-20 (24НДн)	3200	0,196 (20)	600	-	21,3
Д5000-50 (24НДС)	5000	0,49 (50)	600	154	55
ЦН400-105 (3В-200х2)	400	1,03 (105)	1500	177	7,5
ЦН400-210 (3В-200х4)	400	2,06 (210)	1500	288	9,5
ЦН1000-180 (10НМКх2)	1000	1,76 (180)	1500	625	7,5

П р и м е ч а н и я: I. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: Д - центробежный насос двустороннего входа; ЦН - центробежный насос; первая группа цифр - подача, м³/ч; вторая - напор, м.-2. В скобках указаны применявшиеся ранее типы центробежных насосов, в которых по порядку первая группа цифр (10-32) - диаметр напорного патрубка, мм, уменьшенный в 25 раз; буквы НМК - насос многоступенчатый с горизонтальным разъемом корпуса, К - Китайский насосный завод; НДн, НДС - насос одноступенчатый с осевым разъемом корпуса и рабочим колесом двустороннего входа; вторая группа цифр - количество рабочих колес (х2) и коэффициент быстроходности насоса, уменьшенный в 10 раз и округленный (6 и 19).

Т а б л и ц а П4.9

Технические данные питательных насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерция, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ПЭ-50-170	50	17,47(1781)	3000	555	9,5
ПЭ-65-40/53	65	4,32(440)/5,69(580)	3000	108/143	-
ПЭ-65-42-2	65	4,32(440)	3000	106-120	1,28
ПЭ-65-45	65	4,32(440)	3000	108	-
ПЭ-65-53	65	5,69(580)	3000	140-143	-
ПЭ-65-56	65	5,69(580)	3000	143-160	1,4
ПЭ-65-56-2	65	5,69(580)	3000	143-160	1,38
ПЭ-100-53	100	5,69(580)	3000	206-210	1,8
ПЭ-100-56	100	5,69(580)	3000	210-240	1,88
ПЭ-100-56-2	100	5,69(580)	3000	210	1,55
ПЭ-150-53	150	5,69(580)	3000	301-305	1,8

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции ² кг·м
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ПЗ-150-56	150	5,69(580)	3000	305-392	1,78
ПЗ-150-53/63	150	5,69(580)/6,87(700)	3000	305/370	1,78
ПЗ-150-63	150	6,87(700)	3000	370	1,78
ПЗ-150-67	150	6,87(700)	3000	370	2,05
ПЗ-150-145	150	15,5(1580)	3000	780-825	11,3
ПЗ-250-40 (ПЗ-250-45)	250	4,4(450)	3000	370	-
ПЗ-250-45 (ПЗ-250-50)	250	4,9(500)	3000	410	-
ПЗ-250-180	250	19,37(1975)	3000	1625-1640	4,75
ПЗ-270-150	270	16,18(1650)	3000	1420-1445	3,68
ПЗ-270-150-2	270	15,5(1580)	3000	1420-1445	3,68
ПЗ-380-185	380	19,9(2030)	3000	2475	6,0
ПЗ-380-185-2	380	19,9(2030)	3000	2500	6,0
ПЗ-380-185/200 ПЗ-380-185/200-2	380	19,9(2030)/21,48(2190)	3000	2475/2670	6,0
ПЗ-380-200	380	21,48(2190)	3000	2670	6,0
ПЗ-380-200-2	380	21,48(2190)	3000	2690	6,0
ПЗ-500-180	500	19,37(1975)	3000	3125-3150	6,3
ПЗ-500-180-2	500	19,37(1975)	3000	3180	6,25
ПЗ-500-180-4	500	19,37(1975)	3000	3766	6,0
ПЗ-500-185	580	19,9(2030)	3000	3590	6,0
ПЗ-500-185-2	580	19,9(2030)	3000	3615-3740	6,0
ПЗ-500-185/200	580	19,9(2030)/21,53(2195)	3000	3650/3950	6,0
ПЗ-580-185/195	580	19,9(2030)/21,1(2150)	3000	3590/3800	5,0
ПЗ-580-200	580	21,48(2190)	3000	3875	6
ПЗ-580-185/200-2	580	19,9(2030)/21,53(2195)	3000	4350	6
ПЗ-580-200-2	580	21,48(2190)	3000	3900	6,0
ПЗ-600-300	600	32,3(3290)	насоса 6300; ведомого вала редуктора 6292; ведущего вала редуктора 2860	6360-6700	8,35 (роотор с водой без гидромолити)
ПЗ-600-300-2	600	32,3(3290)	6300,0	6360-6700	8,35
ПЗ-600-320	600	32,3(3290)	7500	6300	-
ПЗ-720-185	720	19,9(2030)	3000	4400	5,0

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ПЭ-720-185-2	720	19,9(2030)	3000	4430-4540	5,0
ПЭ-720-185/200	720	19,86(2025)/21,5(2192)	3000	4540/4900	5,0
ПЭ-780-185	780	20,4(2080)	3000	4890	5,0
ПЭ-780-210	780	22,86(2330)	3000	5615	-
ПЭ-900-185	900	19,9(2030)	3000	5500	-
ПД-650-160 (12ПД-8)	650	1,55(158)	3000	330	0,59-0,75
ПД-1600-180	1630	1,76(180)	3000	1000	-
ПЭА-65-50 (СПЭ-65-56)	65	5,69(580)	3000	148	0,7
ПЭА-150-85 (ПЭ-150-85)	150	8,92(910)	3000	490	-
ПЭА-250-75 (ПЭ-250-75)	250	8,14(830)	3000	700	-
ПЭА-250-80	250	8,63(880)	3000	725	-
ПЭА-630-95	630	9,47(965)	3000	1825	-
ПЭА-850-65 (ПЭ-850-65)	850	7,0(714)	3000	1870	3,25
ПЭА-1650-75/80 (СПЭ 1650-75)	1650	8,14(830)/8,92(910)	3000	4100/4385	7,5
СВП-220-280	220	27,47(2800)	3000	-	7,5
СВПЭ-320-550	550	31,4(3200)	3000	-	137 (насос плюс гидромолда плюс редуктор)
БЦПО	270	14,7(1500)	3000	1800	3,5

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр:
 ПЭ-500-185-2 - ПЭ - питательный электронасос; первые три цифры (500) - номинальное значение подачи м³/ч; последующие три цифры (185) - давление, развиваемое насосом, при номинальных подаче, частоте вращения и рабочей температуре жидкости, МПа (кгс/см²); последняя цифра (2) - номер модификации;
 12ПД-8 - 12 - диаметр входного патрубка, мм, уменьшенный в 25 раз; П - подпорный (предвключенный питательный насос); Д - двойного входа; 8 - коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз; СВПЭ-320-550 - СВПЭ - питательный электронасос для энергоблоков на сверхвысокие параметры; первые три цифры (320) - давление на стороне нагнетания, кгс/см²; последующие три цифры (550) - подача, м³/ч; ПД-650-160 - П - предвключенный питательный горизонтальный, одноступенчатый насос, спирального типа; Д - с рабочим колесом двустороннего всасывания; первые три цифры (650) - подача, м³/ч; последующие три цифры (160) - напор, м; БЦПО - Ц - центробежный многоступенчатый насос секционного типа; 10 - количество рабочих колес.

Т а б л и ц а П4.10

Технические данные сетевых насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
СЭ 160-50 СЭ 160-50-5 СЭ 160-50-16	160	0,49(50)	3000	29	-
СЭ 160-70 СЭ 160-70-5 СЭ 160-70-16	160	0,687(70)	3000	37	-
СЭ 160-100	160	0,98(100)	3000	59	-
СЭ 250-50 СЭ 250-50-16	250	0,49(50)	3000	41	-
СЭ 320-110 СЭ 320-110-5	320	1,08(110)	3000	114	-
СЭ 500-70 (10 СД-6) СЭ 500-70-5	500	0,687(70)	3000	120	-
СЭ 500-70-11 СЭ 500-70-16	500	0,687(70)	3000	103	-
СЭ 500-140 СЭ 500-140-16	500	1,37(140)	3000	210	-
СЭ 800-55-5	800	0,54(55)	1500	132	-
СЭ 800-55-11 СЭ 800-55-16	800	0,54(55)	1500	132	-
СЭ 800-60 (12 СД-9)	800	0,59(60)	1500	150	-
СЭ 800-100 (12 СД10х2)	800	0,98(100)	1500	275	2,25
СЭ 800-100-8	800	0,98(100)	3000	243	-
СЭ 800-100-11 СЭ 800-100-16	800	0,98(100)	1500	243	-
СЭ 800-160 СЭ 800-160-16	800	1,57(160)	3000	378	-
СЭ 1250-45	1250	0,44(45)	1500	185	1,98
СЭ 1250-45-11 СЭ 1250-45-25	1250	0,44(45)	1500	166	-
СЭ 1250-70 (14 СД-9)	1250	0,687(70)	1500	295	2,25
СЭ 1250-70-5	1250	0,687(70)	1500	260	-
СЭ 1250-70-11 СЭ 1250-70-16	1250	0,687(70)	1500	260	-

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерция, кг·м ²
	Подача, м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
СЭ 1250-100	1250	0,98(100)	1500	370	-
СЭ 1250-100-5	1250	0,98(100)	3000	370	-
СЭ 1250-100-16					
СЭ 1250-140 (14 СД10х2)	1250	1,37(140)	1500	580	3,63
СЭ 1250-140-8	1250	1,37(140)	3000	518	-
СЭ 1250-140-11	1250	1,37(140)	1500	518	-
СЭ 1250-140-16					
СЭ-1600-50	1600	0,49(50)	1500	234	-
СЭ 1600-80	1600	0,785(80)	1500	388	-
СЭ 2000-100	2000	0,98(100)	3000	640	-
СЭ 2000-140	2000	1,37(140)	3000	810	-
СЭ 2500-60 (24 СД-15)	2500	0,588(60)	1500	475	3,45
СЭ 2500-60-5	2500	0,588(60)	1500	475	3,45
СЭ 2500-60-11	2500	0,588(60)	1500	422	-
СЭ 2500-60-25					
СЭ 2500-100-25	2500	0,98(100)	1500	-	-
СЭ 2500-180 (18 СД-13)	2500	1,76(180)	3000	1460	1,98
СЭ 2500-180-5	2500	1,76(180)	3000	-	-
СЭ 2500-180-10				1380	-
СЭ 2500-180-16				-	-
СЭ 2500-180-25	2500	1,76(180)	3000	-	-
СЭ 3200-70	3200	0,687(70)	1500	672	-
СЭ 3200-100	3200	0,98(100)	1500	898	-
СЭ 3200-160	3200	1,57(160)	3000	1530	-
СЭ 5000-70	5000	0,687(70)	1500	1095	4,95
СЭ 5000-70-5					
СЭ 5000-70-6					
СЭ 5000-70-10	5000	0,687(70)	1500	1035-1090	-
СЭ 5000-70-16					
СЭ 5000-100	5000	0,98(100)	1500	1340	-
СЭ 5000-100-25					
СЭ 5000-160	5000	1,57(160)	3000	2350-2500	3,88
СЭ 5000-160-8					
СЭ 5000-160-16	5000	1,57(160)	3000	2275	-
СЭ 5000-160-25					

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: СЭ - сете-

вой, горизонтальный насос с приводом от электродвигателя для подачи воды в теплоснабжающую сеть; первая группа цифр - номинальное значение подачи, м³/ч; вторая группа цифр - напор, развиваемый насосом при номинальных подаче, частоте вращения и рабочей температуре жидкости, м; третья группа цифр или цифра - давление жидкости на входе в насос, кгс/см². 2. В скобках указаны ранее применявшиеся типы насосов, которые расшифровываются следующим образом: первые цифры - диаметр нагнетательного патрубка, уменьшенный в 25 раз, мм; С - сетевой насос; Д - двустороннего всасывания; следующие за буквами цифры - коэффициент быстроходности, уменьшенный в 10 раз и округленный; 2 - количество рабочих колес.

Т а б л и ц а П 4.11

Технические данные циркуляционных насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерция, кг·м ²
	Подача, тыс. м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
600В-I, 6/100А (28В-I2)	5,47	0,9 (90)	750	1520-1620	92-142,5
800В-2,5/40 (36В-22)	9,4 7,48-7,85	0,4 (40) 0,21-0,278(21-27,8)	600 500	1190-1300 510-680	71,2-85
800В-2,5/100А (32В-I2)	8,6	0,9 (90)	600	2400-2540	193-207
1000В-4/40 (44В-22)	13,5	0,4 (40)	500	1840	200-203
1000В-4/63А (40В-I6)	12,3	0,6 (60)	500	2200-3600	300-308
1200В-6,3/40 (58В-22)	19,2 21,25-22,6	0,256 (25,6) 0,21-0,269(21-26,9)	300	1690 1400-1935	889-900
ОПВ3-II0	17,9-19,15	0,154-0,228(15,4-22,8)	600	905-1368	150
ОПВ3-I85	50,4	0,192 (19,2)	375	-	1000
ОПВ5-87	11,5 12,0	0,097 (9,7) 0,11 (11)	600	423	25
ОПВ5-II0	14,76-20,52	0,095-0,115(9,5-11,5)	500	477-750	150
ОПВ5-I45	33,5	0,105 (10,5)	375	1275	300
ОПВ6-87	10,6-11,5 8,82-11,1	0,068 (6,8) 0,048 (4,8)	600 500	292 174	25
ОПВ6-II0	18 13,3	0,075 (7,5) 0,042 (4,2)	500 375	487 241	150
ОПВ6-I45	30,6 24,5	0,074 (7,4) 0,046 (4,6)	375 300	800 503	300
ОПВ6-I85	44	0,055 (5,5)	300	908	1000
ОПВ10-I45	33,5	0,17 (17)	375	1855	300
1200В-6,3/63А (52В-I7)	21,2	0,59 (59)	375	3790-4180	1250-1375
1200В-6,3/100А (52В-II)	21,9	0,88 (88)	375	6150-7440	2125-2130

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м ²
	Подача, гнс. м ³ /ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
I600B-I0/40 (72B-22)	31,4 29,7-31,5	0,278 (27,8) 0,214-0,276(21,4-27,6)	250	2750-3000 2060-2750	2450-2092
Д I2500-24 (48Д-22)	12,5	0,236 (23,6)	500	914	108-112,5
48Д-22а	10,0	0,185 (18,5)		586	
ОПБ2-87	10,8 11,4	0,136 (13,6) 0,141 (14,1)	600	495	25
ОПБ2-110	15,84-19,37	0,088-0,153(8,8-15,3)	500	474-916	150
ОПБ2-145	30,6-34,2	0,147-0,145(14,7-14,5)	375	1550	300
ОПБ2-185	47,1-50,4	0,117-0,165(11,7-16,5)	300	1720	1000
ОПБ3-87	11,7 13,46	0,21 (21) 0,21 (21)	750	885	142,5
ОПВ10-185	64,1	0,23 (23)	375	4770	1000
ОПВ10-260Г	13,3	0,26 (26)	250	11130	7500
ОПВ11-185	67,7	0,18 (18)	375	3890	1000
ОПВ11-260Г	145,8	0,193 (19,3)	250	8930	7500
ЦН 900/310 (14М12х4)	1,01	2,94 (294)	1500		13
96 ДПВ 4,5/23Ж	13,3	0,21 (21)	500	865 1160	-
130 ДПВ 8/233Г	28,8	0,23 (23)	375	2200	-
170 ДПВ 12/223Г	43,2	0,22 (22)	300	3500	-
220 ДПВ 16/183Г	68,4	0,23 (23)	250	4930	-

П р и м е ч а н и я: 1. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр:
 ЦН 900/310 - центробежный, высоконапорный, четырехступенчатый с горизонтальным разъемом корпуса насоса: 900 - подача, м³/ч; 310 - напор, м; ОПВ11-260Г - осевой поворотной-лопастной вертикальный насос, 11(2-10) - номер модели рабочего колеса, 260(87, 110, 145, 185) - диаметр рабочего колеса, см; Г - гидравлический привод разворота лопастей; 600B - 1,6/100А - 600 - диаметр напорного патрубка, мм; В - вертикальный; 1,6 - подача перекачиваемой жидкости, м³/с; 100 - напор, м; А - рабочее колесо, отличное от основного;
 Д I2500-24 - насос двустороннего всасывания, I2500 - подача, м³/ч; 24 - напор, м.
 2. В скобках указаны ранее применявшиеся типы насосов.

Т а б л и ц а П4.12

Технические данные молотковых мельниц аксиального типа

Тип мельницы	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м ²
	Производительность, т/ч ^ж	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт ^{жж}	
ММА 1000/350/980МШ	-/2,7	1000	11,5-14,5	27,7
ММА 1000/470/980М	3,5/1,9	1000	15-18,8	29,7
ММА 1000/710/980М	5,2/3,0	1000	21,9-27,5	44,5
ММА 1300/950/740М	8,1/4,6	750	41,2-51,7	148,3
ММА 1500/1190/735М	14,5/8,3	750	85,3-107	396,3
ММА 1500/1670/735М	20,4/11,7	750	119,8-150	554,8
ММА 1660/2030/740М	24/14,0	750	166,7-208	853,8

^жНад чертой - производительность при работе на буром угле, под чертой - на каменном.

^{жж}Значения мощности зависят от вида топлива.

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов мельниц в порядке следования букв и групп цифр: ММА - молотковые мельницы аксиального типа; диаметр ротора, мм; длина ротора, мм; номинальная частота вращения, об/мин; М - модернизированные; Ш - с шахтным сепаратором.

Т а б л и ц а П4.13

Технические данные мельниц-вентиляторов

Тип мельницы	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м ²
	Производительность, т/ч	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
МВ 900/250/1470	3,6	1500	23	66,3
МВ 1050/270/1470	5,5	1500	48	113,5
МВ 1050/400/1470	7,2	1500	61	126,8
МВ 1600/400/980	11,8	1000	116	810
МВ 1600/520/980	15,1	1000	-	890
МВ 1600/600/980	17,2	1000	154	925
МВ 2100/800/735	40	750	245	4199
МВ 2700/850/590	45	600	424	11175
МВ 3300/800/490	60	500	-	21400

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов мельниц в порядке следования букв и групп цифр: МВ - мельницы-вентиляторы; диаметр ротора, мм; длина ротора, мм; номинальная частота вращения, об/мин.

Т а б л и ц а П4.14

Технические данные молотковых мельниц тангенциального типа

Тип мельницы	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м ²
	Производительность, т/ч*	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт**	
ММТ-1000/470-980М	3,3/1,9	1000	13,4-16,8	29,7
ММТ-1000/710/980М	5,0/2,9	1000	20,2-25,4	44,4
ММТ-1000/950/980М	6,5/3,9	1000	27,1-33,9	59,3
ММТ-1300/1310/740М	10,8/8,0	750	53,7-67,3	199,5
ММТ-1300/2030/735М	16/9,4	750	83,2-104,3	314
ММТ-1500/1910/740М	23,4/13,4	750	137-171,3	612,8
ММТ-1500/2510/740М	30,6/17,6	750	180-225,7	842,5
ММТ-2000/2200/735	22	750	394-494,0	1440
ММТ-2000/2590/730	60	750	-	1775
ММТ-2600/2550/590К	50	600	-	4734
ММТ-2000/2600/590К	24	600	294,5-367	1718,8
ММТ-2600/3360/590	70	600	1028-1288	4381,5

*Над чертой - производительность при работе на буром угле, под чертой - на каменном.

**Значения мощности зависят от вида топлива.

П р и м е ч а н и е. Обозначения типов мельниц в порядке следования букв и групп цифр: ММТ - молотковая мельница тангенциального типа; диаметр ротора, мм; длина ротора, мм; номинальная частота вращения, об/мин; М - модернизированные; К - для каменных углей.

Т а б л и ц а П4.15

Технические данные генераторов постоянного тока агрегатов резервного возбуждения

Тип механизма	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м ²
	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность от двигателя, кВт	
ВТ-99/47-7К	840	1000	899	$\frac{400}{2175^*}$
ВТ-174-7К	990	1000	1076	$\frac{400}{2175^*}$
ВТ-18-19/8К	1490	750	1620	$\frac{875}{2750^*}$
ВТ-21/22-6К	2770	500	3011	$\frac{875}{2750^*}$
ГПС 700-900	480	1000	519	$\frac{875}{2750^*}$
ГПС 900-1000	555	1000	602	187,5
ГПС 2000-1000	$\frac{1010}{900}$	1000	1110/989	$\frac{750}{1800^*}$

Тип механизма	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м ²
	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность от двигателя, кВт	
ПГС 3000-750	1600/1800	750	1711/1925	1900 3330 ^ж
ПГС 5200-375	4200	375	4449	10000

^жМомент инерции маховика.

П р и м е ч а н и е. Обозначение типов механизмов: ПГС - генератор постоянного тока специального назначения, первая группа цифр - модельная мощность, кВт, вторая - частота вращения, об/мин; ВГ - возбудитель турбогенераторный, 18, 21 - условное обозначение габарита, 174 - условное обозначение габарита (17) и условная длина пакета якоря, см (4); 6, 7, 8 - количество щеток по длине коллектора; К - компенсационная обмотка; 99/47 - диаметр якоря, см (99), и длина пакета якоря, см (47).

П р и л о ж е н и е 5

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Т а б л и ц а П 5.1

Технические данные двухобмоточных трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения

Тип трансформатора	Полная номинальная мощность МВ·А	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Напряжение короткого замыкания, %	Потеря короткого замыкания, кВт	Потеря холостого хода, кВт	Ток холостого хода, %
		высокого напряжения	низкого напряжения				
ТРДН-25000/35	25	36,75	6,3-6,3	9,5	145	29	0,7
ТРДН-32000/35	32	36,75	6,3-6,3	11,5	185	33	0,7
ТРДН-4000/35	40	36,75	6,3-6,3	8,5	210	39	0,67
ТРДН-63000/35	63	36,75	6,3-6,3	11,5	280	55	0,67
ТРДН-25000/110	25	115	6,6-6,6	10,5	161	36-48	2,0
ТРДН-32000/110	32	115	6,6-6,6	10,5	195	57-95	3,0
ТРДН-40000/110	40	115	6,6-6,6	10,5	175	42-52	0,7
ТРДН-63000/110	63	115	6,6-6,6	10,5	260	59-73	0,65
ТРДН-80000/110	80	115	6,6-6,6	10,5	520	100-120	0,55
ТРДН-32000/150	32	150	6,3-6,3	10,5	175	72-105	3,5
ТРДН-32000/220	32	230	6,3-6,3	12	215	125	4,5
ТРДН-63000/220	63	230	6,3-6,3	12,2	345	137	4
ТРДН-32000/330	32	330	6,3-6,3	-	-	-	-
ТРДН-40000/330	40	330	6,3-6,3	-	-	-	-

П р и м е ч а н и е. Напряжение короткого замыкания трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения дано для параллельного замыкания ее ветвей и отнесено к полной мощности обмотки высокого напряжения.

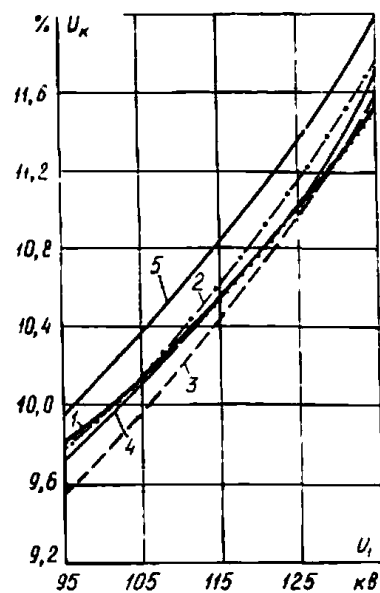


Рис.15.1. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 110 кВ (данные ВНИИЛ "Теплоэлектропроект"):

1 - ТДН-16000/110, 2 - ТРДН-25000/110, 3 - ТРДН-40000/110, 4 - ТРДН-32000/110, 5 - ТРДН-63000/110.

Примечания: 1. Значения напряжения короткого замыкания трансформатора отнесены к номинальному напряжению соответствующего ответвления РПН. 2. Диапазон регулирования напряжения на трансформаторах 110 $\pm 9 \times 1,78\%$.

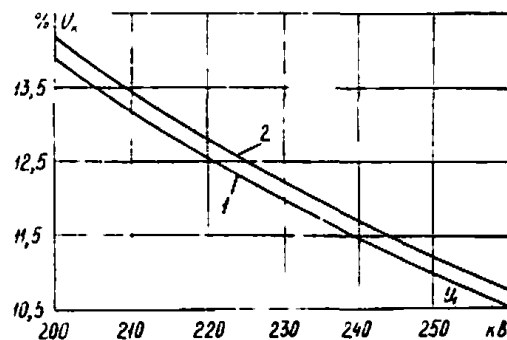


Рис.15.2. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 220 кВ (данные ВНИИЛ "Теплоэлектропроект"):

1 - трансформатор ТРДНТ-32000/220;
2 - трансформатор ТРДНТ-63000/220.

Примечания: 1. Значения напряжения короткого замыкания трансформатора отнесены к номинальному напряжению соответствующего ответвления РПН. 2. Диапазон регулирования напряжения на трансформаторах 220 $\pm 10 \times 1,2\%$.

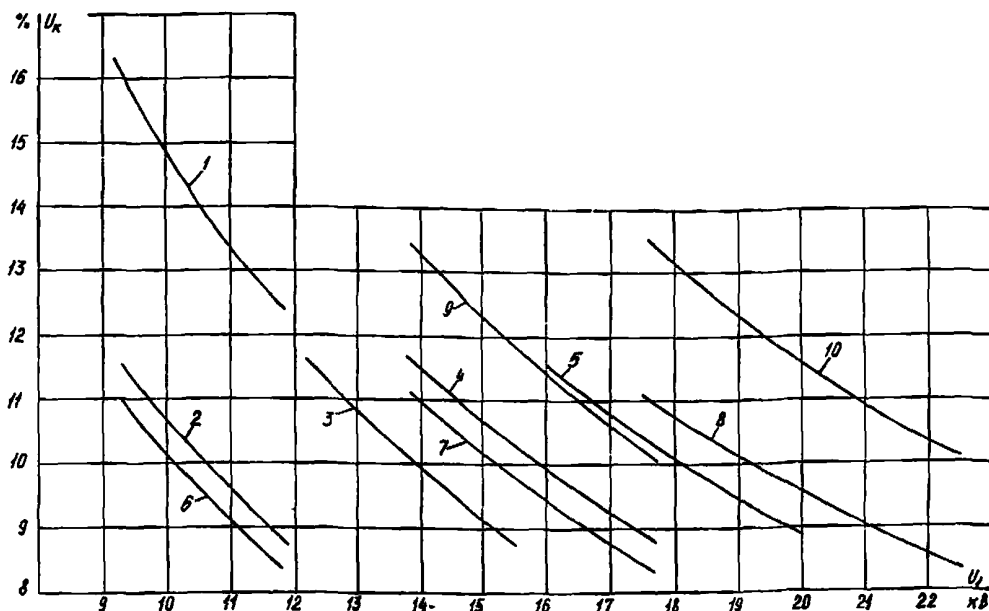


Рис.П5.3. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 35 кВ (данные ВНИИПИ "Теплоэлектропроект"):

- 1 - ТЛНС-10000/35; 10,5 ± 8 x 1,5% / 6,3;
- 2 - ТЛНС-16000/35; 10,5 ± 8 x 1,5% / 6,3;
- 3 - ТЛНС-16000/35; 13,8 ± 8 x 1,5% / 6,3;
- 4 - ТЛНС-16000/35; 15,75 ± 8 x 1,5% / 6,3;
- 5 - ТЛНС-16000/35; 18 ± 8 x 1,5% / 6,3;
- 6 - ТРЛНС-25000/10У1; 10,5 ± 8 x 1,5% / 6,3-6,3;
- 7 - ТРЛНС-25000/35У1; 15,75 ± 8 x 1,5% / 6,3-6,3;
- 8 - ТРЛНС-25000/35У1; 20 ± 8 x 1,5% / 6,3-6,3;
- 9 - ТРЛНС-32000/35У1; 15,75 ± 8 x 1,5% / 6,3-6,3;
- 10 - ТРЛНС-32000/35У1; 20 ± 8 x 1,5% / 6,3-6,3;

П р и м е ч а н и я: 1. Напряжения короткого замыкания трансформаторов отнесены к номинальному напряжению соответствующего ответвления РПН.-2. Указание на рисунке кривые зависимости напряжения короткого замыкания трансформаторов от номинального напряжения ответвлений построены на основании ТУ 16-517.642-72, исходя из того, что на крайних ступенях регулирования расчетные значения напряжения короткого замыкания, отнесенные к номинальному значению напряжения основного ответвления, отличаются на 10% от значений напряжения короткого замыкания при основном положении переключателя РПН.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Таблица П6.1

Технические данные одинарных реакторов по ГОСТ 14794-79 климатического исполнения У2, У3

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Номинальные потери мощности на фазу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
РБ; РБУ; РБГ	10-250-1,00 У2	1,00	1,8	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-1,40 У2	1,40	2,0	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-2,00 У2	2,00	2,5	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-2,50 У2	2,50	3,3	250
РБ; РБУ; РБГ	10-400-0,35 У3	0,35	1,6	400
РБ; РБУ; РБГ	10-400-0,45 У3	0,45	1,9	400
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,25 У3	0,25	2,5	630
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,40 У3	0,40	3,2	630
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,56 У3	0,56	4,0	630
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,14 У3	0,14	3,5	1000
РБ; РБУ	10-1000-0,22 У3	0,22	4,4	1000
РБГ	10-1000-0,22 У3	0,22	4,4	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,28 У3	0,28	5,2	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,35 У3	0,35	5,9	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,45 У3	0,45	6,6	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,56 У3	0,56	7,8	1000
РБ; РБУ	10-1600-0,14 У3	0,14	6,1	1600
РБГ	10-1600-0,14 У3	0,14	6,1	1600
РБ; РБУ	10-1600-0,20 У3	0,20	7,5	1600
РБГ	10-1600-0,20 У3	0,20	7,5	1600
РБ; РБУ; РБГ	10-1600-0,25 У3	0,25	8,3	1600
РБ; РБУ; РБГ	10-1600-0,35 У3	0,35	11,0	1600
РБД; РБДУ	10-2500-0,14 У3	0,14	11,0	2150
РБГ	10-2500-0,14 У3	0,14	11,0	2500
РБД; РБДУ	10-2500-0,20 У3	0,20	14,0	2150
РБГ	10-2500-0,20 У3	0,20	14,0	2500
РБДГ	10-2500-0,25 У3	0,25	16,1	2150
РБДГ	10-2500-0,35 У3	0,35	20,5	2000
РБДГ	10-4000-0,10 У3	0,10	18,5	3750
РБДГ	10-4000-0,18 У3	0,18	27,7	3200

Т а б л и ц а П 6.2

Технические данные одноконтурных реакторов по ГОСТ 14794-79 климатического исполнения УЗ, ТЗ

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Индуктивное сопротивление		Номинальный коэффициент связи	Номинальные потери мощности на базу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
			обеих ветвей последовательно X_c , Ом	каждой ветви при встречных токах $X_{0,5}$, Ом			
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,25 УЗ	0,25	0,73	0,135	0,46	4,8	2х630
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,40 УЗ	0,40	1,20	0,200	0,50	6,3	2х630
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,56 УЗ	0,56	1,71	0,263	0,53	7,8	2х630
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х1000-0,14 УЗ	0,14	0,42	0,071	0,49	6,4	2х1000
РБС; РБСУ	10-2х1000-0,22 УЗ	0,22	0,67	0,103	0,53	8,4	2х1000
РБСТ	10-2х1000-0,22 УЗ	0,22	0,67	0,103	0,53	8,4	2х1000
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х1000-0,28 УЗ	0,28	0,86	0,132	0,53	10,0	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,35 УЗ	0,35	1,08	0,159	0,55	11,5	2х960
РБСТ	10-2х1000-0,35 УЗ	0,35	1,08	0,159	0,55	11,5	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,45 УЗ	0,45	1,34	0,230	0,49	13,1	2х960
РБСТ	10-2х1000-0,45 УЗ	0,45	1,34	0,230	0,49	13,1	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,56 УЗ	0,56	1,68	0,280	0,50	15,7	2х900
РБСТ	10-2х1000-0,56 УЗ	0,56	1,68	0,280	0,50	15,7	2х1000
РБС; РБСУ	10-2х1600-0,14 УЗ	0,14	0,44	0,062	0,56	11,5	2х1600
РБСТ	10-2х1600-0,14 УЗ	0,14	0,44	0,062	0,56	11,5	2х1600
РБСД; РБСДУ	10-2х1600-0,20 УЗ	0,20	0,60	0,098	0,51	14,3	2х1420
РБСТ	10-2х1600-0,20 УЗ	0,20	0,60	0,098	0,51	14,3	2х1600
РБСД; РБСДУ	10-2х1600-0,25 УЗ	0,25	0,76	0,119	0,52	16,7	2х1350
РБСДГ	10-2х1600-0,25 УЗ	0,25	0,76	0,119	0,52	16,7	2х1500
РБСДГ	10-2х1600-0,35 УЗ	0,35	1,07	0,197	0,46	22,0	2х1470
РБСДГ	10-2х2500-0,14 УЗ	0,14	0,43	0,067	0,52	22,5	2х2100
РБСДГ	10-2х2500-0,20 УЗ	0,20	0,58	0,109	0,46	32,1	2х1800
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,25 ТЗ	0,25	0,76	0,135	0,46	6,4	2х630
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,40 ТЗ	0,40	1,20	0,200	0,50	8,3	2х630
РБС; РБСУ; РБСТ	10-2х630-0,56 ТЗ	0,56	1,62	0,316	0,44	10,0	2х630

Т а б л и ц а П 6.3

Технические данные одноконтурных реакторов по ГОСТ 14794-79 климатического исполнения ТЗ

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Номинальные потери мощности на базу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
РБ; РБУ; РБГ	10-250-1,00 ТЗ	1,00	1,8	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-1,40 ТЗ	1,40	2,0	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-2,00 ТЗ	2,0	2,6	250

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы П 6.3

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Номинальные потери мощности на фазу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
РБ; РБУ; РБГ	10-250-2,50 ТЗ	2,50	3,5	250
РБ; РБУ; РБГ	10-400-0,35 ТЗ	0,35	1,9	400
РБ; РБУ; РБГ	10-400-0,45 ТЗ	0,45	2,5	400
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,25 ТЗ	0,25	2,5	630
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,40 ТЗ	0,40	3,4	630
РБ; РБУ; РБГ	10-630-0,56 ТЗ	0,56	3,8	630
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,14 ТЗ	0,14	3,4	1000
РБ; РБУ	10-1000-0,22 ТЗ	0,22	4,8	1000
РБГ	10-1000-0,22 ТЗ	0,22	4,8	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,28 ТЗ	0,28	5,3	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,35 ТЗ	0,35	6,1	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,45 ТЗ	0,45	7,0	1000
РБ; РБУ; РБГ	10-1000-0,56 ТЗ	0,56	7,9	1000
РБ; РБУ	10-1600-0,14 ТЗ	0,14	7,6	1600
РБГ	10-1600-0,14 ТЗ	0,14	7,6	1600
РБ; РБУ	10-1600-0,20 ТЗ	0,20	9,3	1600
РБГ	10-1600-0,20 ТЗ	0,20	9,3	1600
РБ; РБУ; РБГ	10-1600-0,25 ТЗ	0,25	10,5	1600
РБ; РБУ; РБГ	10-1600-0,35 ТЗ	0,35	13,8	1600
РБГ	10-2500-0,14 ТЗ	0,14	17,0	2500
РБГ	10-2500-0,20 ТЗ	0,20	20,5	2500
РБДГ	10-2500-0,25 ТЗ	0,25	22,5	2400
РБДГ	10-2500-0,35 ТЗ	0,35	30,5	2300
РБДГ	10-4000-0,105 ТЗ	0,105	26,5	3700
РБДГ	10-4000-0,18 ТЗ	0,18	36,0	3500

Т а б л и ц а П 6.4

Технические данные одинарных и двояных реакторов до ГОСТ 14794-79 климатического исполнения У1

Тип реактора	Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Индуктивное сопротивление		Номинальный коэффициент связи	Номинальные потери мощности на фазу, кВт
		обеих ветвей последовательно X_c , Ом	каждой ветви при встречных токах $X_{0,5}$, Ом		
РБГ 10-1000-0,45 У1	0,45	-	-	-	7,4
РБГ 10-1000-0,56 У1	0,56	-	-	-	8,5
РБГ 10-1600-0,25 У1	0,25	-	-	-	10,1
РБГ 10-1600-0,35 У1	0,35	-	-	-	13,1
РБГ 10-2500-0,14 У1	0,14	-	-	-	13,8
РБГ 10-2500-0,20 У1	0,20	-	-	-	16,8
РБГ 10-2500-0,25 У1	0,25	-	-	-	20,0
РБГ 10-2500-0,35 У1	0,35	-	-	-	24,2
РБСТ 10-2x1000-0,45 У1	0,45	1,30	0,25	0,44	15,6
РБСТ 10-2x1000-0,56 У1	0,56	1,58	0,33	0,41	17,8
РБСТ 10-2x1600-0,25 У1	0,25	0,75	0,12	0,51	22,4
РБСТ 10-2x2500-0,14 У1	0,14	0,45	0,06	0,60	29,6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕШНЕЙ СЕТИ,
ПРИВЕДЕНИЕ ИХ К ОДНОМУ ЗНАЧЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ [16]

Приведение параметров
к основному напряжению

При выполнении расчетов схему, содержащую силовые трансформаторы или автотрансформаторы, в целях упрощения заменяют электрически связанной цепью, параметры которой приведены к одному значению напряжения.

Точное приведение некоторых параметров элементов внешней сети выполняется по следующим формулам:

$$\dot{E} = (k_1, k_2 \dots k_n) E ; \quad (\text{П7.1})$$

$$\dot{U} = (k_1, k_2 \dots k_n) U ; \quad (\text{П7.2})$$

$$\dot{I} = I / (k_1, k_2 \dots k_n) ; \quad (\text{П7.3})$$

$$\dot{Z} = Z (k_1, k_2 \dots k_n)^2, \quad (\text{П7.4})$$

где $\dot{E}, \dot{U}, \dot{I}, \dot{Z}$ - приведенные к выбранному значению напряжения ЭДС, напряжение, ток, сопротивление; E, U, I, Z - неприведенные значения ЭДС, напряжения, тока, сопротивления; $k_1, k_2, \dots, k_n$ - коэффициенты трансформации силовых трансформаторов, которые определяются для режима холостого хода как отношение линейного напряжения ответвления обмотки, обращенной в сторону выбранного значения напряжения, к линейному напряжению другой обмотки трансформатора, находящейся ближе к напряжению, элементы которого подлежат приведению.

Значения сопротивления элементов внешней сети могут быть заданы в относительных единицах, отнесенных к номинальным условиям. В этом случае значение сопротивления элемента Z , Ом, определяется по формуле

$$Z = Z_{* \text{ ном}} U_{\text{ном}} / (\sqrt{3} I_{\text{ном}}) = \\ = Z_{* \text{ ном}} U_{\text{ном}}^2 / S_{\text{ном}}, \quad (\text{П7.5})$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение элемента внешней сети, В; $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток элемента внешней сети, А; $S_{\text{ном}}$ - номинальная полная мощность, В·А; $Z_{* \text{ ном}}$ - сопротивление элемента внешней сети, отнесенное к номинальным условиям, отн.ед.

В расчетах для большинства случаев выполняют приближенное приведение к выбранному основному напряжению (основной ступени). Сущность приближенного приведения заключается в следующем. Номинальные напряжения всех элементов, находящихся под одним напряжением, принимаются одинаковыми и равными средним значениям соответственно: 515, 304, 230; 154; 115; 37; 24; 20; 18; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15 кВ.

При приближенном приведении аналитические выражения (П7.1-П7.5) примут вид:

$$\dot{E} = U_{\text{ср.о}} E / U_{\text{ср}} ; \quad (\text{П7.6})$$

$$\dot{U} = U_{\text{ср.о}} U / U_{\text{ср}} ; \quad (\text{П7.7})$$

$$\dot{I} = U_{\text{ср}} I / U_{\text{ср.о}} ; \quad (\text{П7.8})$$

$$\dot{Z} = Z (U_{\text{ср.о}} / U_{\text{ср}})^2, \quad (\text{П7.9})$$

где U_{cp} - среднее номинальное напряжение ступени, на которой находится элемент;
 $U_{ср0}$ - среднее номинальное произвольно выбранное основное напряжение.

Определение параметров

Воздушные и кабельные линии. Воздушные и кабельные линии характеризуются продольными активным и индуктивным сопротивлениями и поперечными активной и емкостной электрическими проводимостями. При напряжении 110 кВ и менее влияние поперечных электрических проводимостей очень незначительно, поэтому они обычно не учитываются [25]. При напряжении 150 кВ и более значительно возрастают емкостные мощности и активные потери на корону, а с увеличением длины линии возрастает степень проявления волнового характера электромагнитных процессов. Поэтому пренебрежение поперечными электрическими проводимостями недопустимо. При длине воздушной линии до 200 км последняя при расчетах заменяется общезвестной П- или Т-образной эквивалентной схемой замещения. При длине воздушной линии более 200 км последняя также замещается П- или Т-образной схемой замещения, если исследуются процессы на концах линии.

Определение активной и реактивной электрических проводимостей ВЛ подробно изложено в литературе по электрическим системам и сетям.

Продольные сопротивления линий определяются по удельному сопротивлению на 1 км длины по формулам:

$$R_{\text{л}} = R_0 \ell; \quad (\text{П7.10})$$

$$X_{\text{л}} = X_0 \ell, \quad (\text{П7.11})$$

где ℓ - длина линии, км; R_0 - удельное активное сопротивление линии, Ом/км; X_0 - удельное индуктивное сопротивление линий, Ом/км.

Удельное активное сопротивление линии рассчитывается по формуле

$$R_0 = 10^3 / (\gamma q), \quad (\text{П7.12})$$

где q - сечение провода, м^2 ; γ - удельная электрическая проводимость материала, АОм/м (для меди $\gamma = 53 \text{ АОм/м}$, для алюминия $\gamma = 32 \text{ АОм/м}$).

Удельное индуктивное сопротивление линии определяется по формуле

$$X_0 = 314 [4,6 \lg(D_{cp}/r) + 0,5] 10^{-4}, \quad (\text{П7.13})$$

где r - внешний радиус провода, см (мм);

D_{cp} - среднее геометрическое расстояние между проводами линии, см (мм).

Среднее геометрическое расстояние между проводами линии трехфазного переменного тока вычисляется по формуле

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}, \quad (\text{П7.14})$$

где D_1, D_2, D_3 - расстояния между проводами отдельных фаз, см (мм).

Индуктивное сопротивление воздушной линии с расщепленными проводами определяется также по формуле (П7.13), в которой

$$r = r_3 = \sqrt[n]{r a_{cp}^{n-1}}, \quad (\text{П7.15})$$

где r_3 - радиус эквивалентного провода, см (мм); n - количество проводов в одной фазе линии, шт.; a_{cp} - среднее геометрическое расстояние между проводами одной фазы линии, см (мм).

Для воздушных линий в качестве средних расчетных значений индуктивного сопротивления на фазу рекомендуется принимать: 0,4 Ом/км - для линий на напряжение 6-220 кВ; 0,33 Ом/км - для линий на напряжение 330 кВ (при наличии двух проводов в фазе); 0,3 Ом/км - для линий на напряжение 400-500 кВ (при наличии трех проводов в фазе).

Для кабельных линий в качестве средних расчетных значений индуктивного сопротивления на фазу рекомендуется принимать для трехжильных кабелей: 0,07 Ом/км - для линий на напряжение 3 кВ; 0,08 Ом/км - для линий на напряжение 6-10 кВ; 0,12 Ом/км - для линий на напряжение 35 кВ.

Шинопроводы. Активное и индуктивное сопротивления шинопровода определяются по

формулам (П7.10), (П7.11). Удельное активное сопротивление шинпровода рассчитывается по формуле (П7.12).

Удельное индуктивное сопротивление шинпровода определяется по формуле:

$$X_0 = 145 \cdot 10^{-6} \lg [D_{cp} / (0,25 h)] , \quad (\text{П7.16})$$

где h - высота сечения профиля шин, см (мм);
 D_{cp} - среднегеометрическое расстояние между отдельными фазами шин, см (мм).

Токоограничивающие реакторы. Активное сопротивление одинарного токоограничивающего реактора рассчитывается по формуле

$$R_p = \Delta P_K \cdot 10^3 / (3 I_{ном.р}^2) , \quad (\text{П7.17})$$

где ΔP_K - потери мощности короткого замыкания, кВт; $I_{ном.р}$ - номинальный ток реактора, А.

Индуктивное сопротивление одинарного токоограничивающего реактора вычисляется по формуле

$$X_p = X_{*р} U_{ном} / (\sqrt{3} I_{ном.р} 10^2) , \quad (\text{П7.18})$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение реактора, В; $I_{ном.р}$ - номинальный ток реактора, А;
 $X_{*р}$ - индуктивное сопротивление реактора, отнесенное к номинальным условиям, %.

для двоясного токоограничивающего реактора эквивалентная схема замещения аналогична схеме замещения двухобмоточного трансформатора с расщеплением на две части обмоткой низкого напряжения. Сопротивления схемы замещения двоясного реактора зависят от режима его работы.

Индуктивные сопротивления двоясного реактора (табл.П7.1) рассчитываются:

для одноцепного режима работы по формуле (П7.18), в которой $X_{*р}$ - индуктивное сопротивление одной ветви реактора при обесточенной другой;

для двухцепного (сквозного) режима работы при равенстве токов в обеих ветвях по формуле

$$X_{схв} = 0,5 (1 - K_{св}) X_{*р} U_{ном} / (\sqrt{3} I_{ном.р} \times 10^2) , \quad (\text{П7.19})$$

где $K_{св}$ - коэффициент магнитной связи расщепления между ветвями; $X_{схв}$ - общее сопротивление реактора; сопротивления элементов схемы замещения определяются по формулам:

$$X_0 = -K_{св} X_p ; \quad (\text{П7.20})$$

$$X_1 = X_2 = (1 + K_{св}) X_p ; \quad (\text{П7.21})$$

для продольного режима работы по формуле

$$X_p = 2(1 + K_{св}) X_{*р} U_{ном} / (\sqrt{3} I_{ном.р} 10^2) . \quad (\text{П7.22})$$

Двухобмоточные трансформаторы. Активное сопротивление трансформатора (см.табл. П7.1) определяется по формуле

$$R_T = \Delta P_K U_{ном}^2 / S_{ном}^2 , \quad (\text{П7.23})$$

где $S_{ном}$ - номинальная полная мощность, кВ·А.

Полное сопротивление трансформатора, Ом, рассчитывается по формуле

$$Z_T = U_K U_{ном}^2 / S_{ном} , \quad (\text{П7.24})$$

где U_K - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Индуктивное сопротивление трансформатора вычисляется по формуле

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (\text{П7.25})$$

Двухобмоточные трансформаторы с расщепленной обмоткой низкого напряжения. Полное "сквозное" сопротивление Z_{BH} трансформатора определяется по формуле (П7.24), в которой U_K - напряжение короткого замыкания трансформатора при замкнутых накоротко и соединенных параллельно ветвях расщепленной обмотки, отнесенное к полной мощности трансформатора.

Активное "сквозное" сопротивление R_{BH} трансформатора рассчитывается по формуле (П7.23), в которой ΔP_K - потери мощности короткого замыкания при замкнутых накоротко и соединенных параллельно ветвях расщепленной обмотки, отнесенные к полной мощности трансформатора.

Индуктивное "сквозное" сопротивление X_{BH} трансформатора вычисляется по формуле (П7.25).

Индуктивные сопротивления эквивалентной схемы замещения определяются по формулам:

$$X_B = X_{BH} \left[1 + K_p / (2n) \right]; \quad (\text{П7.26})$$

$$X_{H1} = X_{H2} = X_{BH} K_p / 2, \quad (\text{П7.27})$$

где K_p - коэффициент расщепления, характеризующий степень магнитной связи электрически не связанных между собой ветвей расщепленной обмотки и зависящий от конструкции трансформатора, рассчитывается по формуле

$$K_p = U_{K.B(H1-H2)} / U_{K.B(H1-H2)}, \quad (\text{П7.28})$$

где $U_{K.B(H1-H2)}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора при соединенных параллельно и замкнутых накоротко ветвях расщепленной обмотки, отнесенное к полной мощности обмотки высокого напряжения трансформатора, %; $U_{K(H1-H2)}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора при замкнутой накоротко одной из расщепленных ветвей и разомкнутой обмотке высокого напряжения, отнесенное к полной номинальной мощности обмотки высокого напряжения трансформатора.

В тех случаях, когда напряжение короткого замыкания трансформатора $U_{K.B(H1-H2)}$

отнесено к половинной мощности, полученное значение коэффициента расщепления по формуле (П7.28) необходимо увеличить вдвое.

Для существующих конструкций трехфазных трансформаторов на напряжение 10-220 кВ с расщепленной обмоткой низкого напряжения среднее значение коэффициента $K_p = 3,5$.

Учитывая, что номинальные мощности каждой расщепленной обмотки равны половине номинальной мощности трансформатора, активные сопротивления эквивалентной схемы замещения рассчитываются следующим образом (см. табл. П7.1):

$$R_B = 0,5 R_{BH}; \quad (\text{П7.29})$$

$$R_1 = R_2 = 2R_B = R_{BH} \quad (\text{П7.30})$$

Трехфазный трехобмоточный трансформатор. Параметры схемы замещения зависят от исполнения трансформатора. Имеется три исполнения этих трансформаторов по соотношению мощностей обмоток соответственно высокого, среднего, низкого напряжений:

- а) 100/ 100/ 100 %;
- б) 100/ 100/66,7 %;
- в) 100/66,7/100 %.

При соотношении мощностей обмоток 100/ 100/ 100 % активные сопротивления схемы замещения определяются по формуле

$$R_B = R_C = R_H = \Delta P_K U_{ном}^2 / (2S_{ном}^2), \quad (\text{П7.31})$$

где R_B, R_C, R_H - активные сопротивления соответственно обмоток высокого, среднего, низкого напряжений, Ом.

При соотношении мощностей обмоток 100/100/66,7 % активные сопротивления схемы замещения R_B и R_C определяются по формуле (П7.31), а сопротивление R_H рассчитывается по формуле

$$R_H = 1,5 R_B \quad (\text{П7.32})$$

При соотношении мощностей обмоток трансформатора 100/66,7/100 % активные сопротивления R_B и R_H вычисляются по формуле (П7.31), а сопротивление R_C - по формуле (П7.32).

В каталогах на трансформаторы даются либо три значения потерь активной мощности при коротком замыкании $\Delta P_{K.B-C}$, $\Delta P_{K.B-H}$, $\Delta P_{K.C-H}$, либо одно значение максимальных потерь ΔP_K , которое определяется при коротком замыкании обмотки среднего или низкого напряжений при питании со стороны обмотки высокого напряжения.

При наличии трех значений потерь мощностей короткого замыкания активные сопротивления схемы замещения определяются по формуле (П7.23), в которой ΔP_K принимает значения, рассчитываемые по формулам:

$$\Delta P_{K.B} = 0,5(\Delta P_{K.B-C} + \Delta P_{K.B-H} - \Delta P_{K.C-H}); \quad (\text{П7.33})$$

$$\Delta P_{K.C} = 0,5(\Delta P_{K.B-C} + \Delta P_{K.C-H} - \Delta P_{K.B-H}); \quad (\text{П7.34})$$

$$\Delta P_{K.H} = 0,5(\Delta P_{K.B-H} + \Delta P_{K.C-H} - \Delta P_{K.B-C}), \quad (\text{П7.35})$$

где $\Delta P_{K.B-C}$ - потери мощности короткого замыкания трансформатора при замкнутой накоротку обмотке среднего напряжения и разомкнутой обмотке низкого напряжения, кВт; $\Delta P_{K.B-H}$ - потери мощности короткого замыкания трансформатора при разомкнутой обмотке среднего напряжения и замкнутой накоротку обмотке низкого напряжения, кВт;

$\Delta P_{K.C-H}$ - потери мощности короткого замыкания при замкнутой накоротку обмотке низкого напряжения и разомкнутой обмотке высокого напряжения, кВт.

Полные сопротивления Z_B, Z_C, Z_H эквивалентной схемы замещения трехобмоточного трансформатора определяются по формуле (П7.24), в которой напряжение короткого

замыкания трансформатора U_K принимает значения, рассчитываемые по формулам:

$$U_B = 0,5(U_{K.B-C} + U_{K.B-H} - U_{K.C-H}); \quad (\text{П7.36})$$

$$U_C = 0,5(U_{K.B-C} + U_{K.C-H} - U_{K.B-H}); \quad (\text{П7.37})$$

$$U_H = 0,5(U_{K.B-H} + U_{K.C-H} - U_{K.B-C}), \quad (\text{П7.38})$$

где $U_{K.B-C}, U_{K.B-H}, U_{K.C-H}$ - напряжения короткого замыкания трансформатора соответственно: при замкнутой накоротку обмотке среднего напряжения и разомкнутой обмотке низкого напряжения; при замкнутой накоротку обмотке низкого напряжения и разомкнутой обмотке среднего напряжения; при замкнутой обмотке низкого напряжения и разомкнутой обмотке высокого напряжения. Эти значения напряжения короткого замыкания даны в технической документации и каталогах на трансформаторы в процентах.

Индуктивные сопротивления X_B, X_C, X_H схемы замещения трехобмоточного трансформатора вычисляются по формуле (П7.25), в которой сопротивление Z_T принимает соответственно значения Z_B, Z_C, Z_H

Автотрансформатор с обмоткой низкого напряжения (трехобмоточный автотрансформатор) [18]. Эквивалентная схема замещения автотрансформатора аналогична схеме замещения трехобмоточного трансформатора.

Индуктивные сопротивления X_B, X_C, X_H определяются, как и для трехобмоточных трансформаторов.

Активные сопротивления схемы замещения автотрансформатора определяются по формуле (П7.31), в которой ΔP_K принимает значения, рассчитываемые по формулам:

$$\Delta P_{K.B} = 0,5(\Delta P_{K.B-C} + \Delta P_{K.B-H} - \Delta P_{K.C-H}); \quad (\text{П7.39})$$

$$\Delta P_{к.с} = \Delta P_{к.в-с} - \Delta P_{кв}; \quad (\text{П7.40})$$

$$\Delta P_{к.н} = \Delta P_{к.в-н} - \Delta P_{кв}, \quad (\text{П7.41})$$

где $\Delta P_{к.в-с}$, $\Delta P_{к.в-н}$, $\Delta P_{к.с-н}$ - потери

мощности короткого замыкания, как и для трехобмоточного трансформатора, кВт.

В технической документации или каталогах на автотрансформаторы даются: напряжение короткого замыкания $U_{к.в-с}$, потери мощности короткого замыкания $\Delta P_{к.в-с}$, отнесенные к номинальной мощности $S_{ном}$; значения напряжения короткого замыкания $U'_{к.в-н}$, $U'_{к.с-н}$, потерь мощности короткого замыкания $\Delta P'_{к.в-н}$, $\Delta P'_{к.с-н}$, отнесенные к типовой

мощности (номинальной мощности обмотки низкого напряжения) S_T . Для определения параметров схемы замещения автотрансформатора необходимо величины $U'_{к.в-н}$, $U'_{к.с-н}$, $\Delta P'_{к.в-н}$, $\Delta P'_{к.с-н}$ привести к номинальной мощности автотрансформатора по формулам:

$$U_{к.с-н} = U'_{к.с-н} S_{ном} / S_T; \quad (\text{П7.42})$$

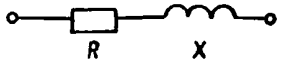
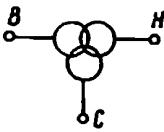
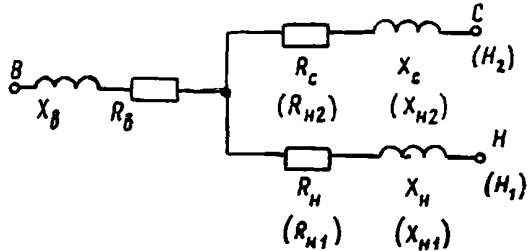
$$U_{к.в-н} = U'_{к.в-н} S_{ном} / S_T; \quad (\text{П7.43})$$

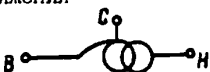
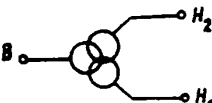
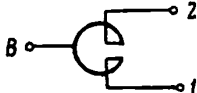
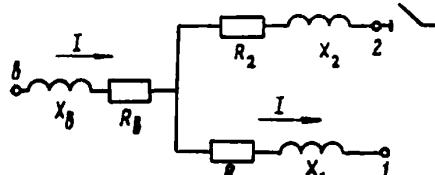
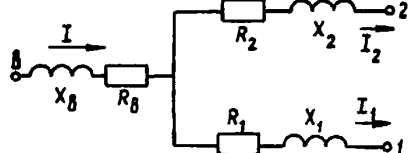
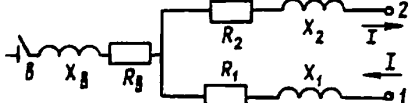
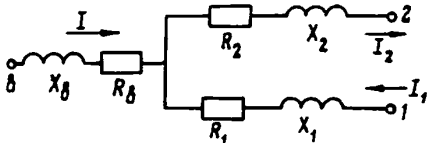
$$\Delta P_{к.с-н} = \Delta P'_{к.с-н} (S_{ном} / S_T)^2; \quad (\text{П7.44})$$

$$\Delta P_{к.в-н} = \Delta P'_{к.в-н} (S_{ном} / S_T)^2. \quad (\text{П7.45})$$

Т а б л и ц а П7.1

Условные обозначения и схемы замещения элементов внешней сети

Условное обозначение элемента на расчетной схеме	Упрощенная схема замещения
Воздушная линия 	
Кабельная линия 	
Шинопровод 	
Токоограничивающий одинарный реактор 	
Трехфазный двухобмоточный трансформатор 	
Трехфазный трехобмоточный трансформатор 	

Условное обозначение элемента на расчетной схеме	Упрощенная схема замещения
Автотрансформатор с обмоткой низкого напряжения 	
Трехфазный двухобмоточный трансформатор с расщепленной обмоткой низкого напряжения 	
Токоограничивающий сдвоенный реактор  Режимы работы: одноцепной	
двухцепной (сквозной)	
продольный	
продольно-одноцепной (комбинированный)	

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ МОМЕНТА ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
И МОМЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ МЕТОДОМ ПЛОЩАДЕЙ

Средние значения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизмов определяются методом площадей, основанным на равенстве площадей S_1 и S_2 , ограниченных на плоскости кривой $M_{\partial j}(n)$ и прямой $M_{\partial \text{ср}j}$ (рис.П8.1), а также площадей S_3 и S_4 , ограниченных кривой $M_{\text{с}j}(n)$ и прямой $M_{\text{с} \text{ср}j}$.

Площадь, ограниченная кривыми $M_{\partial j}(n)$, $M_{\text{с}j}(n)$ на плоскости, определяется как сумма площадей элементарных фигур (в данном случае прямоугольников), на которые может быть разделена вся площадь под кривой (рис.П8.2) по формулам:

$$M_{\partial \text{ср}j} = \sum_{i=1}^K M_i \Delta n_i; \quad (\text{П8.1})$$

$$M_{\text{с} \text{ср}j} = \sum_{i=1}^K M_{\text{с}i} \Delta n_i, \quad (\text{П8.2})$$

где K - общее количество расчетных интервалов по скольжению (или частоте вращения);
 i - порядковый номер расчетного интервала;
 Δn_i - расчетный интервал по скольжению, отн.ед.; M_i и $M_{\text{с}i}$ - значения вращающего момента ЭД и момента сопротивления механизма в середине расчетного интервала, отн.ед.

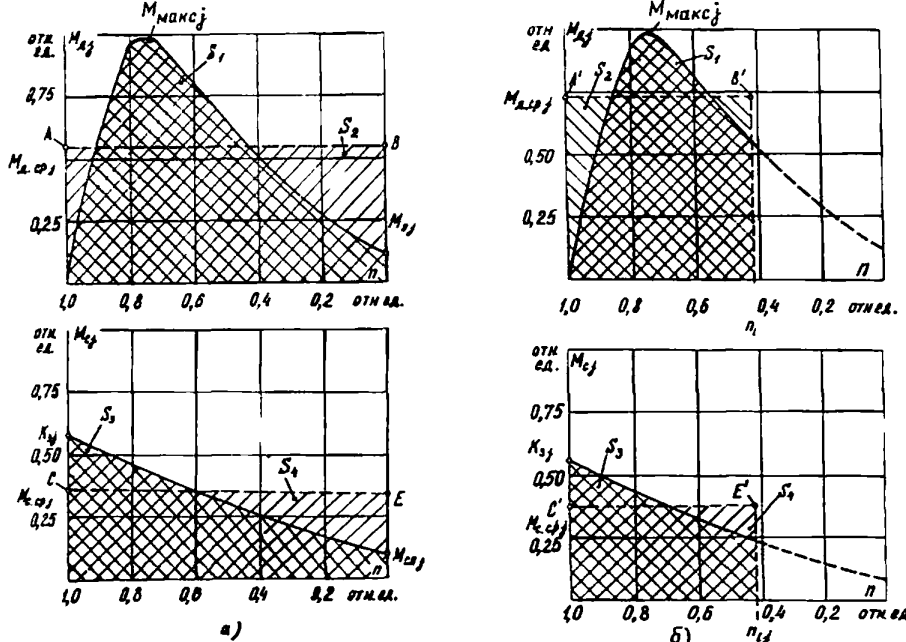


Рис.П8.1. Кривые зависимостей для определения средних значений момента вращения электродвигателей и момента сопротивления механизмов:

а - при пуске электродвигателя; б - при самозапуске электродвигателя

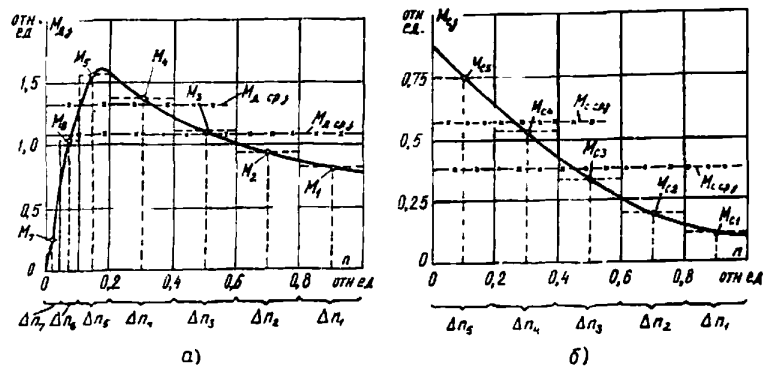


Рис.П8.2. Кривые зависимостей для определения площади, ограниченной кривыми $M_{\partial j}(n)$ [а] и $M_{\text{с}j}(n)$ [б]

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Целью данного приложения является иллюстрация применения предложенных упрощенных методов расчета установившихся и переходных режимов работы электродвигателей СН электростанций на конкретных примерах.

Пример I.

Для ЭД, подключенных к секции А (табл. П9.1), при известном значении напряжения, равном 6 кВ, выполнить расчет установившегося режима. При расчете учесть статическую (недвигательную) нагрузку мощностью 630 кВт с коэффициентом мощности 0,75, подключенную к данной секции.

Для каждого ЭД определяются: частота вращения вала; ток статора; активная мощность, потребляемая из сети; реактивная мощность, потребляемая из сети; полная мощность; коэффициент мощности.

Для группы ЭД секции СН рассчитываются: ток ввода рабочего питания; активная, реактивная, полная мощности; коэффициент мощности.

Для каждого ЭД определяются:

1. Количество пар полюсов ЭД питающего электронасоса (ПЭН) по формуле

$$p_j = \left[\frac{3000}{n_{номj}} \right] = \left[\frac{3000}{2985} \right] = 1,$$

где квадратные скобки указывают на выделение целой части заключенного в них числа.

Результаты расчетов для других ЭД представлены в табл. П9.2.

2. Номинальное скольжение ЭД по (3)

$$s_{номj} = 1 - 1 \times 2985/3000 = 0,005 \text{ отн.ед.}$$

3. Критическое скольжение ЭД по (2)

$$s_{крj} = 0,005(2,6 + \sqrt{2,6^2 - 1}) = 0,025 \text{ отн.ед.}$$

Для группы ЭД рассчитывается:

4. Относительное значение напряжения на шинах СН по (4)

$$K_U = 6110/6000 = 1,0183 \text{ отн.ед.}$$

Вновь для каждого ЭД определяются:

5. Значение установившейся частоты вращения ЭД по (1), отнесенное к его синхронной частоте вращения

$$n_{yj} = 1 + \sqrt{\left(\frac{2,6 \times 1,0183^2 \times 0,025}{0,76} \right)^2 - 0,025^2} - \frac{2,6 \times 1,0183^2 \times 0,025}{0,76} = 0,9964 \text{ отн.ед.}$$

6. Активная мощность, потребляемая ЭД, по (5)

$$P_{dj} = 0,76 \times 3200 \times 1,0183^2 \times 100/0,915 = 2607,9 \text{ кВт.}$$

П р и м е ч а н и е. Значение КПД электродвигателя принимается равным номинальному значению.

Т а б л и ц а П9.1

Технические данные электродвигателей СН 6 кВ, подключенных к секции А

Наименование агрегата, тип механизма	Станцион- ное обоз- начение агрегата	Тип электродви- гателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos \varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	K_n отн.ед.	M_n отн.ед.	$M_{макс}$ отн.ед.	K_3 отн.ед.	$T_{агр}$ кг·м ²
Питательный электронасос, ПЭ-380-185	ПЭН-1А	2АЗМ-3200/6000У4	3200	348	96,7	0,915	2985	6,3	0,8	2,6	0,76	113,5
Циркуляционный насос, ОПВ5-87К	ЦН-1А	АВ-15-31-10	630	79	92,2	0,82	593	5,0	1,1	2,4	0,88	300
Дымосос, Д25 х 2ШБ	Д-1А	ДА30-1914-10/12	<u>1500</u> 850	<u>204</u> 118	<u>91,0</u> 90,5	<u>0,77</u> 0,75	<u>597</u> 497	<u>5,5</u> 6,1	<u>0,9</u> 1,0	<u>2,5</u> 2,5	<u>0,69</u> -	5812,5
Дутьевой вентилятор, ВДН-28,6Н-11у	ДВ-1А	ДА30-1569-8/10М	<u>900</u> 500	<u>107</u> 64,5	<u>92,5</u> 91,5	<u>0,87</u> 0,81	<u>744</u> 595	<u>6,4</u> 5,9	<u>1,0</u> 1,0	<u>2,9</u> 2,6	<u>0,68</u> -	3750
Молотковая мельница	ММТ-1Б ММТ-1В	ДА30-13-55-8М	400	50	92,5	0,84	740	6,5	1,4	2,6	0,37 0,38	934,5
Конденсатный насос, КсВ-320-160	КН-1А	АВ-113-4М	250	28,7	93,0	0,9	1480	6,3	1,3	3,0	0,7	14,38

Т а б л и ц а П 9.2

Результаты расчетов для электродвигателей, подключенных к секции А, при напряжении 6110 В

Стационарное обозначение оборудования	Количество пар полюсов	Номинальное скольжение, отн.ед.	Критическое скольжение, отн.ед.	Установившееся значение частоты вращения ЭД, отн.ед.	Активная мощность, кВт	Реактивная мощность намагничивания, квар	Реактивная мощность рассеяния, квар	Суммарная реактивная мощность, квар	Полная мощность ЭД, кВт·А	Коэффициент мощности, отн.ед.	Ток, А
ПЭН-1А	1	0,005	0,025	0,9964	2607,9	826,7	368,6	1195,4	2869,8	0,909	271,1
ЦН-1А	5	0,0116	0,0535	0,9902	623,5	334,9	109,7	444,6	765,8	0,814	72,4
Д-1А	5/6	0,005	0,024	0,9967	1179,4*	1049,3	156,4	1205,8	1686,7	0,699	159,4
ДВ-1А	4/5	0,008	0,045	0,9948	686*	390	76,3	466,8	829,8	0,827	78,4
ММТ-1Б	4	0,013	0,066	0,9954	165,9	201,8	11,5	213,4	270,3	0,614	25,5
ММТ-1В	4	0,013	0,066	0,9953	170,4	201,8	12,1	213,9	273,5	0,623	25,8
КН-1А	2	0,013	0,077	0,9911	195,1	87	21,7	108,8	223,4	0,873	21,1
Трансформатор 6/0,4 кВ	-	-	-	-	489,95	-	-	432,1	630	0,75	59,5
Секция А	-	-	-	-	6118,2	-	-	4280,8	7467,1	0,819	705,3

*Расчет выполнен для большей частоты вращения ЭД.

7. Реактивная мощность намагничивания ЭД по (6)

$$Q_{mj} = \sqrt{3} \times 348 \times 6000 \left[\sqrt{1 - 0,915^2} - \frac{0,915 \times 0,005}{0,025} \right] \times 1,0183^2 \times 10^{-3} = 826,7 \text{ квар.}$$

8. Реактивная мощность рассеяния ЭД по (6а)

$$Q_{pj} = \sqrt{3} \times 348 \times 6000 \times 0,915 \frac{0,26^2}{1,0183^2} \times \frac{0,005}{0,025} \times 10^{-3} = 368,6 \text{ квар.}$$

9. Суммарная реактивная мощность, потребляемая ЭД, по (7)

$$Q_{dj} = 826,7 + 368,6 = 1195,4 \text{ квар.}$$

10. Полная мощность, потребляемая ЭД, по (8)

$$S_{dj} = \sqrt{2607,9^2 + 1195,4^2} = 2869,8 \text{ кВ·А.}$$

11. Коэффициент мощности ЭД по (9)

$$\cos \varphi_{dj} = 2607,9/2869,8 = 0,909 \text{ отн.ед.}$$

12. Ток статора ЭД по (10)

$$I_{dj} = 2869,8 \times 10^3 / (\sqrt{3} \times 6110) = 271,1 \text{ А.}$$

13. Суммарная активная и реактивная мощности секции СН по (11):

$$P_c = 2607,9 + 623,5 + 1179,4 + 686 + 165,9 + 170,4 + 195,1 + 472,5 \times 1,0183^2 = 6118,2 \text{ кВт;}$$

$$Q_c = 1195,4 + 444,6 + 1205,8 + 466,8 + 213,4 + 213,9 + 108,8 + 416,7 \times 1,0183^2 = 4280,8 \text{ квар.}$$

14. Полная мощность секции по (12)

$$S_c = \sqrt{6118,2^2 + 4280,8^2} = 7467,1 \text{ кВ·А.}$$

15. Ток секции по (13)

$$I_c = 7467,1 / (\sqrt{3} \times 6110) = 705,3 \text{ А.}$$

16. Коэффициент мощности группы ЭД секции по (14)

$$\cos \varphi_c = 6118,2/7467,1 = 0,819 \text{ отн.ед.}$$

Пример 2.

Выполнить расчет выбега агрегатов СН, подключенных к секции А (см.табл. П9.1), при коротком замыкании на шинах СН в случае отказа в работе дифференциальной защиты и действии максимальной токовой защиты рабочего источника питания.

1. Время перерыва питания определяется временем действия максимальной токовой защиты - 1 с, временем полного отключения выключателя ввода рабочего питания секции - 0,08 с (для конкретного типа выключателя определяется по табл. П2.1), временем включения выключателя ввода резервного питания секции - 0,3 с (это время также определяется по табл. П2.1). Полное время перерыва питания определяется как сумма всех выше перечисленных величин

$$t = t_{MT3} + t_{отк.в} + t_{вкл.в} = 1 + 0,08 + 0,3 = 1,38.$$

Далее для каждого агрегата определяются:

2. Значения времени ускорения (электромеханической постоянной времени) по (I5):

$$T_{J ПЭН-1А} = \frac{4 \times 113,5 \times 2985^2}{364000 \times 3200} = 3,47 \text{ с};$$

$$T_{J ЦН-1А} = 1,84 \text{ с}; \quad T_{J Д-1А} = \frac{15,18^*}{18,56} \text{ с}; \quad T_{J ДВ-1А} = \frac{25,35^*}{29,22} \text{ с};$$

$$T_{J ММТ-1Б, ММТ-1В} = 14,06 \text{ с}; \quad T_{J КН-1А} = 1,38 \text{ с}.$$

3. Значения частоты вращения при времени перерыва питания 1,38 с^{жж}:

а) питательного насоса по (29) с расчетом коэффициентов v_j , a_j по (2Ia), (2Iб) при допущении, что коэффициент загрузки ЭД по активной мощности K_{30j} при работе насоса на закрытую задвижку (запорную арматуру) равен 0,4 отн.ед. (см. приложение I) и частоте вращения $n_{отк j}$ вала агрегата, при которой закрывается обратный клапан, равной 0,8 отн.ед. (см. табл. I формулы (2Iв), (2Iг))

$$v_{ПЭН-1А} = \frac{(0,76 - 0,4 \times 0,8^2)}{(1 - 0,8)} = 2,52;$$

$$a_{ПЭН-1А} = 0,4 \times 0,8^2 - 2,52 \times 0,8 = -1,76.$$

Время закрытия обратного клапана на линии напора насоса

$$T_{отк ПЭН-1А} = \frac{3,47}{2,52} \ln \left| \frac{-1,76 + 2,52}{-1,76 + 2,52 \times 0,8} \right| = 1,49 \text{ с}.$$

Так как время перерыва питания 1,38 с меньше времени закрытия обратного клапана 1,49 с, то частота вращения питательного насоса определяется по (29) следующим образом:

$$n_{ПЭН-1А} = \left(0,9964 + \frac{-1,76}{2,52} \right) e^{-\left(\frac{2,52 \times 1,38}{3,47} \right)} - \frac{-1,76}{2,52} = 0,808 \text{ отн.ед.};$$

*Над чертой для большей частоты вращения, под чертой для меньшей частоты вращения.
^{жж}Значение частоты вращения в установившемся режиме работы ЭД принимается по табл. П9.2.

б) конденсатного насоса аналогично п.3а

$$b_{KH-1A} = \frac{(0,7 - 0,4 \times 0,8^2)}{(1 - 0,8)} = 2,22;$$

$$a_{KH-1A} = 0,4 \times 0,8^2 - 2,22 \times 0,8 = -1,52;$$

$$T_{отк KH-1A} = \frac{1,38}{2,22} \ln \left| \frac{-1,52 + 2,22}{-1,52 + 2,22 \times 0,8} \right| = 0,589 \text{ с.}$$

Время перерыва питания 1,38 с больше времени закрытия обратного клапана 0,589 с, поэтому частота вращения конденсатного насоса определяется по (29) следующим образом:

$$n_{KH-1A} = \frac{1}{\frac{0,4(1,38 - 0,589)}{1,38} + \frac{1}{0,8}} = 0,676 \text{ отн.ед};$$

в) циркуляционного насоса по (26)

$$n_{ЦН-1A} = \frac{1}{\frac{1}{0,9902} + \frac{1,38 \times 0,88}{1,84}} = 0,599 \text{ отн.ед};$$

г) дымососа по (26) при отключении, когда он работал на большей частоте вращения (большей скорости)

$$n_{Д-1A} = \frac{1}{\frac{1}{0,9967} + \frac{1,38 \times 0,69}{15,18}} = 0,938 \text{ отн.ед.};$$

д) дутьевого вентилятора по (26) при отключении, когда он работал на большей частоте вращения

$$n_{ДВ-1A} = \frac{1}{\frac{1}{0,9948} + \frac{1,38 \times 0,68}{25,35}} = 0,959 \text{ отн.ед.};$$

е) молотковых мельниц по (28)

$$n_{ММТ-1Б} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{0,9954^2} + \frac{1,38 \times 0,37}{14,06}}} = 0,96 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{ММТ-1В} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{0,9953^2} + \frac{1,38 \times 0,38}{14,06}}} = 0,959 \text{ отн.ед.}$$

Пример 3.

Выполнить расчет режима группового выбега ЭД. Технические данные, необходимые для выполнения расчета, приведены в табл. II.3. Значение напряжения на шинах секции СН после отключения выключателя ввода рабочего питания, полученное экспериментальным путем, равно $E_{101} = 0,9$ номинального напряжения. Значение остаточного напряжения, генерируемое ЭД, при котором заканчивается процесс группового выбега, принимается согласно [3] равным 0,25 номинального. Время перерыва питания равно 5,63 с. Расчет выполнить с заданной степенью точности $\xi_3 = 0,01$.

Для каждого ЭД определяются:

1. Время ускорения по (15)

$$T_{УКН} = 14,38 \times 4 \times 1480^2 / (364000 \times 250) = 1,384 \text{ с};$$

$$T_{УД} = 18,56 \text{ с}; \quad T_{УДВ} = 31,06 \text{ с}.$$

2. Номинальный коэффициент мощности по (42)

$$\cos \varphi_{\text{ном.кн}} = 250 \times 10^5 / (\sqrt{3} \times 29 \times 6000 \times 93) = 0,892 \text{ отн.ед.};$$

$$\cos \varphi_{\text{ном.д}} = 0,77 \text{ отн.ед.}; \quad \cos \varphi_{\text{ном.дв}} = 0,829 \text{ отн.ед.}$$

3. Номинальная полная мощность по (43)

$$S_{\text{п.ном.кн}} = \sqrt{3} \times 29 \times 6000 \times 10^{-2} = 301,4 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{\text{п.ном.д}} = 1226,3; \quad S_{\text{п.ном.дв}} = 956,1 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

4. Номинальное скольжение по (3)

$$s_{\text{ном.кн}} = 1 - 1480/1500 = 0,0133 \text{ отн.ед};$$

$$s_{\text{ном.д}} = 0,006 \text{ отн.ед.}; \quad s_{\text{ном.дв}} = 0,005 \text{ отн.ед.}$$

5. Электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по (44)

$$T_{э.кн} = 2 \times 2,4 / [314(2 \times 2,4 \sqrt{1 - 0,892^2} - 0,892) \times 0,0133] = 0,897 \text{ с};$$

$$T_{э.д} = 1,097 \text{ с}; \quad T_{э.дв} = 1,57 \text{ с}.$$

Далее определяются параметры эквивалентного ЭД (группы ЭД):

6. Эквивалентная электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по (45)

$$T_{\Sigma} = \frac{301,4 \times 0,897 + 1226,3 \times 1,097 + 956,1 \times 1,57}{301,4 + 1226,3 + 956,1} = 1,254 \text{ с}.$$

7. Эквивалентная частота $n_{гр}$ и время $T_{гр}$ в следующей последовательности:

а) принимается произвольное значение времени группового выбега $t_{гри} = 0,7 \text{ с};$

б) определяется частота вращения каждого агрегата по одной из формул, представленных в табл. I, при допущении, что частота вращения агрегата в установившемся режиме работы равна 1:

Технические данные агрегатов СН

Наименование агрегата тип	Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}/n_{синх}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	M_n отн.ед.	K_n отн.ед.	$J_{агр}$ кг·м ²	K_3 отн.ед.
Конденсатный насос КСВ-320-160	АВ-113-4М	250	29	93	1480/1500	2,4	1,3	6,5	14,38	0,862
Дымосос Д25х2ШБ	ДА30 1914-10/12А	850	118	90	497/500	2,5	1,0	5,5	5812	1,3
Дутьевой вентилятор ВДН-28,6Н-11у	ДА302 1876-8/10У1	725	92	91,5	597/600	2,7	0,9	6,5	5750	0,63

частота вращения конденсатного насоса по (28) при допущении, что момент сопротивления насоса определяется по (20)

$$\eta_{кн} = 1 / \sqrt{1 + 2 \times 0,7 \times 0,862 / 1,384} = 0,73 \text{ отн.ед.};$$

частота вращения дымососа и дутьевого вентилятора по (26) при допущении, что момент сопротивления механизмов рассчитывается по (18)

$$\eta_d = 1 / (0,7 \times 1,3 / 18,56 + 1) = 0,953 \text{ отн.ед.};$$

$$\eta_{дв} = 1 / (0,7 \times 0,63 / 31,06 + 1) = 0,986 \text{ отн.ед.};$$

в) рассчитывается эквивалентная частота вращения по (46)

$$\eta_{гр} = 1 - \frac{1,384 \times 250 \times (1 - 0,73) + 18,56 \times 850 \times (1 - 0,953) + 31,06 \times 725 \times (1 - 0,986)}{1,384 \times 250 + 18,56 \times 850 + 31,06 \times 725} = 0,97 \text{ отн.ед.};$$

г) определяется остаточное напряжение, генерируемое группой ЭД, на шинах СН в момент времени $t_{гр} = 0,7$ с по (47)

$$U_{гр.р} = 0,9 \times 0,97 \times e^{-(0,7 / 1,254)} = 0,5 \text{ отн.ед.};$$

д) выполняется сравнение расчетного и заданного значений остаточного напряжения по (50)

$$\xi = |(0,25 - 0,5) / 0,25| = 1 > 0,01.$$

Условие (50) не выполнено. Принимается новое значение времени группового выбега по (51) и выполняется расчет по п.76 до тех пор, пока не будет выполнено условие (50). Условие (50) будет выполнено при $t_{гр} = 1,51$ с и $\eta_{гр} = 0,934$.

Затем для каждого ЭД определяются:

8. Фиктивное время индивидуального выбега по одной из формул табл.1: конденсатного насоса по (37)

$$T_{ф.кн} = \left[(I^2 - 0,934^2) / (I^2 \times 0,934^2) \right] \times 1,384 / (2 \times 0,862) = 0,117 \text{ с};$$

дымососа и дутьевого вентилятора по (35)

$$T_{ф.д} = [(I - 0,934) / 0,934] \times 18,56 / I,3 = 1,01 \text{ с};$$

$$T_{ф.дв} = [(I - 0,934) / 0,934] \times 31,06 / 0,63 = 3,5 \text{ с}.$$

9. Полное эквивалентное время перерыва питания $T_{пj}$ по (52):

$$T_{п.кн} = 5,63 - 1,51 + 0,117 = 4,24 \text{ с};$$

$$T_{п.д} = 5,63 - 1,51 + 1,01 = 5,13 \text{ с};$$

$$T_{п.дв} = 5,63 - 1,51 + 3,5 = 7,6 \text{ с}.$$

10. Частота вращения по одной из формул, представленных в табл. I, в момент времени 5,63 с, при этом t принимается равным $T_{пj}$:
конденсатного насоса по (28)

$$n_{кн} = I / \sqrt{I + 2 \times 4,24 \times 0,862 / 1,384} = 0,399 \text{ отн.ед.};$$

дымососа и дутьевого вентилятора по (26)

$$n_{д} = I / (I + 5,13 \times 1,3 / 18,56) = 0,735 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{дв} = I / (I + 7,6 \times 0,63 / 31,06) = 0,866 \text{ отн.ед.}$$

Пример 4.

Выполнить оценку успешности группового самозапуска трех ЭД, технические данные которых представлены в табл. П9.3, от резервного источника питания через внешнее сопротивление 0,275 Ом. Напряжение источника питания равно 1,03 отн.ед., отнесенное к 6 кВ. Успешность самозапуска ЭД СН определяется по значению начального напряжения.

При выполнении расчетов принимаем:

момент вращения каждого ЭД по (56);

момент сопротивления конденсатного насоса по (20);

моменты сопротивления дымососа и дутьевого вентилятора по (18);

коэффициенты загрузки K_z ЭД по активной мощности для конденсатного насоса - 0,368;

дымососа - 0,465; дутьевого вентилятора - 0,347;

начальную частоту вращения каждого ЭД равной нулю.

Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

1. Номинальное скольжение по (3)

$$s_{ном.кн} = I - 1480 / 1500 = 0,0133 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{ном.д} = 0,006 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{ном.дв} = 0,0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

$$S_{кр.кн} = 0,0133 \times (2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,061 \text{ отн.ед.};$$

$$S_{кр.д} = 0,029 \text{ отн.ед.}; \quad S_{кр.дв} = 0,0434 \text{ отн.ед.}$$

3. Критическая частота вращения по (69)

$$n_{кр.кн} = 1 - 0,061 = 0,939 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{кр.д} = 1 - 0,029 = 0,971 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{кр.дв} = 1 - 0,0083 = 0,9917 \text{ отн.ед.}$$

4. Момент вращения ЭД в диапазоне частот вращения от 0 до 1 отн.ед. по (56), отн.ед.; результаты расчета приведены в табл. П9.4-П9.6.

5. Момент сопротивления, отн.ед., конденсатного насоса по (20), дымохода и дутьевого вентилятора по (18) в диапазоне частот вращения от 0 до 1 отн.ед.; результаты расчета даны в табл. П9.4-П9.6.

6. Момент вращения ЭД, отнесенный к номинальному моменту при номинальном напряжении и начальной частоте вращения, равной нулю, по (56):

$$M_{кл.кн}^{U_{ном}} = 2 \times 2,4 / [(1 - 0)/0,061 + 0,061/(1 - 0)] = 0,2917 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{доп.кн}^{U_{ном}} = [1,3 - 2 \times 2,4 \times 0,061/(1 + 0,061^2)] \sqrt{\frac{(1 - 0 - 0,061)}{1 - 0,061}} = 1,008 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{д.кн}^{U_{ном}} = 0,2917 + 1,008 = 1,3 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{кл.д}^{U_{ном}} = 0,1449 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{доп.д}^{U_{ном}} = 0,8551 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{д.д}^{U_{ном}} = 1,0 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{кл.дв}^{U_{ном}} = 0,2339 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{доп.дв}^{U_{ном}} = 0,6661 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{д.дв}^{U_{ном}} = 0,9 \text{ отн.ед.}$$

7. Коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток ротора по (59)

$$K_{Р.кн} = 1 + \left(\frac{1,3}{6,5^2 \times 0,0133} - 1 \right) \times \left(\frac{0,9 - 0}{0,9} \right) = 2,313 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{Р.д} = 5,51 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{Р.дв} = 2,566 \text{ отн.ед.}$$

8. Кратность пускового тока ЭД при номинальном напряжении и значении частоты вращения, равном нулю, по (60)

$$K_{п.кн} = \sqrt{1,3(1 - 0)/(2,313 \times 0,0133)} = 6,5 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п.д} = 5,5 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п.дв} = 6,5 \text{ отн.ед.}$$

9. Полная электрическая проводимость ЭД по (61):

$$\gamma_{KH} = \sqrt{3} \times 29/6000 = 0,0544 \text{ См};$$

$$\gamma_d = 0,187 \text{ См};$$

$$\gamma_{дв} = 0,172 \text{ См}.$$

Далее для группы ЭД определяются:

10. Суммарная электрическая проводимость по (62)

$$\gamma_{\Sigma} = 0,0544 + 0,187 + 0,172 = 0,414 \text{ См}.$$

11. Начальное напряжение на шинах секции при самозапуске ЭД, отнесенное к номинальному напряжению, по (63)

$$U_{сз} = 1,03/(1 + 0,414 \times 0,275) = 0,924 \text{ отн.ед.}$$

12. Для каждого ЭД проверяется соотношение момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма по (55), так как момент вращения ЭД при начальном напряжении имеет тенденцию к уменьшению с увеличением частоты вращения (см. табл. П9.4-П9.6).

Для всех электродвигателей момент вращения при напряжении 0,924 номинального больше момента сопротивления механизма (коэффициент запаса более 1,15); это указывает на то, что данное начальное напряжение достаточно для успешного самозапуска.

Т а б л и ц а П 9.4

Момент вращения ЭД и момент сопротивления конденсатного насоса в зависимости от частоты вращения вала агрегата

n	$M_{д.кн}^{\bar{U}_{ном}}$	$M_{д.кн}^U$	$M_{с.кн}$	$K_{зап}^*$	$K_3 M_{с.кн}$
0	1,3	1,11	0	∞	0
0,05	1,288	1,11	0,000046	24130	0,00053
0,1	1,277	1,09	0,000368	2962	0,00042
0,15	1,267	1,08	0,00124	871	0,00143
0,2	1,258	1,07	0,00294	364	0,00338
0,25	1,251	1,068	0,00575	185,7	0,0066
0,3	1,247	1,065	0,00994	107	0,01143
0,35	1,246	1,064	0,0157	67,8	0,018
0,4	1,247	1,065	0,0236	45,13	0,027
0,45	1,254	1,07	0,0335	31,9	0,0385
0,5	1,266	1,08	0,046	23,48	0,0529
0,55	1,288	1,1	0,0612	17,97	0,0704
0,6	1,321	1,128	0,0795	14,2	0,0914
0,65	1,371	1,17	0,101	11,6	0,116
0,7	1,446	1,23	0,126	9,76	0,145
0,75	1,557	1,33	0,155	8,58	0,178
0,8	1,727	1,47	0,188	7,82	0,216
0,85	1,985	1,69	0,226	7,48	0,26
0,9	2,339	1,99	0,268	7,43	0,308
0,939	2,4	2,05	0,305	6,72	0,35
0,987	0,999	0,853	0,354	2,41	0,407

* Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Т а б л и ц а П 9.5

Момент вращения ЭД и момент сопротивления дымососа в зависимости
от частоты вращения вала агрегата

n	$M_{\text{Э.Д.}}^{U_{\text{ном}}}$	$M_{\text{Э.Д.}}^U$	$M_{\text{с.Д.}}$	$K_{\text{зап}}^*$	$K_3 M_{\text{с.Д.}}$
0	0,9999	0,854	0	∞	0,0
0,05	0,9853	0,841	0,00116	725,00	0,00053
0,1	0,971	0,829	0,00465	178,30	0,0021
0,15	0,956	0,816	0,0105	77,70	0,0048
0,2	0,943	0,805	0,0186	43,30	0,0085
0,25	0,93	0,794	0,029	27,38	0,0133
0,3	0,918	0,784	0,04185	18,70	0,0192
0,35	0,907	0,774	0,057	13,58	0,026
0,4	0,897	0,766	0,0744	10,30	0,034
0,45	0,889	0,759	0,0942	8,06	0,043
0,5	0,885	0,755	0,116	6,51	0,053
0,55	0,884	0,755	0,141	5,35	0,065
0,6	0,8896	0,759	0,167	4,54	0,077
0,65	0,904	0,772	0,196	3,94	0,09
0,7	0,931	0,795	0,228	3,49	0,105
0,75	0,98	0,837	0,262	3,19	0,12
0,8	1,07	0,914	0,298	3,17	0,137
0,85	1,234	1,054	0,336	3,14	0,154
0,9	1,569	1,34	0,377	3,55	0,173
0,95	2,296	1,96	0,42	4,67	0,193
0,971	2,5	2,134	0,438	4,87	0,201
0,994	0,992	0,847	0,459	1,85	0,528

* Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Т а б л и ц а П 9.6

Момент вращения ЭД и момент сопротивления дутьевого вентилятора в зависимости
от частоты вращения вала агрегата

n	$M_{\text{Э.Д.В.}}^{U_{\text{ном}}}$	$M_{\text{Э.Д.В.}}^U$	$M_{\text{с.Д.В.}}$	$K_{\text{зап}}^*$	$K_3 M_{\text{с.Д.В.}}$
0	0,898	0,767	0	∞	0
0,05	0,893	0,762	0,000868	877,9	0,001
0,1	0,888	0,758	0,00347	218,4	0,004
0,15	0,885	0,755	0,0078	96,8	0,009
0,2	0,883	0,754	0,0139	54,2	0,016
0,25	0,882	0,753	0,0217	34,7	0,025
0,3	0,884	0,755	0,0312	24,2	0,036
0,35	0,888	0,758	0,0425	17,8	0,049

n	$M_{д.дв}^{U_{ном}}$	$M_{д.дв}^U$	$M_{с.дв}$	$K_{зап}^*$	$K_3 M_{с.дв}$
0,4	0,895	0,764	0,0555	13,8	0,064
0,45	0,907	0,774	0,0703	11,0	0,081
0,5	0,924	0,789	0,0868	9,09	0,1
0,55	0,924	0,789	0,105	7,51	0,12
0,6	0,985	0,841	0,125	6,73	0,144
0,65	1,035	0,884	0,147	6,01	0,169
0,7	1,109	0,947	0,17	5,57	0,196
0,75	1,219	1,04	0,195	5,33	0,224
0,8	1,388	1,185	0,222	5,34	0,255
0,85	1,66	1,417	0,25	5,67	0,288
0,9	2,134	1,82	0,281	6,48	0,323
0,95	2,72	2,32	0,313	7,4	0,36
0,966	2,7	2,3	0,324	7,1	0,373
0,992	0,987	0,843	0,341	2,47	0,392

* Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Пример 5.

Расчитать режим группового самозапуска трех ЭД, технические данные которых представлены в табл. П9.3, от трансформатора СН, у которого номинальный ток обмотки на напряжение 6,3 кВ равен 1465 А и индуктивное сопротивление которого $X_{вн} = 0,275$ Ом. Напряжение источника питания составляет 1,03 отн.ед. номинального. Оценить допустимость группового самозапуска по условию нагрева ЭД. Расчет выполняется методом, основанным на использовании средних значений момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма. При выполнении расчетов принимаем:

момент вращения каждого ЭД по (56);

момент сопротивления конденсатного насоса по (20);

моменты сопротивления дымохода и дутьевого вентилятора по (18);

коэффициенты загрузки K_3 ЭД по активной мощности для конденсатного насоса - 0,368,

дымохода - 0,465, дутьевого вентилятора - 0,347;

допустимое время пуска ЭД при номинальном напряжении: конденсатного насоса - 5 с, дымохода - 30 с, дутьевого вентилятора - 60 с.

Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

1. Номинальное скольжение по (3)

$$s_{ном.кн} = 1 - 1480/1500 = 0,0133 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{ном.д} = 0,006 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{ном.дв} = 0,0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

$$s_{кр.кн} = 0,0133(2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,061 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{кр.д} = 0,029 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{кр.дв} = 0,0434 \text{ отн.ед.}$$

3. Время ускорения агрегата по (15)

$$T_{JKH} = 4 \times 14,38 \times 1480^2 / (364000 \times 250) = 1,38 \text{ с};$$

$$T_{JD} = 18,56 \text{ с}; \quad T_{JDB} = 31,06 \text{ с}.$$

4. Начальная частота вращения для каждого ЭД равна нулю, т.е. $n_{ij} = n_{iKH} = n_{iD} = n_{iDB} = 0$.

5. Кратность пускового тока ЭД по (60) с использованием обобщенной (усредненной) зависимости момента вращения по (56)–(58) и коэффициента вытеснения тока по (59) при начальной частоте вращения, равной нулю (в данном случае зависимость тока статора ЭД от частоты вращения или скольжения неизвестна):

а) момент вращения ЭД, отнесенный к номинальному моменту при номинальном напряжении по (56); так как частота вращения каждого ЭД меньше критического значения определяемого по (69)

$$n_{кр. KH} = 1 - 0,061 = 0,939 > n_{iKH} = 0;$$

$$n_{кр. D} = 1 - 0,029 = 0,971 > n_{iD} = 0;$$

$$n_{кр. DB} = 1 - 0,0083 = 0,9917 > n_{iDB} = 0$$

то моменты вращения определяются следующим образом:

$$M_{кли KH}^{U_{ном}} = 2 \times 2,4 / [(1 - 0) / 0,061 + 0,061 / (1 - 0)] = 0,2917 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп KH}^{U_{ном}} = [1,3 - 2 \times 2,4 \times 0,061 / (1 + 0,061^2)] \sqrt{\frac{(1 - 0 - 0,061)}{1 - 0,061}} = 1,0083 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп KH}^{U_{ном}} = 0,2917 + 1,0083 = 1,3 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{кли D}^{U_{ном}} = 0,1449 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп D}^{U_{ном}} = 0,8551 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп D}^{U_{ном}} = 1,0 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{кли DB}^{U_{ном}} = 0,2339 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп DB}^{U_{ном}} = 0,6661 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{всп DB}^{U_{ном}} = 0,9 \text{ отн.ед.};$$

б) коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток ротора, по (59)

$$K_{Ri KH} = 1 + \left(\frac{1,3}{6,5^2 \times 0,0133} - 1 \right) \cdot \frac{(0,9 - 0)}{0,9} = 2,313 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{Ri D} = 5,51 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{Ri DB} = 2,566 \text{ отн.ед.};$$

в) кратность пускового тока при номинальном напряжении и произвольном значении частоты вращения, в данном случае равном нулю, по (60)

$$K_{pi\kappa\kappa} = \sqrt{1,3(1 - 0)/(2,313 \times 0,0133)} = 6,5 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{pi\Delta} = 5,5 \text{ отн.ед.}; \quad K_{pi\Delta B} = 6,5 \text{ отн.ед.}$$

6. Полная электрическая проводимость ЭД по (61)

$$\gamma_{i\kappa\kappa} = \sqrt{3} \times 6,5 \times 29/6000 = 0,0544 \text{ См};$$

$$\gamma_{i\Delta} = 0,187 \text{ См}; \quad \gamma_{i\Delta B} = 0,172 \text{ См}.$$

Далее для группы ЭД определяются.

7. Суммарная электрическая проводимость по (62)

$$\gamma_{i\Sigma} = 0,0544 + 0,187 + 0,172 = 0,414 \text{ См}.$$

8. Начальное напряжение на шинах секции при самозапуске ЭД, отнесенное к номинальному напряжению, по (63)

$$U_{i\kappa\kappa} = 1,03/(1 + 0,414 \times 0,275) = 0,924 \text{ отн.ед.}$$

9. Ток секции (суммарный ток всех ЭД), отнесенный к номинальному току трансформатора СН, по (66)

$$I_{i\kappa\kappa} = 0,924 \times 0,414 \times 6300/(\sqrt{3} \times 1465) = 0,95 \text{ отн.ед.}$$

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

10. Ток статора, отнесенный к его номинальному току, по (65)

$$I_{\Delta B i \kappa\kappa} = 0,924 \times 0,0544 \times 6000/(\sqrt{3} \times 29) = 6,0 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\Delta B i \Delta} = 0,924 \times 0,187 \times 6000/(\sqrt{3} \times 118) = 5,07 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\Delta B i \Delta B} = 0,924 \times 0,172 \times 6000/(\sqrt{3} \times 92) = 5,98 \text{ отн.ед.}$$

11. Среднее значение момента вращения ЭД по методике, изложенной в приложении 8, в диапазоне частот вращения от 0 до 1 отн.ед.

$$M_{\Delta.ср i \kappa\kappa}^{\text{ном}} = 1,49 \text{ отн.ед. (табл. П9.7, рис.П9.1);}$$

$$M_{\Delta.ср i \Delta}^{\text{ном}} = 1,096 \text{ отн.ед. (табл. П9.8, рис.П9.2);}$$

$$M_{\Delta.ср i \Delta B}^{\text{ном}} = 1,203 \text{ отн.ед. (табл. П9.9, рис.П9.3).}$$

12. Среднее значение момента сопротивления механизма $M_{с.ср}$ по методике, изложенной в приложении 8, в диапазоне частот вращения от 0 до 1 отн.ед.

Т а б л и ц а П9.7

Момент вращения ЭД конденсатного насоса

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\ i\ КН}$	$M_{кл\ i\ КН}$	$M_{д. КН}^{U_{ном}}$
0	1	1,0083	0,2917	1,3
0,05	0,973	0,981	0,307	1,288
0,1	0,945	0,953	0,324	1,277
0,15	0,917	0,924	0,343	1,267
0,2	0,887	0,894	0,364	1,258
0,25	0,857	0,863	0,388	1,251
0,3	0,825	0,832	0,415	1,247
0,35	0,792	0,799	0,447	1,246
0,4	0,758	0,764	0,483	1,247
0,45	0,722	0,728	0,526	1,254
0,5	0,683	0,689	0,577	1,266
0,55	0,644	0,649	0,639	1,288
0,6	0,6	0,606	0,715	1,321
0,65	0,555	0,559	0,812	1,371
0,7	0,505	0,509	0,937	1,446
0,75	0,449	0,452	1,105	1,557
0,8	0,385	0,388	1,339	1,727
0,85	0,308	0,31	1,675	1,985
0,9	0,204	0,205	2,134	2,339
0,939	0,0	0,0	2,4	2,4
0,987	-	0,0	0,999	0,999

Т а б л и ц а П9.8

Момент вращения ЭД дымососа

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\ i\ Д}$	$M_{кл\ i\ Д}$	$M_{д. Д}^{U_{ном}}$
0	1	0,8551	0,1449	0,9999
0,05	0,974	0,8328	0,1525	0,9853
0,1	0,947	0,81	0,161	0,971
0,15	0,919	0,786	0,17	0,956
0,2	0,891	0,762	0,181	0,943
0,25	0,861	0,737	0,193	0,93
0,3	0,831	0,711	0,207	0,918
0,35	0,799	0,684	0,223	0,907

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\ i\ д}$	$M_{кл\ i\ д}$	$\frac{U_{ном}}{M_{д.д}}$
0,4	0,766	0,656	0,241	0,897
0,45	0,733	0,626	0,263	0,889
0,5	0,696	0,596	0,289	0,885
0,55	0,658	0,563	0,321	0,884
0,6	0,618	0,529	0,361	0,8896
0,65	0,575	0,492	0,411	0,904
0,7	0,528	0,452	0,479	0,931
0,75	0,477	0,408	0,572	0,98
0,8	0,42	0,359	0,71	1,07
0,85	0,353	0,302	0,932	1,234
0,9	0,27	0,231	1,34	1,569
0,95	0,147	0,126	2,17	2,296
0,971	0	0	2,5	2,5
0,994	-	0	0,992	0,992

Т а б л и ц а П 9.9

Момент вращения ЭД дутьевого вентилятора

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\ i\ д\ в}$	$M_{кл\ i\ д\ в}$	$\frac{U_{ном}}{M_{д.д\ в}}$
0	1	0,664	0,234	0,898
0,05	0,9477	0,6468	0,2462	0,893
0,1	0,8955	0,629	0,2597	0,888
0,15	0,843	0,61	0,275	0,885
0,2	0,791	0,591	0,292	0,883
0,25	0,7386	0,571	0,311	0,882
0,3	0,6863	0,55	0,334	0,884
0,35	0,6341	0,529	0,359	0,888
0,4	0,582	0,507	0,389	0,8953
0,45	0,5295	0,483	0,423	0,907
0,5	0,477	0,459	0,465	0,924
0,55	0,425	0,433	0,516	0,942
0,6	0,373	0,406	0,579	0,985
0,65	0,32	0,376	0,659	1,035
0,7	0,268	0,344	0,765	1,109
0,75	0,216	0,309	0,91	1,219
0,8	0,1637	0,269	1,119	1,388
0,85	0,111	0,222	1,44	1,66
0,9	0,0591	0,161	1,97	2,134
0,95	0,0069	0,055	2,67	2,723
0,966	0	0	2,7	2,7
0,992	-	0	0,987	0,987

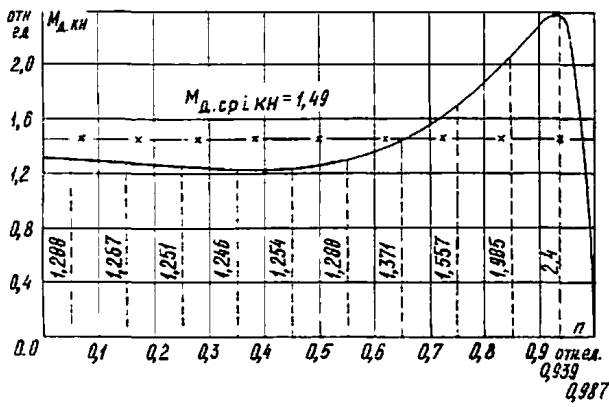


Рис.П9.1. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД конденсатного насоса

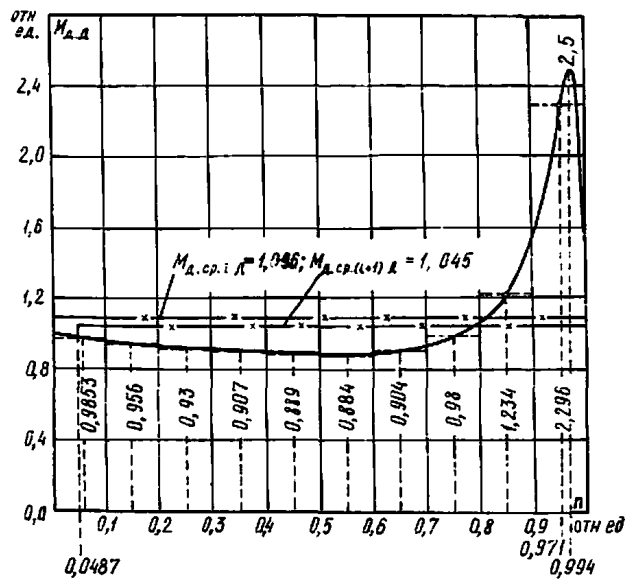


Рис.П9.2. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД дымососа

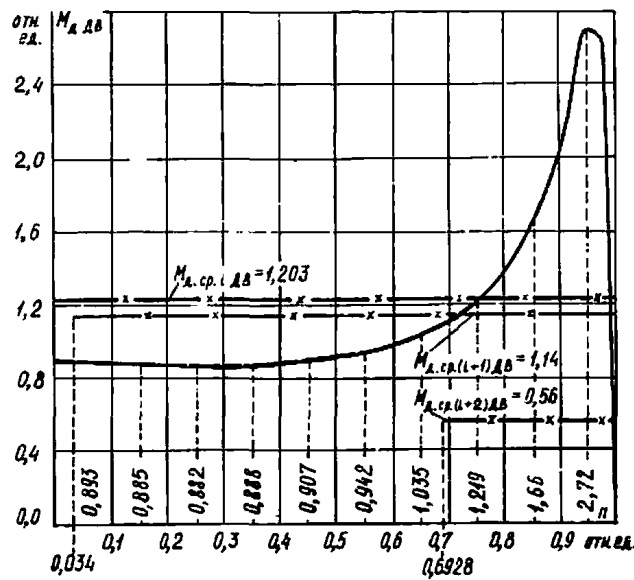


Рис.П9.3. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД дутьевого вентилятора

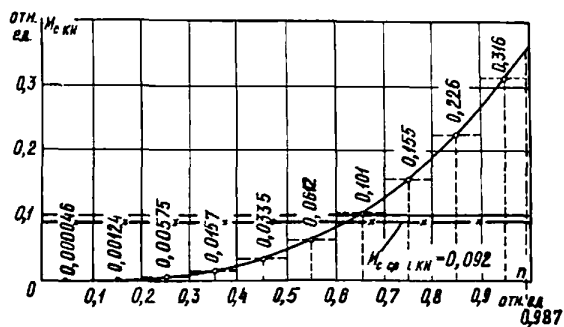


Рис.П9.4. Кривая зависимости для определения момента сопротивления конденсатного насоса

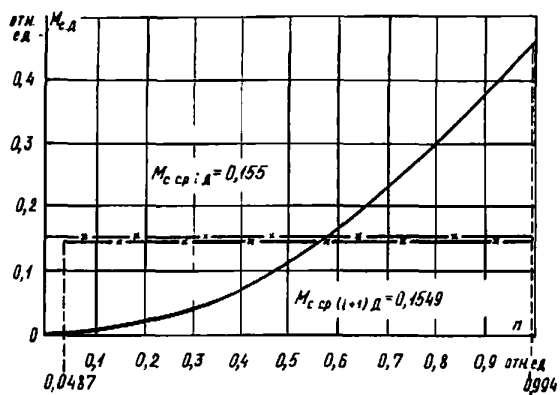


Рис.П9.5. Кривая зависимости для определения момента сопротивления дымососа

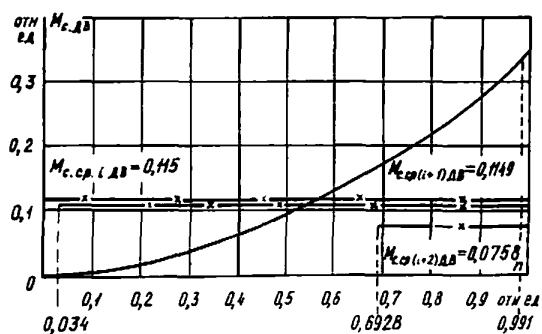


Рис.П9.6. Кривая зависимости для определения момента сопротивления дутьевого вентилятора

$$M_{с.ср i КН} = 0,092 \text{ отн.ед. (рис.П9.4);}$$

$$M_{с.ср i Д} = 0,153 \text{ отн.ед. (рис.П9.5);}$$

$$M_{с.ср i ДВ} = 0,115 \text{ отн.ед. (рис.П9.6).}$$

13. Время разворота ЭД до установившегося значения частоты вращения по (86) при допущении, что последняя равна номинальному значению

$$n_{у.КН} = 1 - S_{ном.КН} = 1 - 0,0133 = 0,987 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{у.Д} = 0,994 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{у.ДВ} = 0,991 \text{ отн.ед.};$$

$$T'_{pi КН} = 1,38(0,987 - 0)/(1,49 \times 0,924^2 - 0,092) = 1,154 \text{ с};$$

$$T'_{pi Д} = 18,56(0,994 - 0)/(1,096 \times 0,924^2 - 0,155) = 23,63 \text{ с};$$

$$T'_{pi ДВ} = 31,06(0,992 - 0)/(1,207 \times 0,924^2 - 0,115) = 33,66 \text{ с}.$$

Из всех ЭД выбирается такой, у которого минимальное время разворота. Таким является ЭД конденсатного насоса. Для этого ЭД частота вращения в дальнейших расчетах принимается равной 0,987 отн.ед.

Полное время разворота ЭД конденсатного насоса по (88)

$$T_{p КН} = T'_{pi} = T'_{pi КН} = 1,154 \text{ с}.$$

14. Частота вращения, которую остальные ЭД приобретают за время $T'_{pi} = 1,154 \text{ с}$, по (89)

$$n_{(i+1) Д} = 0 + 1,154(0,924^2 \times 1,096 - 0,153)/18,56 = 0,0487 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{(i+1) ДВ} = 0 + 1,154(0,924^2 \times 1,207 - 0,115)/31,06 = 0,034 \text{ отн.ед}.$$

Проверяется, все ли ЭД развернулись до установившегося значения частоты вращения. Если все ЭД развернулись, то расчет заканчивается. Если развернулось только ЭД конденсатного насоса, то вновь производится расчет по пп.5-14.

Так как установившееся значение частоты вращения ЭД конденсатного насоса $n_{у.КН} = 0,987$ больше $n_{кр.КН} = 0,939$, то момент вращения ЭД определяется следующим образом:

$$M_{в(i+1) КН}^{\frac{U_{ном}}{U}} = 2 \times 2,4 / [(1 - 0,987)/0,061 + 0,031/(1 - 0,987)] = 0,999 \text{ отн.ед}.$$

Значение частоты вращения дымососа $n_{(i+1) Д} = 0,0487$ меньше $n_{кр.Д} = 0,971$ и значение частоты вращения дутьевого вентилятора $n_{(i+1) ДВ} = 0,034$ меньше $n_{кр.ДВ} = 0,9566$, поэтому моменты вращения ЭД при номинальном напряжении составят:

$$M_{\kappa\lambda(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = 2 \times 2,5 / \left[(I - 0,0487) / 0,029 + 0,029 / (I - 0,0487) \right] = 0,1523 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial\partial\pi(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = \left[I - 2 \times 2,5 \times 0,029 / (I + 0,029^2) \right] \sqrt{\frac{I - 0,0487 - 0,029}{I - 0,029}} = 0,8333 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = 0,1523 + 0,8333 = 0,986 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\kappa\lambda(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = 2 \times 2,7 / \left[(I - 0,034) / 0,0434 + 0,0434 / (I - 0,034) \right] = 0,242I \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial\partial\pi(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = \left[0,9 - 2 \times 2,7 \times 0,0434 / (I + 0,0434^2) \right] \times \sqrt{\frac{I - 0,034 - 0,0434}{I - 0,0434}} = 0,654I \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial(i+1)}^{U_{\text{ном}}} = 0,242I + 0,654I = 0,896 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)KH} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)A} = I + \left(\frac{I}{5,5^2 \times 0,006} - I \right) \left(\frac{0,9 - 0,0487}{0,9} \right) = 5,27 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)AB} = I + \left(\frac{0,9}{6,5^2 \times 0,0083} - I \right) \left(\frac{0,9 - 0,034}{0,9} \right) = 2,507 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{n(i+1)A} = \sqrt{0,986(I - 0,0487) / (5,27 \times 0,006)} = 5,446 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{n(i+1)AB} = \sqrt{0,8966(I - 0,034) / (2,507 \times 0,0083)} = 6,45 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{n(i+1)KH} = \sqrt{I(I - 0,987) / (I \times 0,0133)} = I \text{ отн.ед.};$$

$$\delta_{(i+1)KH} = \sqrt{3} \times I \times 29 / 6000 = 0,00837 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+1)A} = \sqrt{3} \times 5,446 \times 118 / 6000 = 0,1855 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+1)AB} = \sqrt{3} \times 6,45 \times 92 / 6000 = 0,1713 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+1)\Sigma} = 0,00837 + 0,1855 + 0,1713 = 0,365 \text{ см};$$

$$U_{(i+1)сз} = I,03 / (I + 0,365 \times 0,275) = 0,936 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{(i+1)сек} = 0,936 \times 0,3666 \times 6300 / (\sqrt{3} \times 1465) = 0,852 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+1)KH} = 0,936 \times 0,00837 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 29) = 0,936 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+1)Д} = 0,936 \times 0,1856 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 118) = 5,098 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+1)ДВ} = 0,936 \times 0,172 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 92) = 6,08 \text{ отн.ед.}$$

Среднее значение момента вращения определяется по методике, изложенной в приложении 8; для ЭД дымососа в диапазоне частот вращения от 0,0487 до 0,994 отн.ед.

$$M_{\partial,ср(i+1)Д}^{U_{ном}} = 1,045 \text{ отн.ед.}; \text{ для ЭД дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,034 до 0,991 отн.ед.}$$

$$M_{\partial,ср(i+1)ДВ}^{U_{ном}} = 1,144 \text{ отн.ед.}$$

Среднее значение момента сопротивления определяется по методике, изложенной в приложении 8; для дымососа в диапазоне частот вращения от 0,0487 до 0,994 отн.ед.

$$M_{с,ср(i+1)Д} = 0,1549 \text{ отн.ед.}; \text{ для дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,034 до 0,991 отн.ед.}$$

$$M_{с,ср(i+1)ДВ} = 0,1149 \text{ отн.ед.};$$

$$T'_{р(i+1)Д} = 18,56(0,994 - 0,0487) / (1,045 \times 0,936^2 - 0,1549) = 23,06 \text{ с};$$

$$T'_{р(i+1)ДВ} = 31,06(0,992 - 0,034) / (1,144 \times 0,936^2 - 0,1149) = 33,53 \text{ с.}$$

Выбираем ЭД с наименьшим временем разворота. Наименьшее время разворота 23,06 с будет у ЭД дымососа.

Полное время его разворота составит

$$T_{р.Д} = T'_{р1} + T'_{р(i+1)Д} = 1,154 + 23,06 = 24,2 \text{ с.}$$

Для ЭД дымососа в дальнейших расчетах частота вращения принимается равной 0,994 отн.ед.;

$$n_{(i+2)ДВ} = 0,034 + 23,06(0,936^2 \times 1,144 - 0,1149) / 31,06 = 0,6928 \text{ отн.ед.}$$

Проверяется, все ли ЭД развернулись до установившегося значения частоты вращения.

Не развернулся ЭД дутьевого вентилятора, поэтому вновь производится расчет по пп.5-14.

Так как установившееся значение частоты вращения ЭД конденсатного насоса больше критического, то его момент вращения $M_{\partial(i+2)KH}^{U_{ном}} = 0,999 \text{ отн.ед.}$ При аналогичных условиях

момент вращения ЭД дымососа равен $M_{\partial(i+2)Д}^{U_{ном}} = 0,992 \text{ отн.ед.}$ Значение частоты вращения

дутьевого вентилятора $n_{(i+2)ДВ} = 0,6928 \text{ отн.ед.}$ и поэтому момент вращения ЭД дутьевого вентилятора при номинальном напряжении составит:

$$M_{\kappa\lambda(i+2)ДВ}^{U_{ном}} = 2 \times 2,7 / [(I - 0,6928) / 0,0434 + 0,0434 / (I - 0,6928)] = 0,748 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial\partial\pi(i+2)ДВ}^{U_{ном}} = [0,9 - 2 \times 2,7 \times 0,0434 / (I + 0,0434^2)] \times \sqrt{\frac{I,0 - 0,6928 - 0,0434}{I,0 - 0,0434}} =$$

$$= 0,349 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial(i+2)ДВ}^{U_{ном}} = 0,748 + 0,349 = 1,098 \text{ отн.ед.}$$

$$K_{R(i+2)KH} = I \text{ отн.ед.}; \quad K_{R(i+2)Д} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+2)ДВ} = I + \left(\frac{0,9}{6,5^2 \times 0,0083} - I \right) \frac{(0,9 - 0,6928)}{0,9} = 1,359 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{\pi(i+2)KH} = I \text{ отн.ед.}; \quad K_{\pi(i+2)Д} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{\pi(i+2)ДВ} = \sqrt{1,098(I - 0,6928) / (1,359 \times 0,0083)} = 5,468 \text{ отн.ед.};$$

$$\delta_{(i+2)KH} = \delta_{(i+1)KH} = 0,00837 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+2)Д} = \sqrt{3} \times I \times 118 / 6000 = 0,0341 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+2)ДВ} = \sqrt{3} \times 5,468 \times 92 / 6000 = 0,145 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+2)\Sigma} = 0,00837 + 0,0341 + 0,145 = 0,1877 \text{ см};$$

$$U_{(i+2)сз} = 1,03 / (I + 0,1877 \times 0,275) = 0,979 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{(i+2)свк} = 0,979 \times 0,1877 \times 6300 / (\sqrt{3} \times 1465) = 0,456 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+2)KH} = 0,979 \times 0,00837 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 29) = 0,979 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+2)Д} = 0,979 \times 0,0341 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 118) = 0,98 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+2)ДВ} = 0,979 \times 0,145 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 92) = 5,345 \text{ отн.ед.}$$

Среднее значение момента вращения определяется по методике, изложенной в приложении 8; для ЭД дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,6928 до 0,992 отн.ед.

$$M_{\partial, \text{ср}}^{U_{\text{ном}}}(i+2)_{ДВ} = 0,56 \text{ отн.ед.}$$

Среднее значение момента сопротивления определяется по методике, изложенной в приложении 8; для дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,6928 до 0,991 отн.ед.

$$M_{с. \text{ср}}(i+2)_{ДВ} = 0,0758 \text{ отн.ед.}$$

Время разворота дутьевого вентилятора равно

$$T'_{p(i+2)_{ДВ}} = 31,06(0,992 - 0,6928) / (0,56 \times 0,979^2 - 0,0758) = 20,16 \text{ с.}$$

полное время его разворота

$$T_{p, ДВ} = T_{p, Д} + T'_{p(i+2)_{ДВ}} = 1,154 + 23,06 + 20,16 = 44,38 \text{ с.}$$

Установившееся значение частоты вращения каждого ЭД составляет:

$$n_{у, КН} = 0,987 \text{ отн.ед.}; \quad n_{у, Д} = 0,994 \text{ отн.ед.}; \quad n_{у, ДВ} = 0,991 \text{ отн.ед.}$$

Если все ЭД развернулись, то для определения напряжения в конце процесса самозапуска вновь производится расчет по пп.5-14.

$$M_{\partial(i+3)_{КН}}^{U_{\text{ном}}} = 0,999 \text{ отн.ед.}; \quad M_{\partial(i+3)_{Д}}^{U_{\text{ном}}} = 0,992 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial(i+3)_{ДВ}}^{U_{\text{ном}}} = 0,987 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+3)_{КН}} = 1 \text{ отн.ед.}; \quad K_{R(i+3)_{Д}} = 1 \text{ отн.ед.}; \quad K_{R(i+3)_{ДВ}} = 1 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{n(i+3)_{КН}} = 1 \text{ отн.ед.}; \quad K_{n(i+3)_{Д}} = 1 \text{ отн.ед.}; \quad K_{n(i+3)_{ДВ}} = 1 \text{ отн.ед.};$$

$$\delta_{(i+3)_{КН}} = 0,00837 \text{ см}; \quad \delta_{(i+3)_{Д}} = 0,0341 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+3)_{ДВ}} = \sqrt{3} \times 1 \times 92/6000 = 0,0266 \text{ см};$$

$$\delta_{(i+3)_{\Sigma}} = 0,00837 + 0,0341 + 0,0266 = 0,069 \text{ см};$$

$$U_{(i+3)_{сз}} = 1,03 / (1 + 0,069 \times 0,275) = 1,011 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{(i+3)_{сек}} = 1,011 \times 0,069 \times 6300 / (\sqrt{3} \times 1465) = 0,173 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+3)_{КН}} = 1,011 \times 0,00837 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 29) = 1,01 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(i+3)_{Д}} = 1,011 \times 0,0341 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 118) = 1,01 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{\partial\partial(1+3)ДВ} = 1,011 \times 0,0266 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 92) = 1,01 \text{ отн.ед.}$$

Завышенные значения токов получаются за счет того, что принято допущение, согласно которому частота вращения в установившемся режиме работы ЭД равна номинальной.

Оценка допустимости группового самозапуска по условию допустимого нагрева ЭД осуществляется следующим образом.

Определяются:

а) среднее значение относительного напряжения методом площадей за время всего процесса самозапуска следующим образом. Строится в прямоугольных координатах кривая зависимости $U(t)$ (рис. П9.7). Для удобства определения среднего значения напряжения принимается за 1 отн.ед. время самозапуска ЭД дутьевого вентилятора 44,38 с. Площадь, ограниченная ломаной линией $U(t)$

$$S_{U(t)} = 0,924 \times 0,026 + 0,936(0,552 - 0,026) + 0,979(1 - 0,552) = 0,955 \text{ отн.ед.}^2$$

Среднее значение напряжения за время всего процесса самозапуска определяется из равенства площадей, ограниченных ломаной линией $U(t)$ и прямой K_{Ucp} , т.е. $S_{Ucp} = K_{Ucp} t_* = S_{U(t)}$.

Учитывая, что $t_* = 1$ отн.ед., среднее значение напряжения

$$K_{Ucp} = S_{U(t)} = 0,9545 \text{ отн.ед.};$$

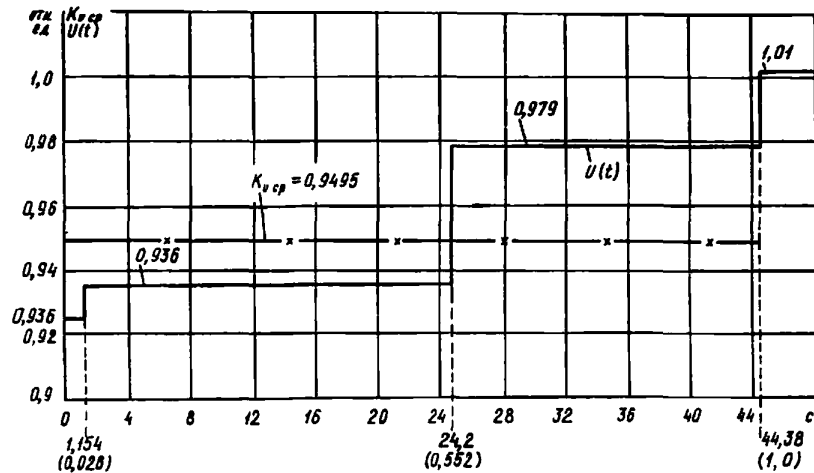


Рис.П9.7. Кривая зависимости для определения среднего значения напряжения за время самозапуска

б) допустимое время самозапуска ЭД при значении относительного напряжения K_{Ucp} по (94):

$$t_{п. доп. кн} = 5 / 0,9549^2 = 5,48 \text{ с};$$

$$t_{п. доп. д} = 30 / 0,9549^2 = 32,897 \text{ с};$$

$$t_{п. доп. дв} = 60 / 0,9549^2 = 65,79 \text{ с.}$$

Пример 6.

Рассчитать режим группового самозапуска трех ЭД, технические данные которых представлены в табл. П9.3, от трансформатора СН, у которого номинальный ток обмотки на напряжение

6,3 кВ равен 1465 А и индуктивное сопротивление которого $X_{\text{вн}} = 0,275 \text{ Ом}$. Напряжение источника питания составляет 1,03 отн.ед. номинального. Расчет выполняется методом последовательных интервалов с шагом расчета по времени 0,1-0,3 с.

При выполнении расчетов принимаем:

момент вращения каждого ЭД по (56);

момент сопротивления конденсатного насоса по (20);

моменты сопротивления дымососа и дутьевого вентилятора по (18);

коэффициенты загрузки K_z ЭД по активной мощности для конденсатного насоса - 0,368, дымососа - 0,465, дутьевого вентилятора - 0,347;

начальную частоту вращения каждого ЭД равной нулю.

Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

1. Номинальное скольжение по (3)

$$s_{\text{ном кн}} = 1 - 1480/1500 = 0,0133 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{\text{ном д}} = 0,006 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{\text{ном дв}} = 0,0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

$$s_{\text{кр кн}} = 0,0133(2,4 + \sqrt{2,4^2 - 1}) = 0,061 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{\text{кр д}} = 0,029 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{\text{кр дв}} = 0,0434 \text{ отн.ед.}$$

3. Время ускорения по (15)

$$T_{\text{ж кн}} = 4 \times 14,38 \times 1480^2 / (364000 \times 250) = 1,38 \text{ с};$$

$$T_{\text{ж д}} = 18,56 \text{ с};$$

$$T_{\text{ж дв}} = 31,06 \text{ с.}$$

4. Начальная частота вращения для каждого ЭД равна нулю, т.е.

$$\omega_{i,j} = \omega_{i,кн} = \omega_{i,д} = \omega_{i,дв} = 0.$$

5. Кратность пускового тока ЭД по (60) с использованием обобщенной (усредненной) зависимости момента вращения по (56)-(58) и коэффициента вытеснения тока по (59) при начальной частоте вращения, равной нулю (в данном случае зависимость тока статора ЭД от частоты вращения неизвестна):

а) момент вращения ЭД, отнесенный к номинальному моменту при номинальном напряжении по (56); так как частота вращения каждого ЭД меньше критического значения, определенного по (69)

$$\omega_{\text{кр кн}} = 1 - 0,061 = 0,939 \quad \omega_{i,кн} = 0;$$

$$\omega_{\text{кр д}} = 1 - 0,029 = 0,971 \quad \omega_{i,д} = 0;$$

$$\omega_{\text{кр дв}} = 1 - 0,00833 = 0,9917 \quad \omega_{i,дв} = 0,$$

то моменты вращения определяются следующим образом:

$$M_{\text{кли кн}}^{\text{ном}} = 2 \times 2,4 / \left[(1 - 0)/0,061 + 0,061/(1 - 0) \right] = 0,2917 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial \text{оп} i \text{ КН}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = \left[1,3 - 2 \times 2,4 \times 0,061 / (1 + 0,061^2) \right] \sqrt{\frac{1 - 0 - 0,061}{1 - 0,061}} = 1,0083 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\text{кл} i \text{ КН}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,2917 + 1,0083 = 1,3 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\text{кл} i \text{ Д}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,1449 \text{ отн.ед.}; \quad M_{\partial \text{оп} i \text{ Д}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,8551 \text{ отн.ед.}; \quad M_{\partial i \text{ Д}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 1,0 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\text{кл} i \text{ ДВ}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,2339 \text{ отн.ед.}; \quad M_{\partial \text{оп} i \text{ ДВ}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,6661 \text{ отн.ед.}; \quad M_{\partial i \text{ ДВ}}^{\text{U}_{\text{ном}}} = 0,9 \text{ отн.ед.};$$

б) коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток ротора, по (59)

$$K_{R i \text{ КН}} = 1 + \left(\frac{1,3}{6,5^2 \times 0,0133} - 1 \right) \times \left(\frac{0,9 - 0}{0,9} \right) = 2,313 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R i \text{ Д}} = 5,51 \text{ отн.ед.}; \quad K_{R i \text{ ДВ}} = 2,566 \text{ отн.ед.};$$

в) кратность пускового тока при номинальном напряжении и произвольном значении частоты вращения, в данном случае равно нулю, по (60)

$$K_{\text{п} i \text{ КН}} = \sqrt{1,3(1 - 0) / (2,313 \times 0,0133)} = 6,5 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{\text{п} i \text{ Д}} = 5,5 \text{ отн.ед.}; \quad K_{\text{п} i \text{ ДВ}} = 6,5 \text{ отн.ед.}$$

6. Полная электрическая проводимость ЭД по (61)

$$\gamma_{i \text{ КН}} = \sqrt{3} \times 6,5 \times 29/6000 = 0,0544 \text{ См};$$

$$\gamma_{i \text{ Д}} = 0,187 \text{ См}; \quad \gamma_{i \text{ ДВ}} = 0,172 \text{ См}.$$

Далее для группы ЭД определяются:

7. Суммарная электрическая проводимость по (62)

$$\gamma_{i \Sigma} = 0,0544 + 0,187 + 0,172 = 0,414 \text{ См}.$$

8. Начальное напряжение на шинах секции при самозапуске ЭД, отнесенное к номинальному напряжению, по (63)

$$U_{i \Sigma} = 1,03 / (1 + 0,414 \times 0,275) = 0,924 \text{ отн.ед.}$$

9. Ток секции (суммарный ток всех ЭД), отнесенный к номинальному току трансформатора СН, по (66)

$$I_{i \text{ сек}} = 0,924 \times 0,414 \times 6300 / (\sqrt{3} \times 1465) = 0,95 \text{ отн.ед.}$$

Затем для каждого ЭД рассчитывается:

10. Ток статора ЭД, отнесенный к его номинальному току, по (65)

$$I_{i\partial\partial.кн} = 0,924 \times 0,0544 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 29) = 6,0 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{i\partial\partial.д} = 0,924 \times 0,187 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 118) = 5,07 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{i\partial\partial.дв} = 0,924 \times 0,172 \times 6000 / (\sqrt{3} \times 92) = 5,98 \text{ отн.ед.}$$

II. Моменты вращения ЭД при напряжении U_{ic3} по (64)

$$M_{\partial i кн}^{U_{ic3}} = 1,3 \times 0,924^2 = 1,11 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial i д}^{U_{ic3}} = 1,0 \times 0,924^2 = 0,854 \text{ отн.ед.};$$

$$M_{\partial i дв}^{U_{ic3}} = 0,9 \times 0,924^2 = 0,768 \text{ отн.ед.}$$

12. Моменты сопротивления: конденсатного насоса по (20) $M_{ci кн} = 0,368 \times 0^3 = 0$, дымососа по (18) $M_{ci д} = 0,456 \times 0^2 = 0$, дутьевого вентилятора по (18) $M_{ci дв} = 0,347 \times 0^2 = 0$.

13. Приращение частоты вращения за промежуток времени 0,1 с по (91):

$$\Delta n_{кн} = (1,11 - 0) \times 0,1/1,38 = 0,0804 \text{ отн.ед.};$$

$$\Delta n_{д} = (0,854 - 0) \times 0,1/18,56 = 0,0046 \text{ отн.ед.};$$

$$\Delta n_{дв} = (0,768 - 0) \times 0,1/31,06 = 0,00247 \text{ отн.ед.}$$

14. Частота вращения ЭД в конце расчетного интервала времени

$$n_{(i+1) кн} = 0 + 0,0804 = 0,0804 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{(i+1) д} = 0 + 0,0046 = 0,0046 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{(i+1) дв} = 0 + 0,00247 = 0,00247 \text{ отн.ед.}$$

Проверяется, меньше ли частота вращения каждого ЭД, ее установившегося значения по (1). Если частота вращения хотя бы одного ЭД меньше ее установившегося значения, вновь производится расчет по пп.5-14; если частота вращения всех ЭД равна установившемуся значению, то расчет заканчивается.

Пример 7.

Определить, достаточна ли номинальная мощность 16 МВ·А рабочего трансформатора СЯ с напряжением короткого замыкания 10,5%, выбранного по условию ограничения тока короткого замыкания, для успешного самозапуска ЭД, подключенных к секции А. К секции также подключена статическая (недвигательная) нагрузка мощностью 630 МВ·А с коэффициентом мощности 0,75 отн.ед. Технические данные ЭД даны в табл. П9.1. Напряжение источника питания 1,018 номинального напряжения 6 кВ. В расчете принять, что начальный момент сопротивления для насосной группы механизмов $M_{сн} = 0,1$, для дутьевой группы $M_{сн} = 0,15$, а для молотковых мельниц $M_{сн} = 0,3$ —1 номинального момента ЭД.

1. Усредненное значение кратности пускового тока ЭД определяется по (96)

$$K_{п.ср} = \frac{3200 \times 6,3 + 630 \times 5,5 + 1500 \times 5,5 + 900 \times 6,4 + 2 \times 400 \times 6,5 + 250 \times 6,3}{3200 + 630 + 1500 + 900 + 400 + 250} = 6,06 \text{ отн.ед.}$$

2. Усредненное значение коэффициента полезного действия ЭД принимается равным 93%.

3. Усредненное значение коэффициента мощности принимается равным 0,85 отн.ед.

4. Начальное напряжение на шинах секции СН определяется по (95)

$$U_{нач} = 1,018 / \left[1 + \left(\frac{10,5}{100 \times 1600} \right) \times \left(\frac{6,06 \times 7280 \times 10^2}{0,85 \times 93} + 432,1 \right) \right] = 0,745 \text{ отн.ед.}$$

5. Для каждого ЭД проверяется соотношение его пускового момента вращения и момента сопротивления механизма по (97):

питательный насос ПЭН-1А

$$0,8 \times 0,745^2 \geq 1,15 \times 0,1 \quad (0,444 > 0,115);$$

циркуляционный насос ЦН-1А

$$1,1 \times 0,745^2 \geq 1,15 \times 0,1 \quad (0,61 > 0,115);$$

дымосос Д-1А

$$0,9 \times 0,745^2 > 1,15 \times 0,15 \quad (0,499 > 0,173);$$

дутьевой вентилятор ДВ-1А

$$1,0 \times 0,745^2 > 1,15 \times 0,15 \quad (0,555 > 0,173);$$

молотковая мельница ММТ-1^к

$$1,4 \times 0,745^2 > 1,15 \times 0,3 \quad (0,777 > 0,345);$$

молотковая мельница ММТ-1В

$$1,4 \times 0,745^2 < 1,15 \times 0,8 \quad (0,777 < 0,92);$$

конденсатный насос КН-1А

$$1,3 \times 0,745^2 > 1,15 \times 0,1 \quad (0,722 > 0,115).$$

Из вышеприведенных расчетов видно, что для одного агрегата условие (97) не выполнимо, а поэтому прежде, чем пытаться уменьшить мощность неотключаемых ЭД, мощность статической (недвижительной) нагрузки или увеличить мощность трансформатора, необходимо проанализировать возможность загрузки ММТ-1В таким образом, чтобы ее начальный момент сопротивления был не более 0,65. Начальный момент сопротивления молотковой мельницы зависит от количества угля, находящегося в ней. Чем больше угля, тем больше начальный момент сопротивления. Если невозможно по условиям ведения технологического режима выполнять необходимую загрузку молотковой мельницы углем, то прежде, чем решать вопрос о повышении мощности трансформатора, желательно выполнить расчет по методу последовательных интервалов. И только в зависимости от полученных результатов может решаться вопрос о замене ЭД электродвигателями с улучшенными пусковыми характеристиками, об отключении части ЭД и наконец о повышении мощности трансформатора.

СПИСОК
ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. РУКОВОДЯЩИЕ указания по расчету самозапуска двигателей собственных нужд тепловых электростанций. - М.: ВНИИЭ, 1967.
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. МУ 34-70-026-82. - М.: СПО Совзтехэнерго, 1982.
3. СЫРОМЯТНИКОВ И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1963.
4. ПРАВИЛА технической эксплуатации электрических станций и сетей. 14-е издание, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
5. СКОЛОДЖИЧ М.Н. Проектирование электрических станций. - М.: Энергоиздат, 1982.
6. РЕШЕНИЕ № 3-6/85. О блокировании действия автоматического включения резервного питания собственных нужд 6 и 0,4 кВ тепловых и атомных электростанций. - М.: СПО Совзтехэнерго, 1985.
7. РУКОВОДЯЩИЕ указания по релейной защите. - М.: ГИИТИ, Теплоэлектропроект, 1939, т.2.
8. ГЕОРГИАДИ В.Х. Упрощенный расчет режима группового выбега электродвигателей. - Промышленная энергетика, 1985, № 5.
9. ГЕОРГИАДИ В.Х., ЛОГВЕНЧЕВА Н.В. Упрощенный расчет группового выбега электроприводов, собственных нужд. - Электрические станции, 1985, № 2.
10. ГЕОРГИАДИ В.Х., ЛОГВЕНЧЕВА Н.В. Упрощенный расчет группового выбега электродвигателей и механизмов собственных нужд. - Электрические станции, 1986, № 3.
11. ГЕОРГИАДИ В.Х. Об оценке успешности самозапуска электроприводов собственных нужд электростанций по значению начального напряжения. - Электрические станции, 1987, № 3.
12. ГЕОРГИАДИ В.Х. Расчет самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций. - Электрические станции, 1985, № 3.
13. ГЕОРГИАДИ В.Х. О коэффициенте загрузки асинхронных электродвигателей собственных нужд. - Электрические станции, 1980, № 8.
14. ГЕОРГИАДИ В.Х. Определение коэффициента загрузки асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций. - Электрические станции, 1986, № 5.
15. ШТЕРНБЕРГ В.А. Косвенный метод определения загрузки асинхронных электродвигателей. - Вестник электропромышленности, 1932, № 7.
16. УЛЬЯНОВ С.А. Электромагнитные переходные процессы. - М.: Энергия, 1970.
17. БЕЛЬДМАН М.Л., ЧЕРНОВЕЦ А.К. Особенности электрической части атомных электростанций. 2-е издание, перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, 1983.
18. ГЛАЗУНОВ А.А. Электрические сети и системы 3-е издание, перераб. - М. - Л.: Госэнергоиздат, 1954.
19. ЛИНДОРФ Л.С. Поведение синхронных двигателей при коротких замыканиях в сетях и действия АПВ. - В кн.: Применение синхронных электродвигателей в промышленности. Материалы семинара. - М.: Московский дом научно-технической пропаганды, 1966.
20. СЛОДАРА М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. - М.: Энергия, 1977.
21. СЕРГЕЕВ П.С., ВИНЮГОВ Н.В., ГОРЯИЛОВ Э.А. Проектирование электрических машин. Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1969.
22. ГОЛЬДБЕРГ О.Д., ГУРИН Я.С., СВИРИДЕНКО И.С. Проектирование электрических машин. - М.: Высшая школа, 1984.
23. СПРАВОЧНИК по релейной защите/ Под ред. М.А.Берковича. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.
24. СПРАВОЧНИК по электрическим установкам высокого напряжения/ Под ред. И.И.Баумштейна, С.А.Бажанова. 3-е издание, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
25. ГУСЕВ И.Г. Упрощенные расчетные схемы электрических систем. - М.: Энергия, 1979.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
1. Краткая характеристика физических процессов, происходящих при перерыве питания, КЗ, самозапуске электроприводов собственных нужд электростанций	5
2. Общие положения по выбору расчетных условий для проверки режимов перерыва питания и последующего самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций	8
3. Рекомендуемая методика упрощенного расчета режимов перерыва питания и самозапуска группы электродвигателей собственных нужд электростанций	11
3.1. Расчет установившегося режима работы электродвигателей собственных нужд	14
3.2. Расчет режима перерыва питания электродвигателей собственных нужд	15
3.2.1. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при КЗ на шинах секции СН 3-10 кВ	15
3.2.2. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при отключении выключателя цепи рабочего питания шин секций СН 3-10 кВ	16
3.3. Расчет режима самозапуска группы электродвигателей при повторной подаче напряжения на шины секции собственных нужд	24
3.3.1. Оценка успешности самозапуска электродвигателей собственных нужд по значению начального напряжения	24
3.3.2. Расчет процесса самозапуска электродвигателей собственных нужд	28
4. Определение предельно допустимой мощности электродвигателей, участвующих в самозапуске при питании шин СН от трансформатора или токоограничивающего реактора	33
П р и л о ж е н и е 1. Определение коэффициента загрузки электродвигателей по активной мощности	36
П р и л о ж е н и е 2. Технические данные высоковольтных выключателей	37
П р и л о ж е н и е 3. Технические данные асинхронных и синхронных электродвигателей	44
П р и л о ж е н и е 4. Технические данные механизмов собственных нужд	75
П р и л о ж е н и е 5. Технические данные силовых трансформаторов	96
П р и л о ж е н и е 6. Технические данные токоограничивающих реакторов	99
П р и л о ж е н и е 7. Определение параметров элементов внешней сети, приведение их к одному значению напряжения	102
П р и л о ж е н и е 8. Определение средних значений момента вращения электродвигателей и момента сопротивления механизмов методом площадей	109
П р и л о ж е н и е 9. Примеры расчетов режимов работы электродвигателей собственных нужд электростанций	110
Список использованной литературы	139