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

gost.e-ecolog.ru

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 60x84 1/8
Печать офсетная Усл.печ.л. I6,27 Уч.-изд.л. I6,0 Тираж 700 экз.
Заказ №12/24 Издат. № 92I38

Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий ОРГРЭС
I05023, Москва, Семеновский пер., д.I5

Участок оперативной полиграфии СПО ОРГРЭС
I09432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д.29, строение 6

УДК 621.313.13.001.24

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ И САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 3-10 кВ СОБСТВЕННЫХ 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.

ВВЕДЕНИЕ

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 ±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 ПОЭЭ, проектными организациями или фирмой ОРГРЭС.

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-Петербурского 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.Мамикониянца, канд.техн.наук Э.М.Аббасову (ВНИИЭ);канд.техн.наук В.А.Зибермана (ГНИПИ "Атомэнергопроект"); 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.15, фирма ОРГРЭС, электроцех.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В НАСТОЯЩЕЙ МЕТОДИКЕ

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

I. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ПЕРЕРЫВЕ ПИТАНИЯ КЗ, САМОЗАПУСКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Известно, что процессу самозапуска группы ЭД СН предшествует либо исчезновение (рис.I), 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 загрузке 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 $E_{|0|}$ и далее уменьшается пропорционально снижению магнитного потока по закону экспоненты и частоте вращения вала, а частота напряжения изменяется пропорционально частоте вращения ротора (см.рис.I).

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 механической 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, выбегающих индивидуально при одиночном отключении.

Таким образом в течение некоторого времени вследствие наличия на шинах секций СН остаточного напряжения (см.рис.I) 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

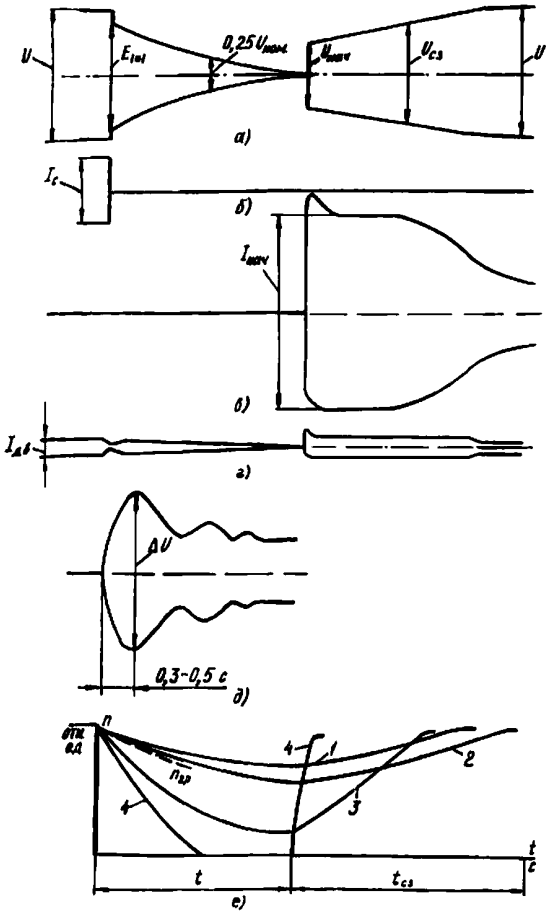


Рис.1. Характеристики зависимости параметров оборудования СН от времени при перерыве питания и самозапуске электродвигателей:

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; $n_{гр}$ – эквивалентная частота вращения группы электродвигателей; t – время перерыва питания; $t_{сз}$ – время самозапуска электродвигателей

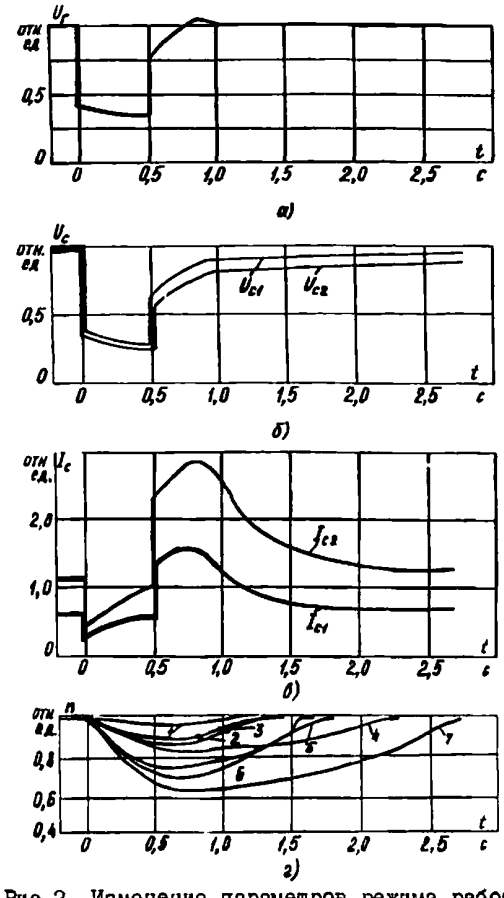


Рис.2. Изменение параметров режима работы оборудования при КЗ за блочным трансформатором энергоблока мощностью 300 МВт в зависимости от времени перерыва питания:

а – напряжение $U_г$ 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.I).

Постоянная времени затухания остаточного напряжения на шинах СН при групповом выбеге электрически связанных ЭД составляет от 0,6 до I,5 с, а изменение угла между вектором остаточного напряжения на отключенной секции СН и вектором напряжения сети до 180^0 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 I,7-2,0 номинального.

Следует отметить, что при включении группы ЭД на резервный источник питания в момент противофазы (при угле 180^0) 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, который 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 $К_I$), на шинах секций СН (точка $К_2$) напряжение на выводах ЭД уменьшается до нуля. При КЗ в цепи рабочего питания (точки $К_3$, $К_4$) 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

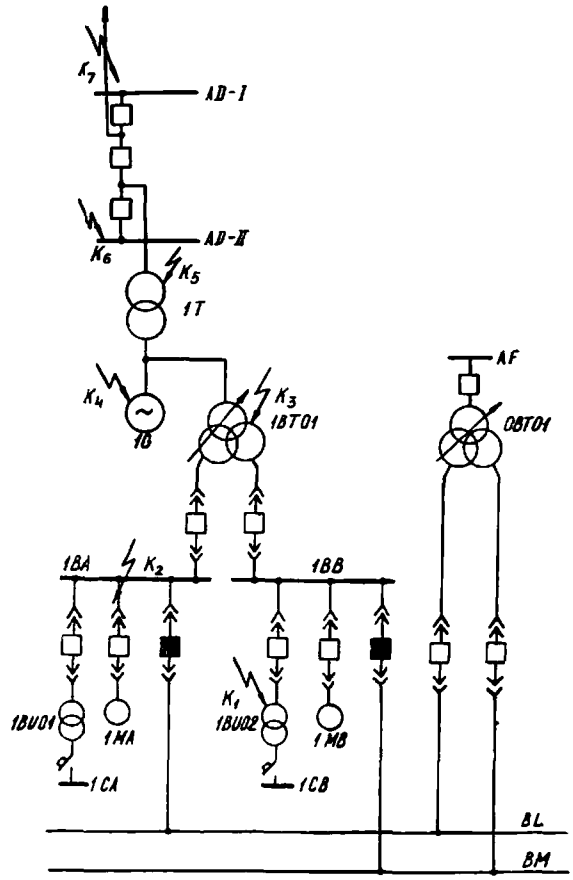


Рис.3. Расчетная схема энергоблока:

BL , BM - шины резервного питания 6 кВ; 1CA,1CB - шины рабочего питания 0,4 кВ; 1BU01, 1BU02 - трансформаторы СН 6/04 кВ; 1MA, 1MB - электродвигатели 6 кВ; 1BA, 1BB - шины рабочего питания 6 кВ; 1BT01 - рабочий трансформатор СН; OBT01 - резервный трансформатор СН; 1G - генератор; 1T - блочный трансформатор; AD -I, AD - II, AF - шины распределительного устройства высокого напряжения: $К_I$-$К_7$ - точки КЗ

только под действием противодействующего момента сопротивления его механизма.

При КЗ за блочным трансформатором (точка $К_5$), на шинах ОРУ высокого напряжения (точка $К_6$), на воздушных линиях электропередачи (точка $К_7$) 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 представляет собой разность между моментом вращения ЭД при данном напряжении и моме том сопротивления механизма. Разворот бу дет успешным, если момент вращения ЭД в течение всего процесса самозапуска будет больше момента сопротивления механизма.

По мере ускорения группы ЭД в проце самозапуска напряжение изменяет свое зна ние и это напряжение $U_{сз}$ в дальнейшем будет называться напряжением самозапуска

В связи с тем, что самозапуск ЭД се ции СН происходит при пониженном напряже нии, он может быть успешным или неуспеш ным. Успешным является лишь такой самоз пуск, при котором ЭД достигают нормальн частоты вращения за время, допустимое п условиям сохранения устойчивости технол гического режима электростанции блочног типа, а для электростанции с поперечным связями по воде и пару с ГРУ дополнител 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 трансформатора 3-10/0,4 кВ или ЭД ($К_1$); на шинах ции СН ($К_2$); в цепи блока генератор-тр форматор или ТСН, через который питает секция ($К_3$, $К_4$,$К_5$); на шинах повышенно напряжения и отходящих ВЛ ($К_6$, $К_7$), к рым присоединен данный энергоблок. Для блочного типа с выключателем в цепи ту генератора рекомендуется рассмотреть и вертый характерный случай КЗ в самом т генераторе. Проведенный анализ должен зать, какой из случаев КЗ является рас ным.

Для расчетного случая КЗ необход определить наибольшее возможное время рерыва питания нормального электросна СН, которое имеет место при действии ных электрических защит.

Для ТЭС, на которых согласно Реш № Э-6/85 "О блокировании действия авт ческого включения резервного питания венных нужд 6 и 0,4 кВ тепловых и ат электростанций" (М.: СПО Союзтехэнер [6] выполнено блокирование действи при КЗ в системе СН, повреждение в т $К_1$ и $К_2$ не является расчетным, а рас является отключение выключателей вво

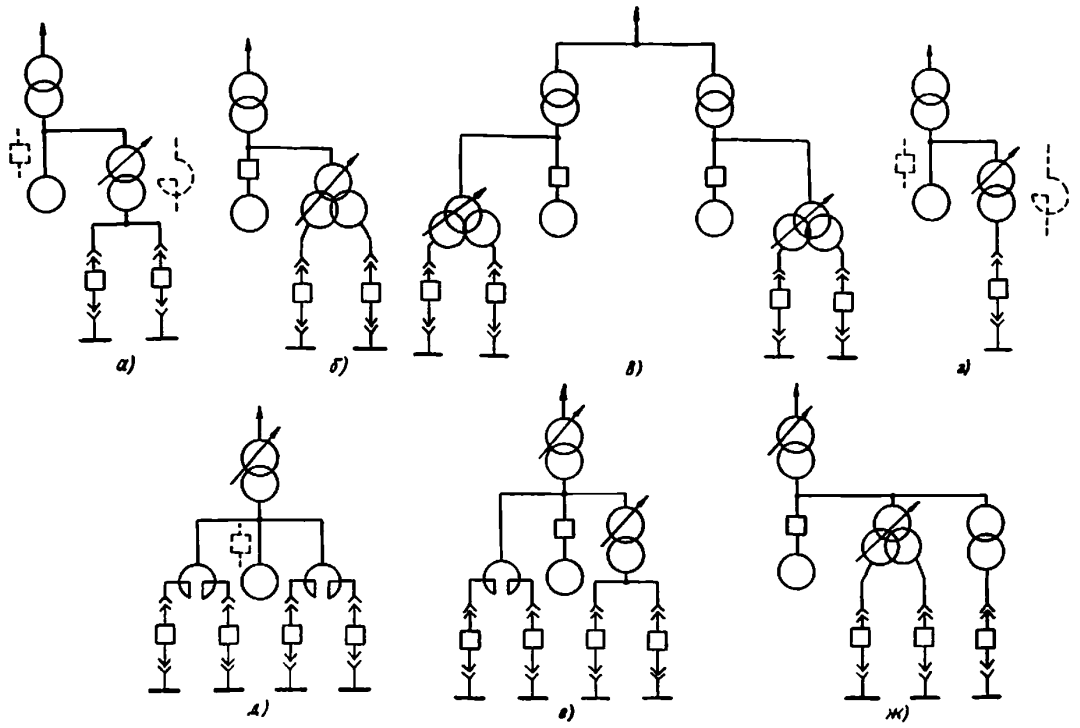


Рис.4. Варианты схем рабочего питания СН электростанций:

а, г - схемы с двухобмоточным трансформатором (или токоограничивающим реактором) СН; *б, в* - схемы при питании от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой пониженного напряжения (или от сдвоенного токоограничивающего реактора) СН; *д* - схема с двумя сдвоенными 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

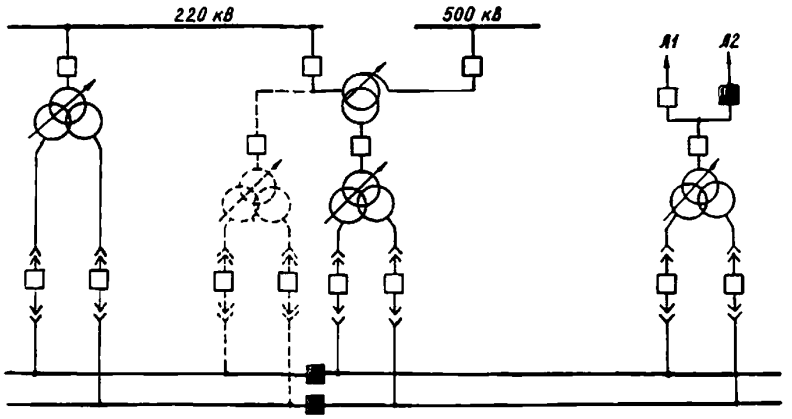


Рис.5. Варианты схем резервного питания СН электростанций

бочего питания секций СН по импульсу от технологических защит с последующим АВР. Время перерыва питания определяется временем отключения выключателей вводов рабочего питания и временем включения выключателей вводов резервного питания. При КЗ в сети СН ($К_1$, $К_2$) на ТЭС, где эти мероприятия не выполнены, время перерыва питания определяется временем отключения КЗ (временем действия резервной защиты рабочего ТСН и временем от-

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

При повреждении в цепи рабочего питания ($К_3$) к времени отключения КЗ добавляется также общее время действия АВР.

При КЗ на шинах повышенного напряжения и на отходящих линиях время перерыва питания определяется временем отключения КЗ (время действия резервной защиты плюс время отключения выключателя). Самозапуск происходит от РТСН. Если происходит отказ в работе выключателя при КЗ, 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 КЗ в цепи трансформатора 6/0,4 кВ ($К_1$) и 1,5 с, если расчетным является КЗ в цепи рабочего трансформатора СН ($К_2$).

Для ТЭС блочного типа, где выполнено блокирование действия АВР, расчетное время перерыва питания не превышает 0,12 с, если расчетным является КЗ в цепи рабочего трансформатора 6/0,4 кВ ($К_1$); при повреждении на шинах секции ($К_2$) подается импульс на запрет АВР.

На ТЭС с ГРУ расчетное время перерыва питания может достигать до 7,5 с при КЗ 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 КЗ 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.

На ТЭС блочного типа без выключателя в цепи генераторного напряжения и где не выполнены мероприятия, рекомендуемые Решением № Э-6/85, послеаварийный режим, а следовательно и состав ЭД, участвующих в самозапуске, зависят от расчетного случая КЗ.

После отключения КЗ в цепи трансформатора 6/0,4 кВ должен быть восстановлен доаварийный нагрузочный режим энергоблока, а для этого должен быть обеспечен самозапуск всех ответственных ЭД секции СН энергоблока.

При КЗ в цепи рабочего питания секции СН энергоблок должен быть переведен в режим останова. При этом необходимо обеспечить самозапуск ЭД, которые участвуют в безаварийном останове энергоблока.

Послеаварийный режим энергоблока после отключения КЗ на шинах распределительного устройства повышенного напряжения или на отходящих линиях зависит от схемы присоединения энергоблока к сборным шинам. Если энергоблок присоединен одновременно к двум системам сборных шин, то после отключения КЗ выключателем энергоблок должен восстановить нагрузочный режим. Если энергоблок присоединен только к одной (поврежденной) системе шин, то после аварийного отключения желательно сохранить работу энергоблока на СН, а если по технологическим причинам это невозможно, то энергоблок необходимо перевести в растопочный режим.

На ТЭС блочного типа с выключателем в цепи генераторного напряжения при КЗ в турбогенераторе энергоблок должен быть переведен в режим останова. При этом необходимо обеспечить самозапуск ЭД, которые участвуют в погашении котла.

При расчете самозапуска ЭД от ПРТСН следует учитывать предварительную загрузку (ЭД другого энергоблока).

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ МЕТОДИКА УПРОЩЕННОГО РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ПЕРЕРЫВА ПИТАНИЯ И САМОЗАПУСКА ГРУППЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Расчет процессов перерыва питания и самозапуска ЭД СН при любой сложности электрической схемы и различном предшествующем режиме работы источника питания практически невозможно реализовать вручную. Для этих целей применяются большие ЭВМ [2].

При упрощенной оценке успешности процесса самозапуска ЭД СН расчетную схему любой сложности можно преобразовать в простую, эквивалентная схема замещения которой состоит из источника питания неограниченной мощности с шинами постоянного по значению напряжения переменного тока, сопротивления внешней сети, сопротивлений ЭД и других потребителей (рис.6).

Расчетную проверку режимов работы ЭД СН при перерывах питания и последующем самозапуске рекомендуется выполнять в последовательности, показанной на рис.7, 8 для эксплуатируемых и проектируемых ТЭС.

Ниже излагаются основы упрощенных приближенных методов расчета, которые рекомендуются к применению.

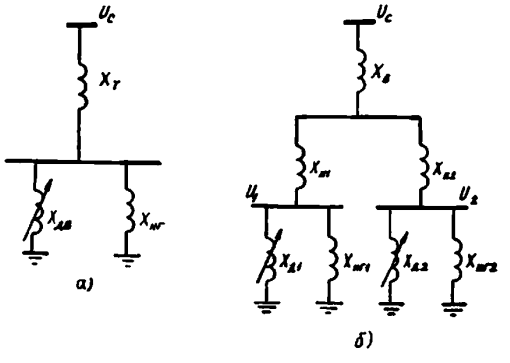


Рис.6. Эквивалентные схемы замещения СН электростанций:

а - при питании от двухобмоточного трансформатора (или токоограничивающего реактора); *б* - при питании от двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низкого напряжения (или сдвоенного токоограничивающего реактора)

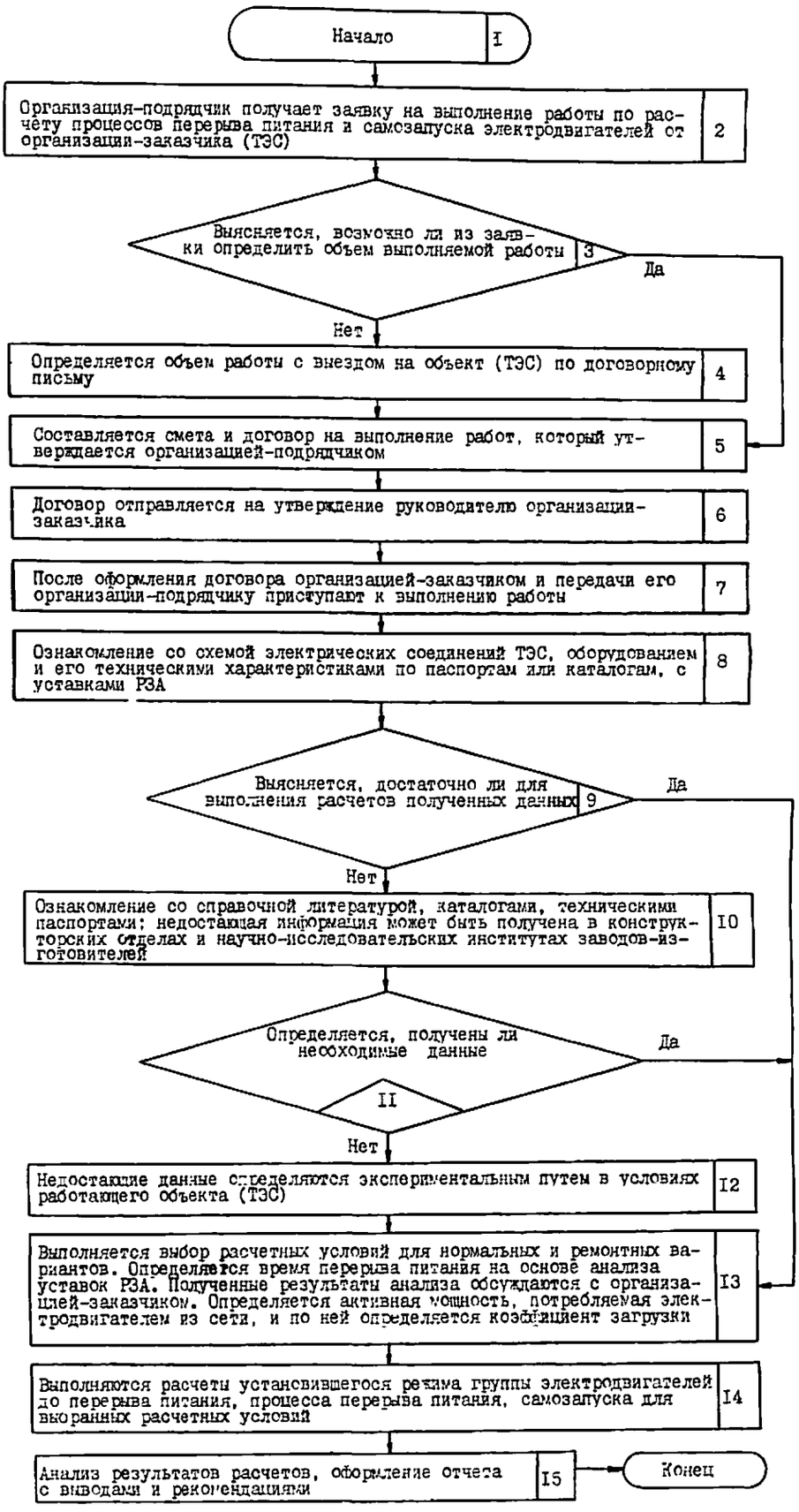


Рис.7. Последовательность выполнения работ на действующей ТЭС

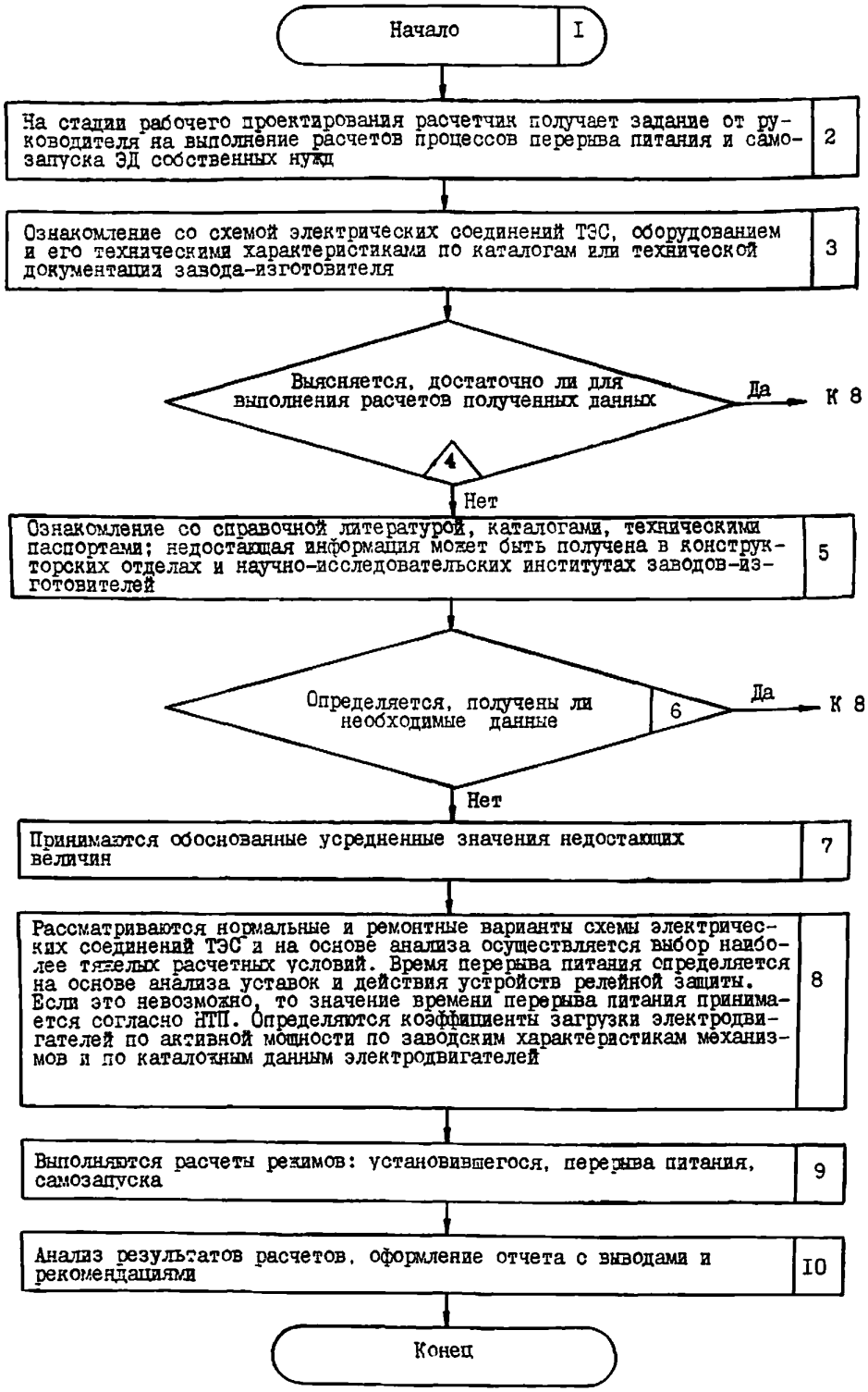


Рис.8. Последовательность выполнения работ на стадии проектирования

3.I. 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

$$n_{yj} = 1 + \sqrt{\left(\frac{M_{макс\,j} K_U^2 s_{кр\,j}}{K_{3j}}\right)^2 - s_{кр\,j}^2} - \frac{M_{макс\,j} K_U^2 s_{кр\,j}}{K_{3j}} \qquad (1)$$

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

$$s_{кр\,j} = s_{ном\,j}\left(M_{макс\,j} + \sqrt{M_{макс\,j}^2 - 1}\right); \qquad (2)$$

$$s_{ном\,j} = 1 - n_{ном\,j}/n_{синх\,j} = 1 - p_j n_{ном\,j}/3000 \qquad (3)$$

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

$$K_U = U/U_{ном} \qquad (4)$$

где в формулах (I-3):

p_j - количество пар полюсов;

$M_{макс\,j}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед; $n_{ном\,j}$ - номинальная частота вращения ЭД, об/мин; $n_{синх\,j}$ - синхронная частота вращения магнитного поля статора, об/мин; U - напряжение на шинах секции СН, В; $U_{ном}$ - номинальное напряжение ЭД, В; K_{3j} - 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:

I. Для каждого ЭД определяются:

по формулам (2) и (3) критическое и номинальное скольжения;

потребляемая активная мощность

$$P_{эj} = K_{3j} P_{ном\,j} K_U^2 10^2/\eta \qquad (5)$$

где η - коэффициент полезного действия ЭД, %;

реактивная мощность намагничивания

$$Q_{мj} = \sqrt{3} U_{ном} I_{ном\,j}\left[\sqrt{1 - \cos^2\varphi_{ном}} - \frac{\cos\varphi_{ном} s_{ном\,j}}{s_{кр\,j}}\right] K_U^2 10^{-3}, \qquad (6)$$

где $I_{ном j}$ - номинальный ток ЭД, А;

$\cos\varphi_{ном j}$ - номинальный коэффициент мощности, отн.ед.;

реактивная мощность рассеяния

$$Q_{рj} = \sqrt{3} U_{ном} I_{ном j} \cos\varphi_{ном j} \times \frac{K_{3j}^2}{K_U^2} \frac{S_{ном j}}{S_{кр j}} 10^{-3} = P_{1 ном j} \times \frac{K_{3j}^2}{K_U^2} \frac{S_{ном j}}{S_{кр j}} 10^{-3}, \quad (6а)$$

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

суммарная реактивная мощность, квар

$$Q_{дj} = Q_{мj} + Q_{рj}; \quad (7)$$

полная мощность, кВ·А

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

коэффициент мощности, отн.ед.

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

ток статора, А

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

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

суммарная активная и реактивная мощности секции СН

$$P_c = \sum_{j=1}^{N} P_{дj} + P_{нагр} K_U^2;$$
$$Q_c = \sum_{j=1}^{N} Q_{дj} + Q_{нагр} K_U^2, \quad (11)$$

где $P_{дj}$ и $Q_{дj}$ - 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, кВ·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 электроснабжения СН принимаются различные допущения, позволяющие выполнить расчет режима перерыва питания группы ЭД приближенно при малом объеме вычислений.

3.2.I. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при КЗ на шинах секции СН 3-I0 кВ

При выполнении данного расчета делаются следующие допущения:

пренебрегаем активным сопротивлением элементов сети 3-I0 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:

I. Для каждого агрегата СН определяется значение времени ускорения (электромеханической 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·м^2, 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 [2I] допущении, что время ускорения электродвигателя (без механизма)

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

$$J_{эдj} = \frac{364000\,P_{ном\,j}^{1+\alpha}}{4\,n_{ном\,j}^{2}}, \qquad (I5а)$$

где α - показатель степени, равный 0,28 при $P_{ном\,j}$ = 0,3÷20 кВт; 0,34 при $P_{ном\,j}$ = 20÷I00 кВт; 0,42 при $P_{ном\,j}$ = I00÷500 кВт; 0,43÷0,62 при $P_{ном\,j}$ = 500÷5000 кВт.

Для синхронных ЭД, имеющих более тяжелые роторы, момент инерции на I0-20% больше.

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

$$J_{эдj} = (0{,}55 \div 0{,}65)\,D_{н2}^{4}\,\ell_2\,10^{-12}, \qquad (I5б)$$

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 I0% значения момента инерции ротора ЭД является необоснованной. Эксперименты, выполненные автором, показали, что момент инерции роторов насосов малой подачи составляет от I0 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 пренебрежение 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-I0 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.

Таблица I

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	$M_{cj} = K_{3j}$ (16)	$n_{ij} = n_{yj} - tK_{3j}/T_{Jj}$ (24)	$T_{\phi j} = (n_{yj} - n_{zp})T_{Jj}/K_{3j}$ (33)
Резервные возбудители (генераторы постоянного тока независимого возбуждения)	$M_{cj} = K_{3j} n_{ij}$ (17)	$n_{ij} = n_{yj} e^{-tK_{3j}/T_{Jj}}$ (25)	$T_{\phi j} = -T_{Jj} \ell n \left\| \frac{n_{zp}}{n_{yj}} \right\| / K_{3j}$ (34)
Дымососы, дутьевые вентиляторы, мельничные вентиляторы, насосы, работающие на сеть без противодавления	$M_{cj} = K_{3j} n_{ij}^2$ (18)	$n_{ij} = 1 / \left(\frac{1}{n_{yj}} + tK_{3j}/T_{Jj} \right)$ (26)	$T_{\phi j} = \frac{\left[(n_{yj} - n_{zp})/(n_{zp} n_{yj}) \right] T_{Jj}}{K_{3j}}$ (35)
	$M_{cj} = M_{cnj} + (K_{3j} - M_{cnj}) n_{ij}^2$ (19)	$n_{ij} = tg\left(arctg\, B_j - t\sqrt{M_{cnj} A_j}/T_{Jj} \right)/B_j$; (27) $A_j = K_{3j} - M_{cnj}$; (27а) $B_j = \sqrt{K_{3j}/M_{cnj} - 1}$ (27б)	$T_{\phi j} = T_{Jj} \left[arctg \left(\frac{n_{yj}}{\sqrt{M_{cnj}/A_j}} \right) - arctg \left(\frac{n_{zp}}{\sqrt{M_{cnj}/A_j}} \right) \right] \Big/ \sqrt{M_{cnj} A_j}$ (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)	$n_{ij} = 1\Big/\sqrt{\frac{1}{n_{yj}^{2}} + 2t K_{3j}/T_{Jj}}$ (28)	$T_{\phi j} = \frac{\left[(n_{yj}^{2} - n_{zp}^{2})/(n_{yj}^{2}\, n_{zp}^{2})\right] T_{Jj}}{(2K_{3j})}$ (37)
Насосы, работающие через обратный клапан на сеть с противодавлением	$M_{cj} = \begin{cases} a_j + b_j n_{ij} \\ \text{при } n_{ij} > n_{отк\,j} \\ K_{3oj}\, n_j^{2} \\ \text{при } n_{ij} \le n_{отк\,j} \end{cases}$; (21) $b_j = \frac{(K_{3j} - K_{3oj}\, n_{отк\,j}^{2})}{(1 - n_{отк\,j})}$; (21а) $a_j = K_{3oj}\, n_{отк\,j}^{2} - b_j n_{отк\,j}$; (21б)	$n_{ij} = \begin{cases} \left(n_{yj} + \frac{a_j}{b_j}\right) e^{-\left(\frac{b_j t}{T_{Jj}}\right)} - \frac{a_j}{b_j} \\ \text{при } n_j > n_{отк\,j}\ ;\ (t < T_{отк\,j}) \\ \frac{1}{\frac{K_{3oj}(t - T_{отк\,j})}{T_{Jj}} + \frac{1}{n_{отк\,j}}} \\ \text{при } n_j \le n_{отк\,j}\ ;\ (t \ge T_{отк\,j}) \end{cases}$; (29) $T_{отк\,j} = \frac{T_{Jj}}{b_j} \ell n \left\lvert \frac{a_j + b_j}{a_j + b_j n_{отк\,j}} \right\rvert$ (29а)	$T_{\phi j} = \begin{cases} \frac{T_{Jj}}{b_j} \ell n \left\lvert \frac{a_j + b_j n_{yj}}{a_j + b_j n_{zp}} \right\rvert \\ \text{при } n_{zp} > n_{отк\,j} \\ \frac{T_{Jj}}{b_j} \ell n \left\lvert \frac{a_j + b_j n_{yj}}{a_j + b_j n_{отк\,j}} \right\rvert + \\ + \frac{T_{Jj}}{K_{3oj}} \left(\frac{1}{n_{zp}} - \frac{1}{n_{отк\,j}}\right) \\ \text{при } n_{zp} \le n_{отк\,j} \end{cases}$ (38)

	$n_{отк\,j} = \sqrt{H_{ст\,j} / H_{0j}}$; (21в) $H_{ст\,j} \approx (\rho_{нj} - \rho_{вj}) / (10 \gamma_t)$; (21г) $K_{зоj} = N_{cj} / P_{номj}$ (21д)		
Среднеходные мельницы МСП-2650	$M_{cj} = a_j + \beta_j (1 - n_{ij})^2$; (22) $a_j = K_{зj}$; (22а) $\beta_j = M_{снj} - K_{зj}$ (22б) при $M_{снj} > K_{зj}$	$n_{ij} = 1 - tg\left\{ t\sqrt{a_j \beta_j} / T_{jj} + arctg\left[(1 - n_{yj}) \times \sqrt{\frac{\beta_j}{a_j}} \right] \right\} \Big/ \sqrt{\frac{\beta_j}{a_j}}$ (30)	$T_{фj} = T_{jj} \left\{ arctg\left[(1 - n_{гр}) \sqrt{\frac{\beta_j}{a_j}} \right] - arctg\left[(1 - n_{yj}) \sqrt{\frac{\beta_j}{a_j}} \right] \right\} \Big/ \sqrt{a_j \beta_j}$ (39)
Шаровые барабанные мельницы ШБМ-370/850 (Ш-50А), ШБМ-400/1000 (Ш-70)	$M_{cj} = M_{снj} + (K_{зj} - M_{снj}) n_{ij}^*$; (23) $a_j = M_{снj}$; (23а) $\beta_j = K_{зj} - M_{снj}$ (23б)	$n_{ij} = \left(n_{yj} + \frac{a_j}{\beta_j} \right) e^{-\frac{t \beta_j}{T_{jj}}} - \frac{a_j}{\beta_j}$ (31)	$T_{фj} = \frac{T_{jj}}{\beta_j} \ell n \left\| \frac{a_j + \beta_j n_{yj}}{a_j + \beta_j n_{гр}} \right\|$ (40)

Окончание таблицы 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)	$T_{\phi ij} = T_{\phi (i-1) j} - \Delta t$ (41) при $n_{ij} > n_{zp}$

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

Примечание. 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; $T_{\phi j}$ - фиктивное время индивидуального выбега агрегата, с; n_{ij} - частота вращения агрегата, отн.ед.; n_{zp} - эквивалентная частота вращения группы ЭД, отн.ед.; $M_{cнj}$ - начальный момент сопротивления механизма при частоте вращения, равной нулю, отн.ед.; $A_j \alpha_j$, $B_j \beta_j$ - расчетные коэффициенты, отн.ед.; K_{30j} - коэффициент ЭД по активной мощности при работе насоса при закрытой задвижке, отн.ед.; $n_{отк\,j}$ - частота вращения, при которой происходит открытие (или закрытие) обратного клапана, установленного на линии напора насоса, отн.ед.; $H_{ст\,j}$ - статическое противодавление, м; H_{oj} - напор, развиваемый насосом при номинальной частоте вращения и расходе, равном нулю (рис.II.I), м; $p_{нj}$ - давление на линии напора насоса; Па; $p_{вj}$ - давление на стороне всасывания насоса, Па; γ_t - удельный вес воды при температуре t °С, кгс/м^3; j - порядковый номер агрегата; N_{oj} - активная мощность, потребляемая ЭД при работе насоса при закрытой задвижке (см.рис.II.I), кВт; n_{yj} - частота вращения ЭД в установившемся режиме работы, отн.ед. (для синхронного ЭД всегда принимается равной I, а для асинхронного ЭД вычисляется по формуле (I); Δt - шаг расчета по времени, с; $T_{отк\,j}$ - 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:

I) время ускорения по формуле I5;

2) номинальный коэффициент мощности

$$\cos\varphi_{ном\,j} = P_{ном\,j}\,10^{5}/(\sqrt{3}\,I_{ном\,j}\times$$

$$\times\,U_{ном}\,\eta_{ном\,j}), \qquad (42)$$

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

3) номинальная полная мощность $S_{п.ном\,j}$, кВ·А

$$S_{п.ном\,j} = \sqrt{3}\,I_{ном\,j}\,U_{ном}\,10^{-3}; \qquad (43)$$

4) номинальное скольжение по формуле (3):

5) электромагнитная постоянная времени затухания остаточного напряжения по формуле

$$T_{эj} = 2M_{макс\,j}/[314(2M_{макс\,j}\sqrt{1-\cos^2\varphi_{ном\,j}}-$$

$$-\cos\varphi_{ном\,j})s_{ном\,j}], \qquad (44)$$

где $M_{макс\,j}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $\cos\varphi_{ном\,j}$ - номинальный коэффициент мощности, отн.ед.; $s_{ном\,j}$ - номинальное скольжение, отн.ед.

Далее определяются параметры эквивалентного ЭД (группы ЭД):

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

$$T_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{N}\left(S_{п.ном\,j}T_{эj}\right)\Big/\sum_{j=1}^{N}S_{п.ном\,j}, \qquad (45)$$

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

7) эквивалентная частота вращения $n_{гр}$ и время $T_{гр}$ в следующей последовательности:

а) задаемся произвольным значением времени группового выбега $t_{гр\,i}$;

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

$$n_{гр} = 1-\sum_{j=1}^{N}\left[T_{jj}\,P_{ном\,j}\,(1-n_{ij})\right]\Big/\sum_{j=1}^{N}(T_{jj}\,P_{ном\,j}), \qquad (46)$$

где $P_{ном\,j}$ - номинальная мощность ЭД, кВт; T_{jj} - 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 $t_{гр\,i}$

$$U_{гр.р} = E_{101}\,n_{гр}\,e^{-\left(t_{гр\,i}/T_{\Sigma}\right)}, \qquad (47)$$

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 [I6]:

$$E_{101} = \sqrt{(U\cos\varphi_c)^2+(U\sqrt{1-\cos^2\varphi_c}-}\cdots\rightarrow$$

$$\rightarrow\cdots\overline{-I_c X''_{\Sigma})^2}\Big/U_{ном}, \qquad (48)$$

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 (I4), отн.ед.; I_c - ток секции, определяемый по формуле (I3), А; X''_{Σ} - сум-

марное сверхпереходное сопротивление группы ЭД, Ом, вычисляемое по формуле

$$x''_{\Sigma} = 1 \Big/ \sum_{j=1}^{N} \left(K_{nj} \sqrt{3}\, I_{ном\, j} / U_{ном} \right), \qquad (49)$$

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

д) сравниваем расчетное и заданное значения остаточного напряжения по формуле

$$\xi = \left| (U_{zp.з} - U_{zp.р}) \right| / U_{zp.з} \leqslant \xi_{з}, \qquad (50)$$

где $\xi_{з}$ - заданная точность расчета; $U_{zpз}$ - заданное значение остаточного напряжения, равное 0,25 номинального [3] ;

е) если $\xi > \xi_{з}$, то задаемся новым значением времени

$$t_{zp(i+1)} = t_{zp\,i} + \Delta t, \qquad (51)$$

где Δt - шаг расчета по времени, с;

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

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

Затем для каждого ЭД определяются:

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

9) полное эквивалентное время перерыва питания по формуле

$$T_{nj} = t - T_{zp} + T_{фj}, \qquad (52)$$

где t - время перерыва питания шин СН, с.

Под фиктивным временем индивидуального выбега $T_{фi}$ понимается время, необходимое агрегату, выбегающему по индивидуальной характеристике, для достижения частоты вращения, равной эквивалентной частоте вращения n_{zp}.

Как видно из формулы (52), полное эквивалентное время перерыва питания T_{nj} слагается из фиктивного времени индивидуального выбега $T_{фj}$ и времени выбега агрегата по индивидуальной характеристике $t - T_{гр}$;

I0) частота вращения по одной из формул табл.I при $t = T_{nj}$.

<u>Метод последовательных интервалов</u> [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:

I) время ускорения по формуле (I5) ;

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_{zp} и время выбега T_{zp} :

задаемся начальным значением времени группового выбега $t_{zp\,i}$, равным нулю;

принимаем 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

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

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 (I5), с; M_{cj} - момент сопротивления механизма, представленный кусочно-линейной аппроксимацией (рис.9)

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

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_{zp} группы ЭД, отн.ед., по формуле (46);

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

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

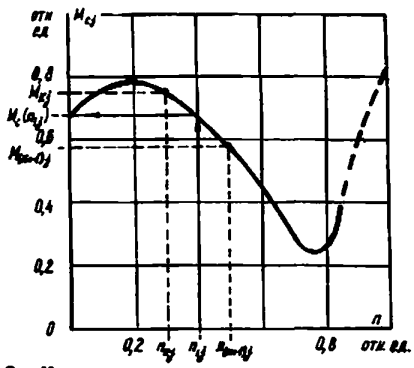


Рис.9. Кривая зависимости момента сопротивления механизма от частоты вращения: n_{kj} и $n_{(k+1)j}$ - табличные значения частот вращения вала агрегата и соответствующие им значения моментов сопротивления механизма M_{kj} и $M_{(k+1)j}$; n_{ij} - расчетное значение частоты вращения, для которого определяется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

Если $\varepsilon > \varepsilon_з$, то задаемся новым значением времени по формуле (5I); обычно $\varepsilon_з$ задается равной 0,0I или 0,00I.

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

Затем для каждого ЭД определяются:

8) фиктивное время индивидуального выбега следующим образом:

принимаем начальное значение времени индивидуального выбега $t_{\phi ij}$, 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_{zp}. Если $n_{(i+1)j} > n_{zp}$, то задаемся новым значением времени $t_{\phi(i+1)j} = t_{\phi ij} + \Delta t$ и вновь по формуле (53) определяем частоту вращения.

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

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

I0) частота вращения ЭД в конце перерыва питания следующим образом:

принимаем 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 $t_{nj} < T_{\phi j}$, 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 $t_{nj} \geq T_{\phi j}$ 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.I. 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, II] :

$$M_{дij}^{U_{ном}} U_{нач}^2 \geq K_{зап} M_{cij} , \qquad (55)$$

где $M_{дij}$, M_{cij} - момент вращения ЭД и момент сопротивления механизма при текущем i -м значении частоты вращения каждого ЭД n_{ij}, отн.ед.; $U_{нач}$ - начальное напряжение в момент повторного включения, отн.ед.; j - порядковый номер ЭД; $K_{зап}$ - коэффициент запаса, учитывающий погрешность исходной информации и принимаемый равным I,I5.

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 $0 \div n_{кр}$ 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 следующей последовательности:

Для каждого ЭД определяется:

I) 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 формул

$$M_{дij}^{U_{ном}} = \begin{cases} M_{клij} & при\ n_{ij} \geq n_{крj} \\ M_{клij} + M_{допij} & при\ n_{ij} < n_{крj} \end{cases} ; \qquad (5$$

$$M_{клij}^{U_{ном}} = 2M_{максj} \Big/ \Big[(1-n_{ij})/s_{крj} + s_{крj}/(1-n_{ij})\Big]; \qquad (5$$

$$M_{допij}^{U_{ном}} = \Big[M_{nj} - 2M_{максj} s_{крj} \Big/ (1+s_{крj}^2)\Big] \times \sqrt{\frac{(1-n_{ij}-s_{крj})}{(1-s_{крj})}} , \qquad (5$$

где M_{nj} - кратность начального пускового момента ЭД, отн.ед.; $M_{макс\,j}$ - кратность максимального момента ЭД, отн.ед.; $S_{кр\,j}$ - критическое скольжение ЭД, отн.ед.;

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

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

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

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

$$K_{nij}=\sqrt{M_{\partial ij}^{U_{ном}}\left(1-n_{ij}\right)/\left(K_{Rj}\,S_{ном\,j}\right)}; \quad (60)$$

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

$$\gamma_{ij}=\sqrt{3}\,K_{nij}\,I_{ном\,j}/U_{ном}, \quad (61)$$

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

Далее для группы ЭД и статической нагрузки определяются:

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

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

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 самозапуске $U_{нач}$, отн.ед. отнесенное к номинальному напряжению, по формуле

$$U_{нач}=U_c/\left(1+\gamma_{\Sigma}\,X_{вн}\right), \quad (63)$$

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

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

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

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

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

I0) соотношение момента вращения $M_{\partial ij}$ и момента сопротивления M_{cij} по формуле (55); если для всех ЭД условие (55) выполняется, то ускорение ЭД при самозапуске будет успешным; если хотя бы для одного ЭД это условие не выполняется, то необходимо выполнить расчет всего процесса самозапуска.

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

$$I_{\partial\partial j}=U_{нач}\,\gamma_j\,U_{ном}/\left(\sqrt{3}\,I_{ном\,j}\right) \quad (65)$$

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

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

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

вающего 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

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

где M_{cij} - момент сопротивления механизма, рассчитанный по одной из соответствующих формул, представленных в табл.I, при частоте вращения n_{ij}, отн.ед.; $M_{\partial ij}^{U_{ном}}$ 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 $n_{кpj}$, а развиваемый АД момент вращения при данном значении начального напряжения будет меньше или равен моменту сопротивления механизма, т.е.

$$M_{максj}^{U_{ном}} U_{нач}^2 \leq M_{cj}(n_{кpj}), \qquad (68)$$

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

$$n_{кpj} = 1 - S_{кpj} \qquad (69)$$

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

$$U_{нач\,j} \geq U_{\partial j} \qquad (70)$$

Для ЭД с наиболее характерным составом механизмов, момент сопротивления которых описывается аналитическими выражениями (I6) - (24), минимальное значение допустимого начального напряжения может быть определено по формуле

$$U_{\partial j} = \sqrt{A_j}, \qquad (7I)$$

где A_j - параметр, отражающий необходимое значение избыточного момента, при котором не нарушается устойчивая работа агрегата в целом, отн.ед. (рис.I0).

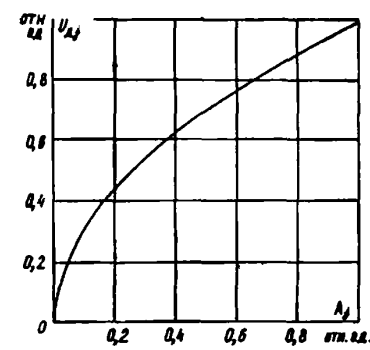


Рис.I0. Кривая зависимости допустимого напряжения по условию сохранения устойчивости работы предвключенных электродвигателей при самозапуске другой группы электродвигателей от расчетного параметра A_j

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 (I6)

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

где K_{3j} - коэффициент загрузки ЭД по активной мощности, отн.ед.;

для механизмов с моментом сопротивления, определяем по формуле (I7)

$$A_j = K_{зап} K_{3j} n_{крj} / M_{макс\,j} ; \qquad (73)$$

для механизмов с моментом сопротивления, рассчитываемым: по формуле (I8)

$$A_j = K_{зап} K_{3j} n^2_{крj} / M_{макс\,j} ; \qquad (74)$$

по формуле (I9)

$$A_j = K_{зап} \left[M_{снj} + (K_{3j} - M_{снj}) n^2_{крj} \right] / M_{макс\,j} , \qquad (75)$$

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

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

$$A_j = K_{зап} K_{3j} n^3_{крj} / M_{макс\,j} ; \qquad (76)$$

для механизмов момент сопротивления которых рассчитывается по формуле (2I)

$$A_j = K_{зап} \left[a_j + \beta_j \cdot n_{крj} \right] / M_{макс\,j} , \qquad (77)$$

где a_j и β_j - коэффициенты, определяемые по формулам (2Iа) и (2Iб);

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

$$A_j = K_{зап} \left[K_{3j} + (M_{снj} - K_{3j})(1 - n^2_{крj}) \right] / M_{макс\,j} ; \qquad (78)$$

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

$$A_j = K_{зап} M_{cj} (n_{крj}) / M_{макс\,j} \qquad (79)$$

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

$$U_{дj} = K_{3j} P_{номj} X_j / (E_j U_{ном} 10^3) , \qquad (80)$$

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

$$E_j = \sqrt{(U + Q_{0j} X_j / U)^2 \pm (P_{0j} X_j / U)^2} \qquad (81)$$

Активная P_{0j} ,кВт, и реактивная Q_{0j} , квар, мощности потребляемые СД в установившемся режиме работы из сети, по следующим формулам:

$$P_{0j} = K_{3j} P_{номj} ; \qquad (82)$$

$$Q_{0j} = P_{0j} \, tg \varphi_{0j} , \qquad (83)$$

где U - напряжение на зажимах обмотки статора СД в предшествующем установившемся режиме работы, кВ; φ_{0j} - 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 происходят 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 приближенно 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 приближенно оценить правильность выбора уставки по току токовой отсечки ЭД, а время самозапуска позволяет оценить уставки 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:

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

$$t_{уст} = 1{,}3\,t_{сз}, \qquad (85)$$

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 I 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 $M_{cj}(n)$ от частоты вращения заменяются эквивалентными средними соответственно $M_{\partial.ср.j}$ и $M_{c.ср.j}$ (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 $M_{c.ср.j}$ 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:

I) номинальное скольжение $S_{ном j}$ по формуле (3);

2) критическое скольжение $S_{кр j}$ по формуле (2);

3) время ускорения T_{jj} по формуле (I5);

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

5) конкретное значение K_{nij} 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_{nij} ;

6) полная электрическая проводимость по формуле (6I).

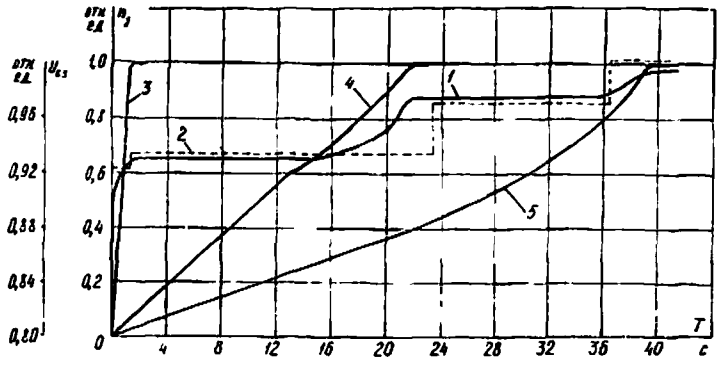


Рис.II. Кривые зависимости напряжения секции (1,2), частот вращения электродвигателей (3,4,5) при самозапуске от времени:
———— экспериментальные; - - - - - расчетные

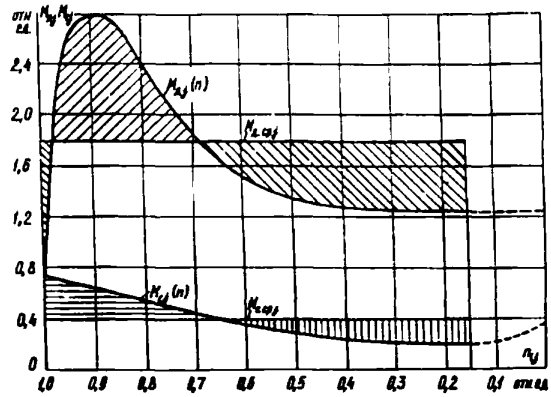


Рис.I2. Кривые зависимости момента вращения электродвигателя и момента сопротивления механизма: $M_{дj}(n); M_{cj}(n)$ - реальные; $M_{д.ср\,j}$; $M_{с.ср\,j}$ - эквивалентные

Далее для группы ЭД определяются:

7) суммарная электрическая проводимость по формуле (62);

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

9) ток секций по формуле (66).

Затем для каждого ЭД рассчитывается:

I0) ток статора по формуле (65);

II) среднее значение момента вращения $M_{д.ср\,j}$ по методике, изложенной в приложении 8;

I2) среднее значение момента сопротивления механизма $M_{с.ср\,j}$ по методике, изложенной в приложении 8;

I3) время разворота до установившегося значения частоты вращения при постоянстве напряжения $U_{сз}$ по формуле

$$T'_{pj} = T_{Jj}(n_{yj} - n_{ij}) \Big/ \left(M^{U_{ном}}_{д.ср\,j} U^2_{сз} - M_{с.ср\,j}\right), \quad (86)$$

где T_{Jj} - время ускорения, с; n_{yj} - установившееся значение частоты вращения, отн.ед.; n_{ij} - текущее значение частоты вращения, отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д.ср\,j}$ - среднее значение момента вращения ЭД, отн.ед.; $M_{с.ср\,j}$ - среднее значение момента сопротивления механизма, отн.ед.

Из всех ЭД выбирается такой, у которого минимальное время разворота. Это время обозначается $T'_{рк}$. Для этого ЭД частота вращения при дальнейших расчетах принимается равной n_{yj} , а при приближенных расчетах за установившееся значение частоты вращения ЭД можно принять ее номинальное значение

$$n_{yj} = n^*_{ном\,j} = n_{ном\,j} / n_{синх\,j} , \quad (87)$$

где $n_{ном\,j}$ - номинальная частота вращения вала ЭД, об/мин; $n_{синх\,j}$ - синхронная частота вращения магнитного поля статора ЭД, об/мин.

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

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

где $к$ - индекс, указывающий на последовательность ускорения ЭД;

I4) частота вращения, которую ЭД приобретают за время $T'_{рк}$ по формуле

$$n_{(i+1)j} = n_{ij} + T'_{рк} \left(M^{U_{ном}}_{д.ср\,j} U^2_{сз} - M_{с\,ср\,j}\right) \Big/ T_{Jj} , \quad (89)$$

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

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

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 $M_{д.ср\,j}^{U_{ном}}$ и момента сопротивления механизма $M_{с.ср\,j}$ 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-I,5 с.

Расчет выполняется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

I) номинальнсе скольжение $s_{ном\,j}$ по формуле (3);

2) критическое скольжение $s_{кр\,j}$ по формуле (2);

3) время ускорения T_{Jj} по формуле (I5);

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

5) конкретное значение $K_{пij}$ 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 $K_{пij}$;

6) полная электрическая проводимость по формуле (6I).

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 $U_{сз}$;

9) ток секции по формуле (66).

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

I0) ток статора по формуле (65);

II) конкретное значение $M_{дj}^{U_{ном}}$ для конкретного значения частоты вращения, если известна зависимость момента вращения ЭД от частоты вращения, и затем выполняется расчет по п.I2; если зависимость момента вращения ЭД от частоты вращения неизвестна, то используется обобщенная характеристика момента вращения, определяемая по формуле (56);

I2) момент вращения ЭД при частоте вращения n_{ij} и напряжении $U_{сз}$ по формуле (64);

I3) 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 (I6) - (23);

I4) приращение частоты вращения за промежуток времени Δt по формуле

$$\Delta n_j = (M_{\partial ij} - M_{cij})\Delta t / T_{Jj} ; \qquad (9I)$$

I5) частота вращения в конце расчетного интервала времени Δt по формуле

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

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_{yj}, то такой ЭД считается самозапустившимся и в дальнейших расчетах его частота вращения принимается равной n_{yj};

I6) время самозапуска по формуле

$$t_{c3} = \sum_{i=1}^{K} \Delta t_i , \qquad (93)$$

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

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 заводы-изготовители могут выдать 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 [2I]. У нормальных СД на напряжение 3, 6, I0 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

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

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 самозапуск 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, м но определить, нагреваются ли обмотки стат ЭД за время самозапуска выше допустимой те пературы. Если время пуска, самозапуска ме ше допустимого времени пуска по условию на грева, то ЭД не нагреваются выше допустим температуры. Если время пуска, самозапу 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 подключенных 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 или 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

$$U_{нач} = U_c \Big/ \left[1 + \left(\frac{U_{кз} U^2_{ном}}{100 S_{ном.т}} + X_{вн} \right) \times \right.$$

$$\left. \times \left(\frac{K_{п.ср} P_{ном\,\Sigma} 10^2}{\cos\varphi_{ном.ср} \eta_{ном.ср} U^2_{ном}} + \frac{Q_{нагр}}{U^2_{ном}} \right) \right], \quad (95)$$

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; $X_{вн}$ - сопротивление внешней сети, Ом; $K_{п.ср}$ - усредненное значение кратности пускового тока ЭД, определяется по формуле

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

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

$$M_{пj} U^2_{нач} \geq K_{зап} M_{снj}, \qquad (97)$$

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:

$$U_{нач.1} = U_C X_{н1д} \Big/ \left[A(X_{нг1} + X_{н1д})\right]; \qquad (98)$$

$$U_{нач.2} = U_C X_{н2д} \Big/ \left[A(X_{нг2} + X_{н2д})\right] \qquad (99)$$

Промежуточный коэффициент A определяется по формуле

$$A = 1 + \frac{X_в + X_{вн}}{X_{н1} + X_{н1д}} + \frac{X_в + X_{вн}}{X_{н2} + X_{н2д}} \qquad (100)$$

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

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

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

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; $X_в$ - индуктивное сопротивление обмотки высокого напряжения трансформатора, Ом; U_C - напряжение источника питания, отн.ед.;

б) проверяется для каждого электродвигателя каждой секции выполнение условия (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 сдвоенного токоограничивающего реактора допустимо по условию успешного самозапуска неотключаемых ЭД значение его номинальной мощности определяется аналогично двухобмоточным трансформатором 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 $X_{вн}$ (кабельную и воздушную линию, обмотку низкого сопротивления, автотрансформатора), по

условию успешного самозапуска неотключаемых ЭД необходимо учесть это сопротивление путем суммирования с индуктивным сопротивлением X_β 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.

Приложение I

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

$$K_{3j} = N_{номj} / P_{номj}, \qquad (П.I)$$

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.I).

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

$$K_{3oj} = N_{oj} / P_{номj}, \qquad (П.2)$$

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

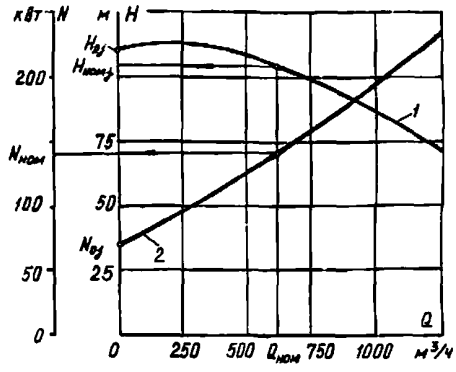


Рис.П.I. Кривые зависимостей напора и потребляемой мощности механизмов тягодутьевой и насосной групп СН от подачи:
1 - кривая зависимости напора от подачи;
2 - кривая зависимости потребляемой мощности от подачи

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, I3, I4] .

Приложение 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Таблица П2.I

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

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
МГ-6	200	3	0,I5	0,06
	400	3	0,I7	0,I
	200	6	0,I5	0,06
ММ-I4	200 600 I000 I250	3	0,075	0,II
	200 400	6		
ВМ-I6	200 600 I000	3	$\frac{0,I2^{*}}{0,I4}$	$\frac{0,24}{0,25}$
	200 600	6		
	200	I0		
ВМ-I8	2000 3000	3	0,08	0,I7
ВМ-22Ф ВМ-22Н	400 600 I000 I500	6	$\frac{0,I5^{*}}{0,I8}$	$\frac{0,24}{0,26}$
	400 600	I0	$\frac{0,I5^{*}}{0,I8}$	$\frac{0,24}{0,26}$
ВМ-23Ф ВМ-23Н ВМ-23П	600 I000 I500	I0	$\frac{0,I5^{*}}{0,2}$	$\frac{0,28}{0,32}$
ВМ-25 ВМ-25Н	600 600	20 35	$\frac{-^{*}}{0,75}$	$\frac{0,I7}{-}$
ВМБ-I0	200 400, 600	I0	0,06	$\frac{0,25}{0,3}$
ВМЭ-6	200 200	3 6	0,I5	-

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

Таблица П2.2

Баковые масляные выключатели с дугогасительными приспособлениями [23]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВМ-35Ф ВМ-35Н	600 600	20 35	0,08	0,26
ВМ-35 ВМД-35	600 600	35 20	0,12	0,27
МД-15	600 1000	3	0,16	0,25
	600 1000	6		
	600 1000	10		
МКП-153С МКП-153Д	600	110	1,086	0,8
МКП-160Д	600 1000	110	0,15	0,7-0,8
МКП-180Д	600, 1000	154	0,15	0,7-0,9
МКП-160 МКП-160П	600	110	0,07* 0,35	0,8 0,85
МКП-274	600	220	0,08* 0,35	1,5 1,55
МКП-274П	600	220	0,15	0,7-0,9 1,1
МКП-35	600 1000	35	0,05* 0,2	0,38-0,43 0,4-0,45
	600 1000	20	0,08**	
МКП-110М МКП-110П	600	110	0,04-0,06* 0,5 0,05-0,08**	0,5-0,6 0,55-0,65
МКП-220	600	220	0,08**	–
ВМ-103	600 1000 1500	3	0,09	0,25
	600 1000 1500	6		
МГГ-10	2000 3000 3150 4000 5000	6,10	0,11-0,12* 0,24-0,22	– 0,42-0,44

Окончание таблицы П2.2

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
МГГ-20	5000 6000	20	0,2**	0,65
МГГ-223КБ	2000 3000	I0	0,I5* 0,3	0,55 0,65
МГГ-229	2000 4000	I0	0,I5* 0,33 0,I5* 0,35	0,65 0,7 0,8 0,85
МГГ-229М	4000	I0	0.33**	0,65
МГГ-529	400	20	0,33**	0,65
ВМГ-I33-I ВМГ-I33-II	600	3,6,I0	0,I* 0,I8	0,23-0,28
ВМГ-I33-III	I000	I0	0,I* 0,I8	0,28
МГ-35	600	35	0,06* 0,I7 0,08**	0,25
МГ-II0	600	II0	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.

Таблица П2.3

Выключатели маломасляные внутренней установки [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВК-I0	630 I000 I600	I0	0,05* 0,07	0,75
ВКЭ-I0	630 I000 I600	I0	0,07* 0,095	0,3
ВМПЭ-I0	630 I000 I600	I0	0,07* 0,095	0,3
	3I50		0,09* 0,I2	
ВЛШ-I0	630 I000 I600	I0	0,I2* 0,I4	0,3

Окончание таблицы П2.3

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВМП-10	630 1000	10	0,09* 0,11	0,3
ВПМП-10	630 1000	10	0,12* 0,14	0,3
МГУ-10	6300 9500	10	0,15* 0,2	0,8
ВМГ-20	11200	20	0,15* 0,2	0,7

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

Таблица П2.4

Выключатели масляные баковые наружной установки [24]

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

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

Таблица П2.5

Выключатели электромагнитные [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВЭ-6-40	I600 2000 3200	6	0,06* 0,075	0,075
ВЭМ-6-40	2000 3200	6	0,06* 0,08	0,25
ВЭС-6-40	I600 2000 3200	6	0,06* 0,075	0,075
ВЭМ-I0Э-20	I000 I250	I0	0,05* 0,07	0,25
ВЭ-I0-20	I250 I600 2500 3600	I0	0,06* 0,075	0,075
ВЭ-I0-3I,5	I250 I600 2500 3600	I0	0,06* 0,075	0,075
ВЭ-I0-40	I600 2500 3I50	I0	0,06* 0,08	0,08

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

Таблица П2.6

Выключатели воздушные [23], [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВВГ-20-I60	I2500 20000	20	0,08	0,I2
ВБУ-35А-40	2000	35	0,07	0,I3
ВБУ-II0Б-40	2000	II0	0,08	0,2
ВНБМ-II0Б-3I,5	2000	II0	0,07	0,2
ВНБК-II0Б-50	3I50	II0	0,06	0,I
ВНБ-220Б-3I,5	2000	220	0,08	0,2
ВНВ-220(Б)-63	3I50	220	0,04	0,I
ВВ-330Б-3I,5	2000	330	0,08	0,23
ВВД-330Б-40	3200	330	0,08	0,25

Окончание таблицы П2.6

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.

Таблица П2.7

Выключатели вакуумные [24]

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, кВ	Время, с	
			отключения	включения
ВВЭ-10-2	320	10	0,06* 0,1	0,08
ВВТЭ-10-10	630	10	0,03* 0,05	0,1
ВВТП-10-10	630	10	0,03* 0,05	0,1

Окончание таблицы П2.7

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

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

Приложение 3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ АСИНХРОННЫХ И СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Таблица П3.1

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.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
Серия А исполнений А, АЗ, АП									
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 таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
А(АЗ,АП) I3-42-I0	320	40	9I,5	0,84	590	2,I	I,I	4,8	85
А(АЗ,АП) I3-42-I0У4	320	4I	92,5	0,8I2	590	2,I	I,I	4,8	85
А(АЗ,АП) I3-52-I0	400	49	92,0	0,85	590	2,0	I,I	4,7	I00
А(АЗ,АП) I3-52-I0У4	400	50,5	93,0	0,82	590	2,0	I,I	4,7	I00
А(АЗ,АП) I3-62-I0	500	6I	92,5	0,85	590	2,I	I,I	4,8	II7,5
А(АЗ,АП) I3-62-I0У4	500	62	93,5	0,83	590	2,I	I,I	4,8	II7,5
А(АЗ,АП) I3-42-I2	200	27	90,0	0,79	490	2,3	I,2	5,8	85
А(АЗ,АП) I3-52-I2	250	33	9I,0	0,8	490	2,3	I,3	5,I	I00
А(АЗ,АП) I3-52-I2У4	250	34	92,0	0,77	490	2,3	I,3	5,I	I00
А(АЗ,АП) I3-62-I2	320	4I,5	9I,5	0,8I	490	2,I	I,3	4,9	II7,5
А(АЗ,АП) I3-62-I2У4	320	43,5	92,5	0,765	490	2,I	I,3	4,8	II7,5
А-II3-2	320	37,I	92,I	0,90I	2970	2,60	I,40	6,40	6,50
А-II3-2М	320	37,I	92,I	0,90I	2970	2,60	I,40	6,50	6,70
А-II4-2	400	45,2	93,0	0,9I6	2970	3,00	I,50	7,20	8,00
А-II4-2М	400	45,2	93,0	0,9I6	2970	2,60	I,40	7,00	I0,70
А-II2-4	200	23,5	9I,4	0,896	I480	2,50	I,70	6,20	8,30
А-II2-4М	200	23,5	9I,4	0,896	I485	2,50	I,70	6,20	8,25
А-II2-4М	200	23,5	9I,4	0,896	I485	2,50	I,70	6,20	I0,00
А-II3-4	250	29,4	92,0	0,889	I480	2,50	I,30	5,80	I2,25
А-II3-4М	250	28,8	92,0	0,908	I480	2,00	I,40	5,00	I0,00
А-II3-4М	250	28,8	92,0	0,908	I480	2,00	I,40	5,00	I2,00
А-II4-4	320	37,I	92,8	0,894	I480	2,80	I,60	6,50	I5,00
А-II4-4М	320	36,7	93,0	0,902	I480	2,30	I,70	5,70	I2,50
А-II4-4М	320	36,7	93,0	0,902	I480	2,30	I,70	5,70	I4,75
А-II4-6	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	I,20	5,80	I9,50
А-II4-6М	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	I,20	5,80	I9,50
А-II4-6М	200	23,6	92,0	0,886	985	2,40	I,20	5,80	22,50
				Серия А2					
А2-450S-4 А2-450S-4М	400	46,0	94,0	0,89	I480	2,0	I,0	5,6	II,25
А2-450М-4 А2-450М-4М	500	57,0	94,4	0,895	I480	2,0	I,I	5,7	I2,5
А2-500S-4	630	7I,0	94,6	0,9	I485	2,I	I,0	6,2	2I,25
А2-500М-4	800	90,0	95,0	0,9	I485	2,2	I,2	6,7	26,25
А2-560S-4	I000	II3,0	95,0	0,9	I485	2,I	I,0	6,0	42,5
А2-560М-4	I250	I40,0	95,3	0,905	I485	2,2	I,I	6,6	5I,25
А2-450S-6	3I5	38,0	93,5	0,86	985	2,I	I,3	6,2	I7,5
А2-450М-6	400	47,5	93,9	0,87	985	2,I	I,3	6,2	20
А2-500S-6 А2-500S-6М	500	58	94,2	0,88	985	2,I	I,I	6,0	32,5
А2-500М-6 А2-500М-6М	630	73,0	94,5	0,88	985	2,I	I,2	6,2	38,75
А2-560S-6	800	93,0	94,5	0,88	985	2,I	I,I	5,7	67,5
А2-560М-6	I000	II5,0	95,0	0,88	985	2,I	I,3	6,5	83,75

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
А2-450S-8	250	3I,0	92,8	0,83	740	2,0	I,3	5,5	2I,25
А2-450М-8	3I5	39,5	93,4	0,83	740	2,0	I,3	5,8	26,25
А2-500S-8 А2-500S-8М	400	49,0	93,8	0,84	740	2,0	I,2	5,8	4I,25
А2-500М-8 А2-500М-8М	500	60,5	94,I	0,85	740	2,0	I,2	6,0	47,5
А2-560S-8	630	76,0	94,I	0,85	740	2,0	I,3	5,7	9I,25
А2-560М-8	800	96,0	94,5	0,85	740	2,0	I,3	6,0	II0
А2-450S-I0	200	26,5	9I,6	0,79	590	2,0	I,2	5,I	22,5
А2-450М-I0	250	32,5	92,4	0,80	590	2,0	I,2	5,3	27,5
А2-500S-I0	3I5	40,0	93,I	0,82	590	2,0	I,I	5,3	46,25
А2-500М-I0	400	50,0	93,5	0,83	590	2,0	I,I	5,3	53,75
А2-560S-I0	500	6I,0	93,7	0,84	590	I,9	I,I	5,2	97,5
А2-560М-I0	630	76,5	94,2	0,84	590	2,0	I,2	5,4	II7,5
А2-500$S_к$-I2	200	28,0	9I,9	0,755	490	2,0	I,0	5,0	43,75
А2-500S-I2	250	34,0	92,3	9,765	490	2,0	I,0	4,8	50
А2-500М-I2	3I5	42,5	92,7	0,775	490	2,0	I,0	4,8	56,25
А2-560S-I2	400	52,5	93,4	0,790	490	I,9	I,I	4,8	I0I,25
А2-560М-I2	500	65,0	93,9	0,790	490	I,9	I,I	5,0	I2I,25
			Серия А4						
А4-355LК-4У3	200	23,0	93,9	0,89I	I470	2,2	I,2	6,0	5,25
А4-355L-4У3	250	29,0	94,I	0,882	I470	2,2	I,2	6,0	6,25
А4-355Х-4У3	3I5	36,0	94,5	0,89I	I470	2,2	I,2	6,0	8,0
А4-355У-4У3	400	45,0	95,3	0,898	I470	2,2	I,2	6,0	I0,0
А4-400ХК-4У3	400	47,0	94,3	0,87	I470	2,3	I,2	5,7	I0
А4-400Х-4У3	500	58,0	94,7	0,88	I470	2,3	I,2	5,7	II
А4-400У-4У3	630	72,5	95,I	0,88	I470	2,3	I,2	5,7	I3
А4-450Х-4У3	800	92,0	95,2	0,88	I482	2,I	I,I	5,7	2I
А4-450У-4У3	I000	II3,5	95,5	0,89	I482	2,I	I,I	5,7	25
А4-355L-6У3	200	23,5	93,8	0,873	985	2,2	I,2	6,0	II
А4-355Х-6У3	250	29,5	94,0	0,868	985	2,2	I,2	6,0	I3
А4-400ХК-6У3	3I5	38	93,6	0,85	985	2,I	I,0	5,4	I5
А4-400Х-6У3	400	47,5	94,0	0,86	985	2,I	I,0	5,4	I8
А4-400У-6У3	500	59,5	94,4	0,86	985	2,I	I,0	5,4	2I
А4-450Х-6У3	630	74,5	94,7	0,86	986	2,0	I,0	5,4	32
А4-450У-6У3	800	94,5	95	0,86	986	2,0	I,0	5,4	38
А4-400Х-8У3	250	32,0	93,2	0,8I	739	I,9	I,0	5,0	I9
А4-400У-8У3	3I5	39,5	93,6	0,82	739	I,9	I,0	5,0	22
А4-450Х-8У3	400	50,0	93,9	0,82	740	I,9	I,0	5,0	36
А4-450УК-8У3	500	6I,5	94,2	0,83	740	I,9	I,0	5,0	42
А4-450У-8У3	630	77,5	94,5	0,83	740	I,9	I,0	5,0	49
А4-400Х-I0У3	200	27,5	92,0	0,77	583	I,9	I,I	4,8	I9
А4-400У-I0У3	240	33,5	92,5	0,78	583	I,9	I,I	4,8	22
А4-450Х-I0У3	3I5	40,0	93,0	0,82	583	I,9	I,I	4,8	37

Продолжение таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ 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
Серия АВ									
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
Серия АВКА									
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
Серия АДО									
АДО-1250/600У3	1250	168,1	95,4	0,75	597	2,5	1,3	6,0	625
АДО-1600/750У1	1600	194,7	95,3	0,83	745	2,1	0,8	5,5	550
АДО-2500/1000У1	2500	285,7	95,7	0,88	995	2,3	0,8	5,7	572,5
АДО-3150/1000У1	3150	354,8	96,0	0,89	996	2,5	1,0	6,5	749,5
Серия АН									
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 П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
АН-15-41-16	500	68,5	92,8	0,76	365	2,0	1,1	4,5	400
АН-15-51-16	630	86	93,2	0,76	365	2,0	1,1	4,7	500
АН-16-41-16	800	108	93,8	0,76	370	2,0	1,0	4,9	825
АН-16-51-16	1000	133	94,0	0,77	370	2,0	1,0	5,0	987,5
АН-16-64-16	1250	162	94,5	0,79	370	2,0	1,0	4,7	1237,5
			Серии АН2, АН3-2						
АН2-15-57-6У4									90
АН2-15-57-6УХЛ4	1000	118	95,0	0,86	980	2,7	1,2	6,3	90
АН3-2-15-57-6У3									89
АН2-15-69-6У4									100
АН2-15-69-6УХЛ4	1250	145	95,2	0,87	990	2,7	1,2	6,3	100
АН3-2-15-69-6У3									97
АН2-16-57-6У4									198
АН2-16-57-6УХЛ4	1600	185	95,4	0,87	990	2,1	1,0	6,3	198
АН3-2-16-57-6У3									185
АН2-16-69-6У4									230
АН2-16-69-6УХЛ4	2000	230	95,7	0,87	990	2,4	1,2	6,3	230
АН3-2-16-69-6У3									218
АН2-15-57-8У4									108
АН2-15-57-8УХЛ4	800	97	94,7	0,84	740	2,2	1,0	5,5	108
АН3-2-15-57-8У3									100
АН2-15-69-8У4									125
АН2-15-69-8УХЛ4	1000	121	95,0	0,84	740	2,2	1,0	5,5	125
АН3-2-15-69-8У3									118
АН2-16-57-8У4									198
АН2-16-57-8УХЛ4	1250	147	95,2	0,86	740	1,9	1,0	5,2	198
АН3-2-16-57-8У3									185
АН2-16-69-8У4									230
АН2-16-69-8УХЛ4	1600	187	95,5	0,86	740	1,9	1,0	5,2	230
АН3-2-16-69-8У3									218
АН2-16-83-8У4									270
АН2-16-83-8УХЛ4	2000	234	95,8	0,86	740	2,0	1,0	5,2	270
АН3-2-16-83-8У3									256
АН2-15-57-10У4									120
АН2-15-57-10УХЛ4	630	80	94,5	0,8	590	2,0	1,0	5,0	120
АН3-2-15-57-10У3									113
АН2-15-69-10У4									190
АН2-15-69-10УХЛ4	800	100	94,6	0,81	590	2,0	1,0	5,0	150
АН3-2-15-69-10У3									138
АН2-16-57-10У4									245
АН2-16-57-10УХЛ4	1000	124	94,7	0,82	595	2,1	1,0	5,5	245
АН3-2-16-57-10У3									233
АН2-16-69-10У4									285
АН2-16-69-10УХЛ4	1250	152	94,9	0,83	595	2,1	1,0	5,5	281
АН3-2-16-69-10У3									273

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
АН2-I7-57-I0У4	I600	I88	95,2	0,86	595	2,3	I,I	6,0	5I3
АН2-I7-57-I0УХЛ4									5I3
АН3-2-I7-57-I0У3									495
АН2-I7-69-I0У4	2000	232	95,5	0,87	595	2,3	I,I	6,0	6I0
АН2-I7-69-I0УХЛ4									6I0
АН3-2-I7-69-I0У3									593
АН2-I6-39-I2У4	500	64	93,8	0,8	493	2,3	I,0	5,5	I80
АН2-I6-39-I2УХЛ4									I80
АН3-2-I6-39-I2У3									I68
АН2-I6-48-I2У4	630	80	94,I	0,8	493	2,3	I,0	5,5	2I0
АН2-I6-48-I2УХЛ4									2I0
АН3-2-I6-48-I2У3									I98
АН2-I6-57-I2У4	800	I0I	94,5	0,8	493	2,4	I,0	5,5	243
АН2-I6-57-I2У4									243
АН3-2-I6-57-I2У3									230
АН2-I7-48-I2У4	I000	I25	94,7	0,8I	493	2,3	I,I	5,5	450
АН2-I7-48-I2УХЛ4									450
АН3-2-I7-48-I2У3									433
АН2-I7-57-I2У4	I250	I56	95	0,8I	493	2,3	I,2	5,5	520
АН2-I7-57-I2УХЛ4									520
АН3-2-I7-57-I2У3									503
АН2-I7-3I-I6У4	500	68	93,3	0,76	370	2,0	I,I	5,0	340
АН2-I7-3I-I6УХЛ4									340
АН3-2-I7-3I-I6У3									320
АН2-I7-39-I6У4	630	85	93,7	0,76	370	2,0	I,I	5,0	400
АН2-I7-39-I6УХЛ4									400
АН3-2-I7-39-I6У3									380
Серия А0									
А0-II4-4	200	23,0	93,0	0,900	I480	2,5	I,7	6,5	I3,50
А0-II3-4М	200	23,7	92,0	0,883	I485	2,8	I,2	6,6	I0,75
А0-II4-4М	250	29,4	93,0	0,880	I485	2,8	I,3	7,0	I3,50
А0-II3-6	I60	I9,7	92,0	0,849	990	2,2	I,8	8,0	I7,80
А0-II3-6М	I60	I9,3	92,0	0,867	990	2,8	I,3	7,0	I7,80
А0-II4-6М	200	24,2	92,5	0,860	990	2,8	I,3	7,3	22,50
Серия А02									
А02-I8-I20-8/I0У1	4000	497,6	95,5	0,8I0	745	2,I	0,8	6,3	2000
А02-I8-I20-8/I0УХЛ1	2000	293,0	95,2	0,690	595	2,5	I,0	6,6	2000
А02-20-83-I2У1	5000	575,5	96,I	0,870	498	2,0	I,0	6,0	9250
А02-2I-39-I6У1	2000	250,0	94,I	0,8I8	373	2,2	I,0	6,0	I0500
А02-2I-49-I6	3200	380,0	95,0	0,853	372	2,0	I,0	5,5	I2500
А02-2I-49-I6У1	3I50	375	95	0,85	372	2,2	I,0	5,5	I2500
Серия А03									
А03-400-4У2	200	23,7	93,2	0,87I	I485	3,3	I,0	6,0	7,25

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
АО3-400М-4У2	250	28,3	93,4	0,9I0	I485	2,9	I,0	7,0	9,25
АО3-400М-6У2	200	24,8	93,2	0,833	990	2,6	I,0	7,0	9,25
Серия АОВ2									
АОВ2-I4-4I-4У3	500	57,4	93,5	0,896	I485	2,3	I,0	6,5	25
Серия АО4									
АО4-355-4У2	200	23,5	93,4	0,877	I500	2,3	I,2	6,5	5,75
АО4-355Х-4У2	250	29,0	94,3	0,880	I500	2,3	I,2	6,5	7,00
АО4-355У-4У2	3I5	36,0	94,6	0,890	I500	2,3	I,2	6,5	9,00
АО4-355Х-6У2	200	23,5	93,8	0,873	I000	2,3	I,2	6,5	II,75
Серии АС3, АС32									
АС3-I7-64-8	I800	256	89,0	0,760	740	6,5	I,8	I4,0	3500
АС32-I7-6I-6У3	I250	I66	93,0	0,779	990	5,5	2,0	II,0	825
Серия АТД									
АТД-500	500	58,0	93,5	0,887	2975	2,I	0,8	5,5	II,00
АТД-630	630	72,5	94,0	0,890	2975	2,I	0,8	5,5	I2,25
АТД-800	800	92,0	94,5	0,885	2980	2,I	0,8	5,5	I4,25
АТД-I000	I000	II5,0	94,0	0,890	2980	2,I	0,7	5,5	30,25
АТД-I250	I250	I42,0	94,5	0,896	2980	2,I	0,7	5,5	35,00
АТД-I600	I600	I80,0	95,0	0,900	2980	2,I	0,7	5,5	40,50
АТД-2000	2000	220,0	95,5	0,9I6	2980	2,3	0,8	5,5	75,00
АТД-2500	2500	278,0	96,0	0,90I	2980	2,3	0,9	5,6	84,50
АТД-2750	2750	300,0	96,0	0,9I9	2980	2,3	0,8	5,5	84,50
АТД-3200	3200	357,0	95,8	0,900	2985	2,7	0,7	6,4	I59,8
АТД-4000	4000	440,0	96,2	0,9I	2985	2,6	0,75	6,3	I70,8
АТД-5000	5000	545,0	96,5	0,9I5	2985	2,4	0,7	5,6	I84,5
АТД-8000	8000	876,0	96,6	0,9I0	2950	2,4	0,8	5,4	2I5,0
Серия АТД исполнений А3, А3П, А3С, А3СП, АР, АРП, АС, АСП									
АР-500/6000 АРП-500/6000	500	57	94,8	0,89	2970	2,3	I,I	6,0	II
АР-630/6000 АРП-630/6000	630	7I	95,2	0,895	2970	2,4	I,I5	6,2	I2,3
АР-800/6000 АРП-800/6000	800	89	95,2	0,905	2975	2,5	I,2	6,4	I4,3
А3-500/6000 А3П-500/6000	500	57	94,8	0,89	2970	2,3	I,I	6,0	II
А3-630/6000 А3П-630/6000	630	7I	95,2	0,895	2970	2,4	I,I5	6,2	I2,3
А3-800/6000 А3П-800/6000	800	89	95,5	0,905	2975	2,5	I,2	6,4	I4,3
АР-I000/6000 АРП-I000/6000	I000	II2,5	94,6	0,905	2970	2,5	I,05	5,7	30,5

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
АР-I250/6000 АРП-I250/6000	I250	I39	95,I	0,9I	2975	2,5	I,05	5,7	35
АР-I600/6000 АРП-I600/6000	I600	I77	95,6	0,9I	2975	2,5	I,I	5,7	40,5
АЗ-I000/6000 АЗП-I000/6000	I000	II2,5	94,6	0,905	2970	2,5	I,05	5,7	30,5
АЗ-I250/6000 АЗП-I250/6000	I250	I39	95,I	0,9I	2975	2,5	I,05	5,7	35
АЗ-I600/6000 АЗП-I600/6000	I600	I77	95,6	0,9I	2975	2,3	I,I	5,7	40,5
АРП-2000/6000	2000	223	95,8	0,9	2975	2,5	I,0	5,5	75
АРП-2500/6000	2500	276	96,4	0,905	2980	2,5	I,I	6,0	87,5
АЗ-2000/6000 АЗП-2000/6000	2000	223	95,8	0,9	2975	2,3	I,0	5,5	75
АЗ-2500/6000 АЗП-2500/6000	2500	276	96,4	0,905	2980	2,5	I,I	6,0	87,5
АС-3200/6000 АСП-3200/6000	3200	357	95,8	0,9	2985	2,7	0,75	5,5	I58,3
АС-4000/6000 АСП-4000/6000	4000	440	96,2	0,9I	2985	2,6	0,75	5,5	I68,5
АС-5000/6000 АСП-5000/6000	5000	545	96,5	0,9I5	2985	2,4	0,75	5,5	I8I,8
АЗС-3200/6000 АЗСП-3200/6000	3200	357	95,8	0,9	2985	2,7	0,75	5,5	I58,3
АЗС-4000/6000 АЗСП-4000/6000	4000	440	96,2	0,9I	2985	2,6	0,75	5,5	I68,5
АЗС-5000/6000 АЗСП-5000/6000	5000	545	96,5	0,9I5	2985	2,4	0,75	5,5	I8I,8
Серия АТД2 исполнений 2АЗМ, 2АЗМI, 2АЗМЕ, 2АЗМВI, 2АЗМП, 2АЗД, 2АЗДП, 2АРМ, 2АРМI, 2АРМП, 2АРД, 2АРДП									
2АЗМ-3I5/6000У4 2АРМ-3I5/6000У3	3I5	35,5	94,6	0,905	2980	2,4	I,3	7,0	4,0
2АЗМ-400/6000У4 2АРМ-400/6000У3	400	44,2	95,2	0,9I5	2980	2,4	I,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,I	I,2	6,0	5,0
2АЗД-630/6000У4 2АЗДП-630/6000У4 2АРД-630/6000У3 2АРДП-630/6000У3	630	69,7	95,5	0,9I	2975	2,4	0,9	6,0	8,75

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ 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	I,9	I,I	5,2	8,75
2АЗД-800/6000У4 2АЗДП-800/6000У4 2АРД-800/6000У3 2АРДП-800/6000У3	800	88,3	95,8	0,9I	2975	2,5	0,9	6,0	II,25
2АЗМ-800/6000У4 2АЗМП-800/6000У4 2АРМ-800/6000У3 2АРМП-800/6000У3	800	89,5	95,7	0,9	2970	I,9	I,I	5,2	II,25
2АЗМI-500/6000У4 2АРМI-500/6000У4	500	54,8	95,5	0,92	2980	2,I	I,2	6,0	5,0
2АЗМI-630/6000У4 2АРМI-630/6000У4	630	70,5	95,4	0,9	2970	I,9	I,I	5,2	8,75
2АЗМI-800/6000У4 2АРМI-800/6000У4	800	89,5	95,7	0,9	2970	I,9	I,I	5,2	II,25
2АЗД-I000/6000У4 2АЗДП-I000/6000У4 2АРД-I000/6000У4 2АРДП-I000/6000У4	I000	III	96,0	0,9I	2975	2,5	0,7	5,6	I8,25
2АЗМ-I000/6000У4 2АЗМП-I000/6000У4 2АРМ-I000/6000У4 2АРМП-I000/6000У4	I000	II3	95,7	0,89	2970	I,9	I,I	5,0	I8,25
2АЗД-I250/6000У4 2АЗДП-I250/6000У4 2АРД-I250/6000У4 2АРДП-I250/6000У4	I250	I37	96,5	0,9I	2980	2,7	0,8	6,5	22,5
2АЗМ-I250/6000У4 2АЗМП-I250/6000У4 2АРМ-I250/6000У4 2АРМП-I250/6000У4	I250	I40,5	96,3	0,89	2975	2,I	0,7	5,5	22,5
2АЗД-I600/6000У4 2АЗДП-I600/6000У4 2АРД-I600/6000У4 2АРДП-I600/6000У4	I600	I73	96,8	0,92	2980	2,7	0,9	6,0	25,5
2АЗМ-I600/6000У4 2АЗМП-I600/6000У4 2АРМ-I600/6000У4 2АРМП-I600/6000У4	I600	I77	96,5	0,9	2975	2,I	I,3	5,5	25,5

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
2АЗЛ-2000/6000У4 2АЗЛП-2000/6000У4 2АРЛП-2000/6000У4	2000	2I6,3	96,7	0,92	2980	2,6	0,7	5,5	37,5
2АЗМ-2000/6000У4 2АЗМП-2000/6000У4 2АРМП-2000/6000У4	2000	2I9,2	96,5	0,9I	2975	2,I	0,8	4,8	37,5
2АЗЛ-2500/6000У4 2АЗЛП-2500/6000У4 2АРЛП-2500/6000У4	2500	266,7	97,0	0,93	2980	2,8	0,7	6,0	40,0
2АЗМ-2500/6000У4 2АЗМП-2500/6000У4 2АРМП-2500/6000У4	2500	270	96,8	0,92	2975	2,3	0,9	5,3	40,0
2АЗМ-3200/6000У4 2АЗМП-3200/6000У4	3200	350,5	96,7	0,9I	2985	2,6	I,3	6,3	I00
2АЗМ-4000/6000У4 2АЗМП-4000/6000У4	4000	43I	96,9	0,92	2985	2,6	I,3	6,3	II7,5
2АЗМ-5000/6000У4 2АЗМП-5000/6000У4	5000	538	97,3	0,92	2985	2,7	I,3	6,5	I35
2АЗМВ-500/6000У2 2АЗМВ-500/6000У5	500	56,3	95,0	0,90	2975	2,5	I,2	5,8	8,8
2АЗМВ-630/6000У2 2АЗМВ-630/6000У5	630	70,6	95,4	0,9	2975	2,5	I,2	5,8	II,3
2АЗМВ-800/6000У2 2АЗМВ-800/6000У5	800	90,5	95,7	0,89	2975	2,5	I,2	6,0	I8,3
2АЗМВ-I000/6000У2 2АЗМВ-I000/6000У5	I000	II2,5	96,2	0,89	2980	2,7	I,2	6,5	22,5
2АЗМВ-I250/6000У2 2АЗМВ-I250/6000У5	I250	I40	96,4	0,89	2980	2,8	I,2	6,5	25,5
2АЗМВI-500/6000У5	500	57	94,8	0,89	2979	2,4	0,85	5,7	I0
2АЗМВI-630/6000У5	630	7I,5	95,3	0,89	2979	2,4	0,85	5,7	II,25
2АЗМВI-800/6000У5	800	90,5	95,4	0,89	2979	2,5	0,9	6,0	I8,25
2АЗМВI-I000/6000У5	I000	III,5	95,9	0,9	2982	2,8	I,0	6,5	22,5
2АЗМВI-I250/6000У5	I250	I39	96,2	0,9	2982	2,7	I,0	6,5	25,5
2АЗМВI-I600/6000У5	I600	I78	96,I	0,9	2979	2,6	0,9	6,0	38,0
2АЗМВI-2000/6000У5	2000	222	96,4	0,9	2982	2,8	0,9	6,5	44,25
Серия АТД4 исполнений 4АЗМ, 4АЗМП, 4АРМ, 4АРМП									
4АЗМ-500/6000УХЛ4 4АРМ-500/6000УХЛ4 4АРМП-500/6000УХЛ4 4АЗМП-500/6000УХЛ4	500	56,5	95,7	0,89	2970	2,I	0,9	5,I	3,I
4АЗМ-630/6000УХЛ4 4АРМ-630/6000УХЛ4 4АЗМП-630/6000УХЛ4 4АРМП-630/6000УХЛ4	630	72	95,7	0,88	2979	2,0	I,0	5,3	5,2

Продолжение таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
4АЗМ-800/6000УХЛ4 4АРМ-800/6000УХЛ4 4АЗМП-800/6000УХЛ4 4АРМП-800/6000УХЛ4	800	90	96,0	0,89	2979	2,0	I,0	5,3	5,8
4АЗМ-I000/6000УХЛ4 4АРМ-I000/6000УХЛ4 4АЗМП-I000/6000УХЛ4 4АРМП-I000/6000УХЛ4	I000	II2,5	96,I	0,89	2976	2,0	I,0	5,3	6,5
4АЗМ-I250/6000УХЛ4 4АРМ-I250/6000УХЛ4 4АЗМП-I250/6000УХЛ4 4АРМП-I250/6000УХЛ4	I250	I4C	96,3 96,3 96,4 96,4	0,89	2973	2,I	0,95	5,5	I3
4АЗМ-I600/6000УХЛ4 4АРМ-I600/6000УХЛ4 4АЗМП-I600/6000УХЛ4 4АРМП-I600/6000УХЛ4	I600	I79	96,5 96,5 96,6 96,6	0,89	2973	2,0	0,9	5,2	I4
4АЗМ-2000/6000УХЛ4 4АЗМП-2000/6000УХЛ4 4АРМП-2000/6000УХЛ4	2000	226	96,7	0,88	2973	I,9	0,77	4,7	2I
4АЗМ-2500/6000УХЛ4 4АЗМП-2500/6000УХЛ4 4АРМП-2500/6000УХЛ4	2500	279	97,0	0,89	2973	2,0	0,85	5,0	24
4АЗМ-3I50/6000УХЛ4 4АЗМП-3I50/6000УХЛ4 4АРМП-3I50/6000УХЛ4	3I50	346	97,2	0,9	2976	2,I	0,9	5,3	29
4АЗМ-4000/6000УХЛ4	4000	444	97,3	0,89	2982	2,2	0,9	5,7	49
4АЗМ-5000/6000УХЛ4	5000	548	97,5	0,9	2982	2,2	0,9	5,7	56
4АЗМ-6300/6000УХЛ4	6300	690	97,6	0,9	2982	2,2	0,95	5,9	64
4АЗМ-8000/6000УХЛ4	8000	876	97,6	0,9	2985	2,3	0,95	6,0	I48
				Серия АТК					
АТК-I6A8-6	800	95,0	93,0	0,87I	980	I,80	0,70	4,5	448,8
АТК-I6AB-6	800	95,0	93,0	0,87I	980	I,80	0,70	4,5	II8,8
АТК-I6AI0-6	I000	II7,0	93,4	0,88I	980	I,80	0,70	4,8	II2,5
АТК-I8CI0-6	II00	I55,0	9I,0	0,750	990	5,50	I,80	I0,0	750,0
АТК-I6AI2-6	I200	I40,0	93,9	0,878	980	I,80	0,70	5,0	I30,0
АТК-I7A6-8M	800	97,5	93,0	0,849	735	I,80	0,65	4,5	3I5,0
АТК-I7AB-8M	I050	I26,0	93,3	0,859	735	I,80	0,65	4,8	362,5
АТК-I7AI0-8M	I300	I54,0	93,6	0,868	735	I,80	0,65	5,0	405,0
АТК-I6BI0-I0	620	75,5	93,0	0,850	590	I,90	0,80	5,0	I40,0
АТК-I7BI0-I0	I000	I20,0	93,5	0,858	590	I,90	0,80	5,0	370,0
АТК-I8B7-I2	900	I08,0	93,0	0,862	495	I,90	0,65	4,8	630,0
АТК-I8B8-I2	I050	I26,0	93,3	0,859	495	I,95	0,65	5,0	700,0
АТК-20C8-I2	3200	383,0	93,5	0,860	495	2,00	0,80	5,0	7050,0
АТК-I8B7-24	390	55,5	90,0	0,75I	245	2,20	I,I0	4,8	600,0

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
				Серия АТМ					
АТМ-500-2	500	60	93	0,86	2980	I,8	I,I	5,3	20
АТМ-700-2	700	82	93,5	0,88	2980	I,7	I,0	5,0	25
АТМ-850-2	850	98	94	0,89	2980	2,0	I,2	6,0	27,5
АТМ-2000-2	2000	230	95,5	0,876	2980	2,0	I,I	6,0	77,5
АТМ-3500-2	3800	450	96,0	0,86	2985	2,5	I,4	7,0	I7I
				Серии ВАЗ, ВАЗ2					
ВАЗ-2I5/39-I2У3	2000	23I	94,4	0,883	494	2,40	0,72	4,40	2000
ВАЗ-2I5/5I-I2АУ3	2500	287	95,3	0,880	495	2,60	0,92	5,50	2750
ВАЗ-2I5/89-20У3	2500	354	94,0	0,723	296	I,80	0,75	4,00	4000
ВАЗ2-2I5/84-20У3	2500	339	94,5	0,75I	296	2,00	0,80	5,00	3500
ВАЗ-2I5/I09-6АМ05	8000	880	96,0	0,9II	994	3,00	I,60	8,00	7250
ВАЗ-2I5/I09-6А05	8000	875	95,9	0,9I7	995	2,85	I,43	7,43	4500
				Серия ВАН исполнения АВ					
АВ-II3-4	250	29,2	92,0	0,895	I480	2,40	I,30	6,50	I2,250
АВ-II4-4	320	36,7	93,0	0,902	I480	2,40	I,50	6,50	I5,500
ВАН(АВ)-I4-39-6	800	96	93,5	0,86	990	2,I	0,9	5,5	I75
ВАН(АВ)-I4-49-6	I000	I22	94,0	0,84	992	2,5	I,2	6,5	225
ВАН(АВ)-I4-59-6	I250	I52	94,4	0,80	992	2,5	I,2	6,5	275
ВАН(АВ)-I4-26-8	400	50	92,3	0,83	738	2,I	0,82	4,2	I37,5
АВ-I4-26-8	400	5I	9I,8	0,83	738	2,0	0,8	5,0	I25
ВАН(АВ)-I4-3I-8	500	6I	92,9	0,85	738	2,06	0,84	4,3	I50
ВАН(АВ)-I4-39-8	630	76	93,2	0,86	738	2,05	0,86	4,3	I62,5
ВАН(АВ)-I5-3I-8	800	95	93,7	0,86	740	2,2	0,72	4,6	250
ВАН(АВ)-I5-36-8	I000	II6	94,3	0,88	740	2,I	0,72	4,4	275
ВАН(АВ)-I6-3I-8	I250	I43	93,7	0,89	740	2,0	0,65	4,6	525
ВАН(АВ)-I6-3I-8К	I250	I45	93,4	0,89	74I	2,I	0,65	4,8	650
ВАН(АВ)-I6-36-8	I600	I86	94,2	0,88	740	2,0	0,7	4,5	575
ВАН(АВ)-I6-36-8К	I600	I86	93,8	0,89	74I	2,2	0,68	5,0	700
АВ-I4-26-I0	3I5	44	9I,2	0,76	590	2,2	0,9	5,0	I37,5
ВАН(АВ)-I4-26-I0	320	44	9I,8	0,75	590	2,2	0,94	4,2	I50
ВАН(АВ)-I4-3I-I0	400	52	92,4	0,8	590	2,I5	0,92	4,2	I62,5
ВАН(АВ)-I4-39-I0	500	63	93,I	0,82	590	2,I	0,85	4,I	I75
ВАН(АВ)-I5-3I-I0		79	93,3		590			4,6	275
АВ-I5-3I-I0	630	79,5	92,6	0,82	592	2,4	I,0	5,0	225
АВ-I5-3I-I0К		79,5	92,6		592			5,0	225
ВАН(АВ)-I5-39-I0	800	99,5	93,8	0,82	593	2,5	I,3	5,2	325
ВАН(АВ)-I6-3I-I0	I000	I22	94,I	0,84	593	2,2	0,9	4,5	600
ВАН(АВ)-I6-3I-I0К	I000	I22	93,3	0,84	593	2,3	0,9	5,2	650
ВАН(АВ)-I6-36-I0	I250	I49	94,4	0,85	593	2,2	0,8	4,8	650
ВАН(АВ)-I6-36-I0К	I250	I52	93,8	0,85	593	2,3	0,7	5,4	700
ВАН(АВ)-I6-49-I0	I600	I86	94,8	0,87	593	2,I	0,7	4,5	775
ВАН(АВ)-I6-49-I0К	I600	I86	94,5	0,87	593	2,2	0,8	5,I	875

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ВАН(АВ)-I4-3I-I2	320	46	9I,8	0,72	490	I,8	0,92	3,9	I62,5
ВАН(АВ)-I4-39-I2	400	55	92,I	0,75	490	I,84	0,82	3,9	I75
ВАН(АВ)-I5-34-I2	500	66	92,9	0,7	492	2,2	I,0	4,4	300
ВАН(АВ)-I5-39-I2	630	84	93,5	0,77	492	2,3	0,9	4,6	325
ВАН(АВ)-I6-3I-I2	800	I02,5	93,5	0,8	495	2,5	0,8	5,2	675
ВАН(АВ)-I6-3I-I2К									
АВ-I6-3I-I2		I04	92,6			2,6	0,85	5,7	725
АВ-I6-3I-I2К									
ВАН(АВ)-I6-4I-I2	I000	I20	94,I	0,85	495	2,2	0,8	4,6	800
ВАН(АВ)-I6-4I-I2К									
АВ-I6-4I-I2		I22	93,0				0,85	5,3	
АВ-I6-4I-I2К									
ВАН(АВ)-I6-49-I2	I250	I50	94,4	0,85	495	2,I	0,7	4,5	900
ВАН(АВ)-I6-49-I2К									
ВАН(АВ)-I7-3I-I2	I600	I86	94,I	0,88	495	2,0	0,5	4,2	I500
ВАН(АВ)-I5-44-I6	500	74	92,I	0,69	370	2,2	I,I	3,8	400
АВ-I5-44-I6			9I,8	0,705	368	2,3		4,3	
АВ-I5-44-I6К			0,7I						
ВАН(АВ)-I6-36-I6	630	84,5	93,I	0,75	370	I,9	0,7	3,7	775
ВАН(АВ)-I6-36-I6К		86	92,6	0,77			0,74	4,2	875
ВАН(АВ)-I6-4I-I6	800	III	93,5	0,74	370	2,0	0,8	4,2	800
ВАН(АВ)-I6-4I-I6К		II0	92,9	0,75		2,I		4,3	900
ВАН(АВ)-I7-3I-I6	I000	I26	93,3	0,82	370	I,7	0,6	3,8	2000
ВАН(АВ)-I7-39-I6	I250	I59,5	94,I	0,8	370	2,4	0,8	5,2	2I50
ВАН(АВ)-I7-49-I6	I600	204	94,6	0,7	372	2,5	0,9	5,2	2375
ВАН(АВ)-I7-69-I6	2500	322	94,3	0,79	372	I,9	0,7	4,5	3250
АНД I600-I500У5	I600	I8I,7	95,2	0,89	I492	2,3	I,5	7,5	I000 (ротор плюс маховик)
				Серия ВАН					
ВАН II8/23-8У3	400	49,5	92,3	0,84	736	I,9	0,6	4,2	80
ВАН II8/23-8КУ3									
ВАН II8/4I-8У3	800	98,0	93,8	0,84	740	2,I	0,8	5,0	I25
ВАН II8/4I-8КУ3									
ВАН II8/5I-8У3	I000	II9	94,3	0,86	739	2,I	0,86	5,0	I50
ВАН II8/5I-8КУ3									
ВАН II8/23-I0У3	3I5	43	9I,6	0,77	588	2,0	0,7	4,0	I00
ВАН II8/23-I0КУ3									
ВАН II8/4I-I0У3	630	82	93,5	0,79	59I	2,I	0,9	5,0	I60
ВАН II8/4I-I0КУ3									

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ВАН II8/5I-I0УЗ ВАН II8/5I-I0КУЗ	800	99	93,7	0,82	592	I,9	0,7	4,2	I90
ВАН I43/4I-I0УЗ ВАН I43/4I-I0КУЗ	I000	I2I	94,0	0,84	592	I,9	0,6	4,5	350
ВАН I43/5I-I0УЗ ВАН I43/5I-I0КУЗ	I250	I54	94,4	0,83	593	2,0	0,7	4,2	450
ВАН I73/39-I0УЗ ВАН I73/39-I0КУЗ	I600	I89	94,6	0,86	592	2,0	0,7	4,8	550
ВАН II8/28-I2УЗ ВАН II8/28-I2КУЗ	3I5	45,5	9I,5	0,73	490	2,0	0,8	4,0	II5
ВАН II8/5I-I2УЗ ВАН II8/5I-I2КУЗ	630	87,0	93,0	0,74	492	2,I	0,8	4,2	I90
ВАН I43/4I-I2УЗ ВАН I43/4I-I2КУЗ	800	I02	93,7	0,80	493	2,0	0,65	4,5	350
ВАН I43/5I-I2УЗ ВАН I43/5I-I2КУЗ	I000	I26	94,0	0,8I	494	I,9	0,6	5,0	5I0
ВАН I73/39-I2УЗ ВАН I73/39-I2КУЗ	I250	I54	94,2	0,83	493	2,I	0,7	4,8	550
ВАН I73/46-I2УЗ ВАН I73/46-I2КУЗ	I600	I94	94,5	0,84	493	2,0	0,7	4,5	630
ВАН I73/56-I2УЗ ВАН I73/56-I2КУЗ	2000	242	94,8	0,84	493	2,0	0,7	4,8	750
ВАН 2I5/4I-I2УЗ ВАН 2I5/4I-I2КУЗ	2500	295	94,7	0,85	495	2,2	0,6	5,0	I850
ВАН I43/36-I6УЗ ВАН I43/36-I6КУЗ	500	74,5	92,I	0,70	368	2,0	0,85	4,0	300
ВАН I43/46-I6УЗ ВАН I43/46-I6КУЗ	630	90,0	92,9	0,72	369	2,I	0,85	3,8	390
ВАН I73/36-I6УЗ ВАН I73/36-I6КУЗ	800	I08	93,5	0,76	368	I,8	0,7	3,9	570
ВАН I73/46-I6УЗ ВАН I73/46-I6КУЗ	I000	I33	93,8	0,77	369	I,8	0,6	4,0	700
ВАН I73/56-I6УЗ ВАН I73/56-I6КУЗ	I250	I66	94,8	0,77	369	I,9	0,7	4,0	830
ВАН 2I5/4I-I6УЗ ВАН 2I5/4I-I6КУЗ	I600	I96	94,5	0,83	369	I,9	0,65	4,3	I850
ВАН 2I5/49-I6УЗ ВАН 2I5/49-I6КУЗ	2000	246	94,6	0,83	368	I,7	0,5	4,0	2I50

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ВАН 2I5/59-I6У3 ВАН 2I5/59-I6КУ3	2500	306	94,7	0,83	370	I,9	0,65	4,2	2650
				Серия ВАО					
ВАО-450М-2	200	23,5	93,7	0,874	2980	2,8	I,I	6,5	4,25
ВАО-450L-2	250	29,0	94,2	0,88I	2980	2,8	I,I	6,5	5,25
ВАО-500М-2	3I5	36,5	94,0	0,888	2980	2,8	I,I	6,5	9,75
ВАО-500L-2	400	46,0	94,2	0,888	2980	2,8	I,I	6,5	I0,75
ВАО-450М-4	200	23,6	93,0	0,877	I480	2,5	I,2	6,0	6,50
ВАО-450L-4	250	29,6	93,2	0,872	I480	2,5	I,2	6,0	7,50
ВАО-500М-4	3I5	37,3	94,0	0,864	I480	2,5	I,2	6,0	I2,50
ВАО-500L-4	400	46,I	94,5	0,884	I480	2,5	I,3	6,0	I7,00
ВАО-560М-4	500	57,0	94,0	0,898	I490	2,5	I,3	6,5	26,75
ВАО-560L-4	630	7I,0	94,5	0,904	I490	2,5	I,3	6,5	30,50
ВАО-630М-4	800	89,5	95,0	0,905	I490	2,5	I,3	6,5	35,25
ВАО-630L-4	I000	II4,0	95,4	0,885	I490	2,5	I,3	6,5	57,75
ВАО-450L-6	200	24,5	93,5	0,840	990	2,4	I,I	5,5	II,75
ВАО-500М-6	250	29,5	94,0	0,868	990	2,4	I,2	5,5	22,I0
ВАО-500L-6	3I5	36,9	94,5	0,869	990	2,4	I,3	5,5	26,30
ВАО-560М-6	400	47,0	94,2	0,869	990	2,4	I,3	6,0	4I,25
ВАО-560L-6	500	57,5	94,5	0,885	990	2,4	I,3	6,0	47,25
ВАО-630М-6	630	72,0	94,9	0,887	990	2,4	I,3	6,0	54,25
ВАО-630L-6	800	92,0	95,3	0,878	990	2,4	I,3	6,0	90,00
ВАО-500М-8	200	26,I	93,2	0,79I	740	2,2	I,2	5,5	22,00
ВАО-500L-8	250	32,4	93,7	0,792	740	2,2	I,3	5,5	27,00
ВАО-560М-8	3I5	40,0	93,9	0,807	740	2,2	I,3	5,5	48,00
ВАО-560L-8	400	50,0	94,3	0,8I6	740	2,2	I,3	5,5	56,25
ВАО-630М-8	500	6I,0	94,7	0,833	745	2,2	I,3	5,5	65,75
ВАО-630L-8	630	76,0	95,0	0,840	745	2,2	I,3	5,5	II5,00
				Серия ВАО2					
ВАО2-450S-2У2 ВАО2-450S-2У5	200	22,9	94,I	0,89	2976	2,9	I,I	6,5	2,85
ВАО2-450М-2У2 ВАО2-450М-2У5	250	28,3	94,3	0,9	2973	2,9	I,I	6,5	3,22
ВАО2-450LA-2У2 ВАО2-450LA-2У5	3I5	35,2	94,4	0,9I	2970	2,9	I,I	6,5	3,97
ВАО2-450LB-2У2 ВАО2-450LB-2У5	400	44,7	94,5	0,9I	2967	2,9	I,I	6,5	5,05
ВАО2-450S-4У2 ВАО2-450S-4У5	200	23,3	93,6	0,88	I48I	2,5	I,2	5,5	5,65
ВАО2-450М-4У2 ВАО2-450М-4У5	250	29,0	94,2	0,88	I48I	2,5	I,2	5,5	6,64

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
4А02-450LA-4У2 4А02-450LA-4У5	3I5	36,0	94,8	0,89	2958	2,5	I,2	5,5	8,42
4А02-450LB-4У2 4А02-450LB-4У5	400	45,5	95,0	0,89	I485	2,5	I,2	5,5	I0,4
4А02-560S-4У2 4А02-450LB-4У5	500	56,2	95,0	0,9	I487	2,5	I,3	6,5	28,0
4А02-560M-4У2 4А02-560M-4У5	630	7I,0	95,3	0,9	I487	2,5	I,3	6,5	32,0
4А02-560LA-4У2 4А02-560LA-4У5	800	90,0	95,6	0,9	I487	2,5	I,3	6,5	34,0
4А02-560LB-4У2 4А02-560LB-4У5	I000	II2	95,9	0,9	I487	2,5	I,3	6,5	39,0
4А02-630S-4 4А02-630M-4 4А02-630L-4	I250 I250 I600	I39,2 I39,3 I78,0	96,0 95,9 96,I	0,90 0,90 0,90	I485 I485 I485	2,30 2,30 2,30	I,I0 I,I0 I,I0	6,0 6,5 6,5	37,7 43,8 48,9
4А02-630M-4 4А02-630L-4	I600 2000	I77,4 22I,3	96,4 96,6	0,90 0,90	I485 I485	2,30 2,30	I,I0 I,I0	6,0 6,0	43,8 48,9
4А02-450M-6У2 4А02-450L-6У5	200	24,3	93,7	0,84	990	2,2	I,I	5,5	I0,8
4А02-450LA-6У2 4А02-450LA-6У5	250	29,4	94,2	0,87	990	2,2	I,I	5,5	I4,2
4А02-450LB-6У2 4А02-450LB-6У5	3I5	37,0	94,7	0,87	99I	2,2	I,I	5,5	I6,9
4А02-560S-6У2 4А02-560S-6У5	400	46,8	94,8	0,83	992	2,2	I,I	5,5	36,0
4А02-560M-6У2 4А02-560M-6У5	500	60,I	95,2	0,84	992	2,2	I,I	5,5	42,0
4А02-560LA-6У2 4А02-560LA-6У5	630	75,6	95,2	0,84	993	2,2	I,I	5,5	5I,0
4А02-560LB-6У2 4А02-560LB-6У5	800	94,7	95,5	0,85	994	2,2	I,I	5,5	62,0
4А02-450LA-8У2 4А02-450LA-8У5	200	26,0	93,4	0,79	744	2,0	I,0	5,5	I3,9
4А02-450LB-8У2 4А02-450LB-8У5	250	32,5	94,0	0,79	744	2,0	I,0	5,5	I6,7
4А02-560S-8У2 4А02-560S-8У5	3I5	4I,0	94,7	0,78	745	2,2	I,0	5,5	43,0
4А02-560M-8У2 4А02-560M-8У5	400	5I,9	95,0	0,78	745	2,2	I,0	5,5	52,0

Продолжение таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ВАО2-560LA-8У2 ВАО2-560LA-8У5	500	63,9	95,2	0,79	746	2,2	I,0	5,5	63,0
ВАО2-560LB-8У2 ВАО2-560LB-8У5	630	80,2	95,5	0,79	746	2,2	I,0	5,5	77,0
				Серия ВДА					
ВДА I73/99-6-2АУ4	5600	620	96,0	0,905	990	2,90	I,22	7,I0	3500
ВДА I73/99-6-2АУ3Л4	5600	620	96,0	0,905	990	2,80	0,90	7,30	3750
				Серия ВДД					
ВДД-I40/29-6	850	I02,0	92,9	0,863	988	I,7	0,64	3,6	2I8
ВДД-I70/34-I0	850	I04,0	9I,8	0,857	59I	I,9	0,82	4,I	750
ВДД-I70/34-I2	850	I08,0	92,2	0,82I	493	I,9	0,99	4,0	750
ВДД-I70/39-I2	I000	I26,0	9I,8	0,83I	494	2,0	I,00	4,3	800
ВДД-I70/34-I6	500	7I,0	9I,4	0,74I	370	2,I	I,00	4,0	700
ВДД-I70/44-I6	750	I04,0	92,4	0,75I	369	2,0	I,00	4,I	850
ВДД-2I3/44-I6	I350	I68,0	92,9	0,832	365	2,2	I,00	4,5	2370
ВДД-2I3/54-I6	I700	2I5,0	93,7	0,8I2	37I	2,5	I,30	5,4	2750
				Серия ВДН					
ВДН I70/49-I0	I600	I88	93,2	0,83	588	2,0	0,8	4,8	950
ВДН I70/34-I2	800	99	9I,3	0,84	492	2,2	I,0	5,0	700
ВДН I70/39-I2	I000	I23	92,5	0,84	493	2,2	0,95	5,3	800
ВДН I70/34-I6	500	70	9I,4	0,75	370	2,I	I,I	4,7	700
ВДН 2I3/44-I6	I250	I56	93,0	0,83	37I	2,3	I,0	5,4	2375
ВДН 2I3/54-I6	I600	206	94,7	0,79	372	2,9	I,I5	5,9	2750
				Серии ДА(ДАЗ), ДАД					
ДА-I708-8	I050	I25	94,0	0,860	740	I,8	0,87	4,2	400,0
ДА-I7I2-I2	900	II2	93,5	0,827	492	2,4	I,30	5,3	562,5
ДА(ДАЗ)-I449-4	I250	I47	94,3	0,868	I490	2,2	0,9	4,9	I20
ДА(ДАЗ)-I459-4	I600	I88	94,8	0,864	I490	2,2	0,9	5,0	I38
ДА(ДАЗ)-I469-4	2000	237	95,2	0,853	I49I	2,4	I,0	5,3	I54
ДА(ДАЗ)-I479-4	2500	292	95,3	0,864	I49I	2,3	I.0	5,3	I70
ДА(ДАЗ)-I6I2-6	660	85	94,0	0,789	995	5,0	2,6	I0,2	I750
ДА(ДАЗ)-I6I2-6	800	I02	94,4	0,799	995	4,I	2,2	9,0	I750
ДА(ДАЗ)-I8I0-6	I200	2I0	92,2	0,596	993	4,3	I,4	8,92	750
ДА(ДАЗ)-I8I8-8	I800	295	93,0	0,63I	744	5,85	I,2	8,8	I775
ДА(ДАЗ)-20I2-I6	4000	465	95,2	0,869	37I	2,33	0,8	4,6	I000
ДАД-I70/44-I2	I000	I38	92,74	0,752	493	2,24	I,I	4,65	850
				Серия ДА4, ДАЗ					
ДА4-560Х-4У3	I600	I82,5	95,8	0,88	I485	2,0	0,9	5,7	45
ДА4-560Ук-4У3	2000	228	96,0	0,88	I485	2,0	0,9	5,7	55
ДА4-560У-4У3	2500	28I	96,2	0,89	I482	2,0	0,9	5,7	65
ДА4-560Х-6У3	I250	I46,5	95,7	0,86	989	I,9	I,I	5,3	70

Продолжение таблицы Г3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДА4-560Ук-6У3	I600	I85	95,9	0,87	989	I,9	I,I	5,3	80
ДА4-560У-6У3	2000	23I	96,I	0,87	989	I,9	I,I	5,3	90
ДА4-560Х-8У3	800	I0I	95,I	0,8	743	I,9	I,I	5,0	87
ДА4-560Ук-8У3	I000	I25	95,4	0,8I	743	I,9	I,I	5,0	I07
ДА4-560У-8У3	I250	I53,5	95,6	0,82	742	I,9	I,I	5,0	I20
ДА4-560Хк-I0У3	500	64,5	94,3	0,79	593	I,9	I,I	5,0	75
ДА4-560Х-I0У3	630	80	94,6	0,8	593	I,9	I,I	5,0	87
ДА4-560Ук-I0У3	800	I0I	94,9	0,8	593	I,9	I,I	5,0	I05
ДА4-560У-I0У3	I000	I25	95,I	0,8I	593	I,9	I,I	5,0	I20
ДА4-560Хк-I2У3	400	54	93,6	0,76	494	I,9	I,I	4,5	75
ДА4-560Х-I2У3	500	66,5	94,2	0,77	494	I,9	I,I	4,5	87
ДА4-560Ук-I2У3	630	83,5	94,5	0,77	494	I,9	I,I	4,5	I05
ДА4-560У-I2У3	800	I05,5	94,7	0,77	493	I,9	I,I	4,5	I20
ДАЗ-I6I0-4	II00	I37	94,4	0,8I8	I490	I,63	0,9I	4,7	I37,500
ДАЗ-I4-49-4МУХЛ4	I250	I47	95,3	0,859	I490	2,20	0,9	4,9	I00
ДАЗ-I4-49-4У4	I250	I47	95,3	0,859	I490	2,20	0,9	4,9	I20
ДАЗ-I6I4-4	I300	97,5	94,0	I,365	I490	2,20	I,2	6,4	I62,5
ДАЗ-I6I2-4	I500	I73	94,7	0,88I	I490	I,90	I,3	5,6	I50
ДАЗ-I4-59-4МУХЛ4	I600	I88	95,3	0,859	I490	2,20	0,9	5,0	II5
ДАЗ-I4-59-4У4	I600	I88	95,3	0,859	I490	2,20	0,9	5,0	I38
ДАЗ-I6I6-4	2000	245	95,0	0,827	I490	2,I0	I,2	6,0	I75
ДАЗ-I4-69-4МУХЛ4	2000	237	95,7	0,849	I49I	2,40	I,0	5,3	I30
ДАЗ-I4-69-4У4	2000	237	95,7	0,849	I49I	2,40	I,0	5,3	I54
ДАЗ-I4-79-4МУХЛ4	2500	292	95,8	0,860	I49I	2,30	I,0	5,3	I50
ДАЗ-I4-79-4У4	2500	292	95,8	0,860	I49I	2,30	I,0	5,2	I70
				Серия ДАЗО					
ДАЗО I2-36-4МУI	320	39,0	9I,5	0,85	I485	2,4	I,I	5,5	2I,3
ДАЗО I2-36-4	320	39,0	9I,0	0,87	I483	2,4	0,9	5,5	2I,3
ДАЗО I2-4I-4МУI	400	49,0	92,0	0,85	I485	2,5	I,2	5,7	23,8
ДАЗО I2-4I-4	400	48,0	93,0	0,87	I483	2,5	I,0	5,7	23,8
ДАЗО I2-55-4МУI	500	60,0	93,0	0,86	I487	2,8	I.5	7,2	30
ДАЗО I2-55-4	500	59,0	93,5	0,87	I485	2,9	I,2	6,5	30
ДАЗО I3-50-4МУI	630	73,0	93,0	0,89	I490	3,0	I,0	6,5	52,5
ДАЗО I3-50-4	630	73,0	93,5	0,9	I490	3,0	I,0	6,5	52,5
ДАЗО I3-62-4МУI	800	9I,0	93,0	0,9	I490	2,9	I,0	6,5	65
ДАЗО I3-62-4	800	9I,5	94,0	0,9	I490	2,9	I,0	6,5	65
ДАЗО I2-55-6МУI	320	38,5	9I,8	0,86	987	2,9	I,4	6,8	46,3
ДАЗО I2-55-6	320	38,5	92,0	0,87	989	3,0	I,I	6,8	46,3
ДАЗО I3-42-6МУI	400	49,0	92,4	0,88	990	2,2	I,0	5,3	66,3
ДАЗО I3-42-6	400	47,5	92,5	0,88	985	2,2	0,9	5,3	66,3
ДАЗО I5-59-8УI	700	82	93	0,88	744	3,2	I,3	7,0	500
ДАЗО I5-69-8/I0МУI	900	I07	92,5	0,87	744	2,9	I,0	6,4	500
	500	64,5	9I,5	0,8I	595	2,6	I,0	5,9	

Продолжение таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДАЗО I5-69-8/I0УI	800	94	92,5	0,9	743	2,6	0,9	5,9	500
	400	52	9I,0	0,8I	595	2,9	I,0	6,0	
ДАЗО I5-4I-I0/I2УI	400	53	90,5	0,8	594	2,3	0,75	4,9	300
	230	35	88	0,7I	495	2,8	I,0	5,2	
ДАЗО I5-49-I0/I2УI	500	65,0	9I	0,8	594	2,5	0,8	5,2	350
	290	40,5	89,5	0,75	495	2,4	0,9	4,9	
ДАЗО I5-49-I0УI	500	62,5	93	0,82	594	2,8	I,I	6,3	350
ДАЗО I5-69-I0УI	630	80	93	0,8I	595	3,2	I,3	6,6	425
ДАЗО I5-59-I0/I2УI	630	79	9I,5	0,83	593	2,3	0,8	4,9	425
	370	52	90	0,75	495	2,5	I,0	5,0	
ДАЗО I5-69-I0/I2УI	630	78	92	0,8	596	3	0,95	5,7	500
	370	48,5	9I	0,75	496	2,7	I,0	5,I	
ДАЗО I5-69-I0УI	800	I02	93,5	0,8	595	3,2	I,3	7,0	500
ДАЗО I7-08-8	600	73,5	9I	0,85	745	2,4	0,9	5,5	375
ДАЗО I7-09-8/I0	300	40,5	87,7	0,8I5	746	2,95	I,I5	6,I	425
	I50	27,5	83,3	0,63	598	4,3	I,85	7,I	
ДАЗО I7-I2-8/I0	500	63	89,3	0,86	745	2,7	0,96	5,9	500
	250	39,5	86,7	0,7I	597	3,7	I,5	6,65	
ДАЗО I7-I2-8/I0А	650	84,5	90	0,8	745	2,8	I,I	5,9	475
	330	49,0	89	0,72	597	3,0	I,2	5,7	
ДАЗО I8-I0-I0/I2	600	84	89,4	0,77	595	2,7	I,0	5,4	350
	360	52	88	0,76	495	2,6	I,I5	5,0	
ДАЗО I9-I6-8/I0УI	II00	I60	85	0,78	748	4,6	2,0	II	3500
	625	92	85,5	0,77	598	3,6	I,6	8,5	
ДАЗО I9-I0-I0УI	I600	200	93	0,82	596	2,5	0,85	5,3	2I25
ДАЗО I9-I4-I0/I2АУI	I500	204	9I	0,77	599	2,6	0,9	6,I	3000
	850	II8	90,5	0,76	497	2,5	I,0	5,5	
ДАЗО I9-I4-I0/I2УI	620	99	84,4	0,72	599	4,2	I,8	9,2	3000
	360	64	83,4	0,65	497	4,4	2,3	8,0	
ДАЗО I9-I5-I0УI	2500	296	94	0,86	597	2,25	0,8	5,0	3500
ДАЗО I9-I4-I2/I6УI	I400	I80	92,8	0,8	497	3,0	I,I5	5,9	3000
	600	90	9I,0	0,7	373	2,6	I,I	4,7	
ДАЗО I9-I0-I2/I6УI	900	I26	9I,4	0,75	744	2,9	I,0	6,4	500
	400	6I,5	89,5	0,7	595	2,6	I,0	5,9	
ДАЗО I9-I0-I2УI	I700	2I6	94	0,8	496	2,25	0,9	4,5	2I25
ДАЗО I9-I2-I2УI	2I00	260,5	94,3	0,8	496	2,3	0,9	5,5	2500
ДАЗО I3-55-I2МУI	200	28,0	90,3	0,76	492	2,3	I,2	4,7	II0
ДАЗО I3-55-I2	200	27,5	9I,0	0,77	492	2,3	I,0	4,7	II0

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДАЗО I3-70-I2МУI	250	35,0	9I,3	0,76	492	2,5	I,3	5,I	I36,3
ДАЗО I3-70-I2	250	34,0	9I,5	0,77	493	2,5	I,0	5,I	I36,3
				Серия ДАЗО2					
ДАЗО2 I6-59-4УI	I250	I48,5	94,0	0,85	I492	2,4	I,05	7,I	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,I	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	4I,5	9I,0	0,8I	743	2,3	0,65	5,5	I37,5
	I60	25,0	89,0	0,68	595	3,2	I,I	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	9I,5	0,82	742	2,I	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	9I,0	0,76	593	2,I	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	6I,5	9I,0	0,85	74I	2,I	0,65	5,2	287,5
	250	35,0	89,5	0,76	594	2,6	0,85	6,I	
ДАЗО2 I7-39-I0/I2УI	400	52,0	9I,0	0,80	592	2,I	0,65	4,9	287,5
	230	39,0	89,0	0,63	496	3,2	I,I	6,2	
ДАЗО2 I7-44-8/I0УI	630	76,5	9I,5	0,85	74I	2,I	0,65	5,2	3I2,5
	320	44,0	90,5	0,77	594	2,7	0,9	6,I	
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	9I,5	0,80	593	2,2	0,7	5,I	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	9I,2	0,88	990	2,5	0,7	5,7	387,5
	400	5I,5	90,3	0,82	745	3,3	I,0	7,I	
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	9I,0	0,73	495	2,5	0,95	5,3	
ДАЗО2 I7-54-I0УI	630	8I,0	93,5	0,79	594	3,0	I,3	7,I	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	9I,5	0,79	595	2,8	0,95	6,7	
ДАЗО2 I7-64-I0/I2УI	630	79,5	92,0	0,8I	594	2,3	0,8	5,7	462,5
	370	5I,5	9I,0	0,75	495	2,5	0,95	5,8	

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДАЗО2 I7-64-I0УI	800	I03	94,0	0,79	596	3,0	I,3	7,0	462,5
ДАЗО2 I7-69-8/I0УI	I000 500	II8,5 64,0	93,0 92,0	0,86 0,8I	742 594	2,3 2,5	0,8 0,9	6,0 6,0	500
ДАЗО2 I7-79-6УI	I250	I40	93,0	0,9I	995	2,8	0,85	6,8	625
ДАЗО2 I8-69-6/8УI	I600 685	I94,5 92,0	92,0 90,2	0,85 0,78	994 746	2,3 2,6	0,7 0,95	6,3 7,0	I050
ДАЗО2 I8-69-I0УI	I250	I5I	93,5	0,84	595	2,8	I,3	7,I	I000
ДАЗО2 I8-69-I0/I2УI	I000 580	I27 75,0	92,3 9I,8	0,8I 0,8	595 495	2,5 2,2	0,85 0,85	5,9 5,I	I000
ДАЗО2 I8-76-8/I0УI	I250 725	I47 92	92,0 9I,5	0,88 0,82	744 595	2,4 2,7	0,8 0,95	6,0 6,5	I350
ДАЗО2 I8-76-I0/I2УI	I250 725	I54 92,5	93,0 92,4	0,83 0,8I	595 495	2,3 2,2	0,8 0,9	5,5 5,4	I350
ДАЗО2 I8-76-I2/I6УI	I000 420	I30 63,5	93,0 90,5	0,79 0,7	495 37I	2,3 2,I	0,9 0,85	5,5 4,I	I350
ДАЗО2 I8-89-I0/I2УI	I600 930	I95,5 II7	93,5 92,8	0,83 0,8I	595 495	2,3 2,I	0,8 0,8	5,5 4,8	I575
			Серия ДАЗО4						
ДАЗО4-400ХК-4УI	3I5	38,0	93,7	0,86	I484	2,8	I,5	7,0	I0
ДАЗО4-400Х-4УI	400	47,0	94,3	0,87	I484	2,8	I,5	7,0	I2
ДАЗО4-400У-4УI	500	58,5	94,7	0,87	I484	2,8	I,5	7,0	I4
ДАЗО4-450Х-4УI	630	73,5	94,7	0,87	I485	2,6	I,3	7,0	22
ДАЗО4-450У-4УI	800	92,0	95,0	0,88	I485	2,6	I,3	7,0	26
ДАЗО4-560Х-4УI	I250	I45,0	95,5	0,869	I488	2,3	I,I	7	45
ДАЗО4-560УК-4УI	I600	I82,5	95,8	0,88I	I488	2,3	I,I	7	55
ДАЗО4-560У-4УI	2000	227,5	96,0	0,88I	I488	2,3	I,I	7	65
ДАЗО4-400ХК-6УI	250	3I,0	93,5	0,83	987	2,6	I,3	6,5	I6
ДАЗО4-400Х-6УI	3I5	38,0	93,8	0,85	987	2,6	I,3	6,5	I9
ДАЗО4-400У-6УI	400	48,0	94,2	0,85	987	2,6	I,3	6,5	22
ДАЗО4-450Х-6УI	500	60,0	94,4	0,85	988	2,5	I,3	6,5	33
ДАЗО4-450У-6УI	630	75,5	94,7	0,85	988	2,5	I,3	6,5	39
ДАЗО4-560Х-6У	I000	II9	95,5	0,847	992	2,2	I,3	6,5	70
ДАЗО4-560УК-6УI	I250	I46	95,8	0,860	992	2,2	I,3	6,5	80
ДАЗО4-560У-6УI	I600	I87	96,0	0,858	99I	2,2	I,3	6,5	95
ДАЗО4-400Х-8УI ДАЗО4-I3-44-8УI	200	27,0	93,0	0,77	740	2,4	I,2	6,0	20 2I
ДАЗО4-400У-8УI ДАЗО4-I3-52-8УI	250	32,5	93,5	0,79	740	2,4	I,2	6,0	23
ДАЗО4-450Х-8УI ДАЗО4-I4-42-8УI	3I5	40,5	93,7	0,8	74I	2,4	I,2	6,0	37 39,5

Продолжение таблицы П3.I

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед	$J_{эд}$ кг·м^2
ДАЗ04-450УК-8УI ДАЗ04-I4-49-8УI	400	50,5	94,0	0,8I	74I	2,4	I,2	6,0	43 45
ДАЗ04-450У-8УI ДАЗ04-I4-59-8УI	500	62,0	94,3	0,82	74I	2,4	I,2	6,0	50 52,5
ДАЗ04-560Х-8УI	630	8I,0	94,7	0,790	744	2,2	I,3	6,0	87
ДАЗ04-560УК-8УI	800	I0I,I	95,0	0,802	744	2,2	I,3	6,0	I05
ДАЗ04-560У-8УI	I000	I26,5	95,3	0,798	743	2,2	I,3	6,0	I20
ДАЗ04-400У-I0УI	200	28,0	92,5	0,75	589	2,3	I,3	6,0	23
ДАЗ04-450Х-I0УI	250	33,0	92,9	0,79	589	2,3	I,3	6,0	38
ДАЗ04-450У-I0УI	3I5	40,5	93,3	0,8	589	2,3	I,3	6,0	43
ДАЗ04-560ХК-I0У	400	52,5	93,6	0,783	595	2,2	I,3	6,0	75
ДАЗ04-560Х-I0УI	500	65,5	94,I	0,78I	595	2,2	I,3	6,0	87
ДАЗ04-560УК-I0УI	630	8I,0	94,6	0,79I	595	2,2	I,3	6,0	I05
ДАЗ04-560У-I0УI	800	I0I,5	94,9	0,799	594	2,2	I,3	6,0	I20
ДАЗ04-450Х-I2УI	200	28,0	92,2	0,75	49I	2,3	I,3	5,5	4I
ДАЗ04-450У-I2УI	250	34,0	92,7	0,76	49I	2,3	I,3	5,5	46
ДАЗ04-560ХК-I2У	3I5	44,0	92,9	0,742	495	2,2	I,3	5,5	75
ДАЗ04-560Х-I2УI	400	55,0	93,4	0,749	495	2,2	I,3	5,5	87
ДАЗ04-560УК-I2У	500	68,5	93,9	0,748	495	2,2	I,3	5,5	I05
ДАЗ04-560У-I2УI	630	85,5	94,4	0,75I	494	2,2	I,3	5,5	I20
			Серия ДАМСО						
ДАМСО I47-4	360	43	9I,5	0,880	I485	2,5	I,2	6,0	20,0
ДАМСО I48-4	440	52	92,5	0,880	I485	2,4	I,4	5,7	22,5
ДАМСО I4I0-4	500	59	92,5	0,882	I485	2,2	I,2	6,0	27,5
ДАМСО I58-4	680	79	93,0	0,89I	I485	I,9	I,0	4,8	42,5
ДАМСО I5I0-4	850	98	93,5	0,893	I485	2,0	I,0	5,3	52,5
ДАМСО I5I2-4	I050	I20	94,0	0,896	I485	2,0	I,0	5,0	62,5
ДАМСО I48-6	3I0	39	9I,0	0,84I	985	2,6	I,2	6,0	35,0
ДАМСО I4I0-6	380	46	92,0	0,864	985	2,5	I,I	5,8	42,5
ДАМСО I57-6	460	55	92,0	0,875	985	I,9	I,0	4,7	55,0
ДАМСО I58-6	550	66	93,0	0,862	985	2,0	I,0	5,0	62,5
ДАМСО I5I0-6	650	77	93,0	0,873	985	2,4	I,2	5,8	77,5
ДАМСО I5I2-6	780	92	93,5	0,873	985	2,4	I,2	5,9	92,5
ДАМСО I47-8	200	27	89,5	0,796	740	I,9	I,0	4,6	30,0
ДАМСО I48-8	240	32	90,0	0,802	740	2,I	I,0	4,6	35,0
ДАМСО I4I0-8	280	37	9I,0	0,800	740	2,3	I,0	5,2	42,5
ДАМСО I57-8	320	4I	9I,0	0,825	740	I,9	I,0	4,4	60,0
ДАМСО I58-8	380	47	9I,5	0,850	740	2,0	I,I	4,8	70,0
ДАМСО I5I0-8	475	58	92,0	0,857	740	I,9	I,I	4,6	85,0
ДАМСО I5I2-8	570	70	92,5	0,847	740	2,I	I,I	5,0	I02,5
ДАМСО I4I0-I0	200	27	89,0	0,80I	590	2,5	I,I	5,6	52,5
ДАМСО I57-I0	260	35	90,0	0,794	590	2,0	I,0	4,5	70,0
ДАМСО I58-I0	3I0	40	90,5	0,824	590	I,8	I,0	4,2	80,0
ДАМСО I5I0-I0	400	5I	9I,5	0,825	590	I,9	I,0	4,5	I00,0

Продолжение таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДАМСО 1512-10	480	61	92,0	0,823	590	2,1	1,1	4,8	117,5
ДАМСО 1510-12	280	38	90,5	0,783	490	1,9	1,0	4,3	100,0
ДАМСО 1512-12	330	45	91,0	0,775	490	2,0	1,0	4,4	117,5
Серия ДАП									
ДАП-14-49-4	1250	147	94,3	0,868	1490	2,2	0,9	4,9	120
ДАП-14-49-4У4	1250	147	95,3	0,859	1490	2,2	0,9	4,9	120
ДАП-14-59-4	1600	188	94,8	0,864	1490	2,2	0,9	5,0	137,5
ДАП-14-59-4У4	1600	188	95,3	0,859	1490	2,2	0,9	5,0	138
ДАП-14-69-4	2000	237	95,2	0,853	1491	2,4	1,0	5,3	154
ДАП-14-69-4У4	2000	237	95,7	0,849	1491	2,4	1,0	5,3	154
ДАП-14-79-4	2500	292	95,3	0,864	1481	2,3	1,0	5,2	170
ДАП-14-79-4У4	2500	292	95,8	0,860	1491	2,3	1,0	5,2	170
Серия ДВДА									
ДВДА 1731/29-10-12	500 315	66 46	91 90	0,801 0,732	594 495	2,5 3,5	0,8 1,2	6,0 6,5	650
ДВДА 2151/49-10-12	1600 1000	190 120	93 93,2	0,868 0,86	595 496	2,1 2,1	0,6 0,7	5,5 5,5	2200
ДВДА 1731/49-12-16	800 400	99 60	92,9 90,5	0,837 0,709	494 372	2,2 2,1	0,9 1,0	5,0 4,8	950
ДВДА 2151/39-12-16	1000 500	122 67	92,8 91,2	0,85 0,787	494 371	2,1 2,2	0,7 0,8	5,0 4,0	1750
ДВДА 2151/64-16-20	1400 710	188 109	93,5 91,5	0,766 0,675	371 298	2,0 2,1	0,65 0,75	4,5 4,0	2750
ДВДА 260/99-16-20	5000 2500	658 350	95,8 95,1	0,763 0,723	372 297	2,04 1,89	0,73 0,76	4,3 3,84	10000
ДВДА 260/79-20-24	3150 1600	452 253	94,65 93,85	0,708 0,648	297 247	1,88 2,04	0,58 0,68	3,6 3,54	8500
ДВДА 260/74-14-16КУ4	3150 2500	400 342	94,2 94,0	0,804 0,748	425 372	2,1 2,1	0,7 0,8	6,0 6,0	8000
ДВДА 260/99-20-24У4	4000 2500	580 387	95,0 94,28	0,699 0,659	297 247	2,08 1,89	0,63 0,6	3,8 3,4	10500
Серия ДВДА2									
ДВДА2 1181/56-10-12УХЛ3	500 315	66 51	93,4 91,1	0,78 0,652	595 495	3,0 2,5	0,9 0,8	6,0 5,0	285
ДВДА2 1731/59-10-12УХЛ3	1600 1000	195 130	94,2 93	0,898 0,796	595 496	3,0 2,5	0,9 0,7	6,0 5	250
ДВДА2 1431/56-12-16	800 400	106 58	93,8 91,8	0,774 0,723	496 370	2,8 2,5	1,2 1,2	5,3 4,6	500
ДВДА2 1731/46-12-16У3	1000 500	128 75	94 92	0,8 0,697	495 371	2,5 2,2	0,8 0,6	6,0 4,5	225

Окончание таблицы П3.1

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}$ кг·м^2
ДВДА2 235/89-20-24УХЛ3	3150 1600	416 288	94,7 93,8	0,769 0,58	297 248	2,2 3,0	0,9 1,0	4,8 5,5	690
ДВДА2 235/104-20-24УХЛ3	4000 2500	547 432	95 94,1	0,741 0,592	297 248	2,2 3,0	0,7 1,1	4,8 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

Таблица П3.2

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

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

Окончание таблицы П3.2

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

*Номинальная частота вращения 3000 об/мин.

Таблица П3.3

Технические данные синхронных электродвигателей серии СТМ

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд}\,10$ кг·м^2
СТМ-800-2	800	6000 10000	91 55	0,9 0,9	94,14 93,76	3000 3000	1,68 1,84	2,5 2,5	6,9 7,3	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	6000 10000	225 135	0,9 0,9	95,26 95,42	3000 3000	1,65 1,8	2,0 2,15	6,65 7,1	0,09 0,09
СТМ-3500-2	2500	6000 10000	279 167	0,9 0,9	95,83 95,87	3000 3000	1,9 1,92	3,1 3,1	11,0 11,0	0,12 0,12
	3500	6000 10000	390 235	0,9 0,9	96,4 96,29	3000 3000	1,63 1,73	2,2 2,35	7,85 8,0	0,12 0,12
СТМ-4000-2	4000	6000	445	0,9	96,72	3000	1,72	2,4	7,6	0,15
СТМ-6000-2	6000 4000	6000 10000	660 268	0,9 0,9	96,82 95,24	3000 3000	1,77 2,34	2,4 2,4	8,3 8,3	0,32 0,32
	5000	10000	335	0,9	95,72	3000	2,1	2,4	10,1	0,32
СТМ-9000-2	9000	6000 10000	992 595	0,9 0,9	97,48 97,27	3000 3000	1,64 1,72	3,0 3,0	9,0 9,0	0,41 0,41
СТМ-12000-2	12000	6000 10000	1320 791	0,9 0,9	97,43 97,25	3000 3000	1,61 1,52	2,8 3,0	9,0 8,3	0,65 0,65

Таблица П3.4

Технические данные синхронных электродвигателей серии ВДС

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}\ 10^3$ 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

Таблица П3.5

Технические данные синхронных электродвигателей серии СДК(П)

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}\ 10^3$ 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

Окончание таблицы П3.5

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}\,10^3$ кг·м^2
СДК(П)-16-34-16	500	6000	57,5	0,9	92,6	375	2,0	0,85	5,2	0,337
СДК(П)-15-41-16	630	6000	72,5	0,9	93,2	375	2,0	0,85	5,2	0,4
СДК(П)-16-34-16	800	6000	91,5	0,9	93,6	375	2,1	0,85	5,5	0,81
СДК(П)-16-41-16	1000	6000	114	0,9	94,0	375	2,1	0,85	5,5	0,91
СДК(П)-16-51-16	1250	6000	141	0,9	94,6	375	2,1	0,9	5,7	1,21
СДК(П)-17-41-16	1600	6000	181	0,9	94,8	375	2,2	1,2	5,9	2,2
СДК(П)-17-49-16	2000	6000	225	0,9	95,2	375	2,0	1,1	5,2	2,61
СДК(П)-17-59-16	2500	6000	281	0,9	95,6	375	2,0	1,2	5,5	3,15
СДК(П)-18-49-16	3200	6000	358	0,9	95,6	375	2,0	0,9	5,7	8,62
СДК(П)-18-61-16	4000	6000	446	0,9	96,0	375	2,0	0,95	5,8	10,35
СДК(П)-18-76-16	5000	6000	553	0,9	96,3	375	2,1	1,0	6,5	12,47
СДК(П)-18-91-16	6300	6000	698	0,9	96,5	375	2,0	0,9	6,0	14,5
СДК(П)-17-46-20	1600	6000	181	0,9	94,6	300	2,1	0,85	5,5	2,8
СДК(П)-18-39-20	2000	6000	225	0,9	95,0	300	2,1	0,85	5,3	4,5
СДК(П)-18-49-20	2500	6000	281	0,9	95,3	300	2,2	0,95	5,8	5,47
СДК(П)-18-61-20	3200	6000	359	0,9	95,8	300	2,2	1,0	6,1	6,7
СДК(П)-18-74-20	4000	6000	447	0,9	96,2	300	2,2	0,95	6,3	8
СДК(П)-19-54-20	5000	6000	553	0,9	96,2	300	2,0	0,7	5,2	17,66
СДК(П)-19-69-20	6300	6000	700	0,9	96,4	300	2,1	0,8	6,0	21,2
СДК(П)-18-49-24	2000	6000	220	0,9	94,4	250	2,2	1,0	6,3	6,12
СДК(П)-18-61-24	2500	6000	282	0,9	95,1	250	2,1	1,0	6,2	7,5
СДК(П)-19-46-24	3200	6000	360	0,9	95,3	250	2,0	0,7	5,1	14,85
СДК(П)-19-54-24	4000	6000	447	0,9	95,6	250	2,1	0,7	5,6	16,6
СДК(П)-19-69-24	5000	6000	553	0,9	95,8	250	2,0	0,8	5,2	20,3
СДК(П)-19-84-24	6300	6000	702	0,9	96,2	250	2,0	0,8	5,6	24,45

Таблица П3.6

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

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}\cdot10^3$ кг·м^2
ДСМ-213-29-24 ДСМП-213/29-24	600	6000 3000	70 140	0,9	91,5	250	2,4	2,0	7,5	1,75
ДСМ-213/24-32	300	6000 3000	35 70	0,9	87,8	187	3,1	1,5	7,3	1,5
ДСМ-213/34-32	380	6000 3000	50 100	0,8	88,3	187	3,2	2,0	6,5	2,0
ДСМ-260/44-32	1250	6000 3000	143 286	0,9	93,6	187	2,4	1,0	6,0	5,0
ДСМ-260/39-36 ДСМП-260/39-36	900	6000 3000	103 206	0,9	92,6	167	2,6	1,6	7,3	4,75

Окончание таблицы П3.6

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м^2
ДСМ-260/44-36	1100	6000 3000	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
ДСК-260/10-40	200	380	395	0,9	87,4	150	2,36	0,605	4,07	1,75
ДСКП-213/20-32	250	6000 3000	30,3 60,6	0,9	88,4	187	2,26	0,63	4,48	3,25
ДСК-173/16-16	300	6000 3000	40,5 81	0,8	89	375	2,54	0,84	4,35	0,4
ДСК-260/15-36	320	6000 3000	39 78	0,9	87	167	2,5	0,58	5,0	3,7
ДСКП-260/15-36	320	6000 3000	39 78	0,9	87	167	2,38	0,577	5,15	6,0
ДСК-260/24-36	625	6000 3000	71,5 143	0,9	90,95	167	2,0	0,5	4,5	7,0
ДСКП-260/24-36	625	6000 3000	71,5 143	0,9	90,95	167	2,0	0,5	4,5	7,0
ДСКП-260/24-36А	630	6000 3000	74 148	0,9	90,95	167	2	0,5	4,5	8,75
ДСК-260/20-32	630	6000 3000	74 148	0,9	90,95	187	2,14	0,498	4,3	6,5
ДСКП-260/20-32	630	6000 3000	74 148	0,9	90,95	187	2,1	0,45	4,4	4,5
ДСК-260/29-36	840	6000 3000	98 196	0,9	91	167	2,02	0,448	3,58	4,5

Таблица П3.7

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

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{эд} \cdot 10^3$ кг·м^2
ДСКЗО-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

Окончание таблицы П3.7

Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$U_{ном}$ В	$I_{ном}$ А	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$\eta_{ном}$ %	$n_{ном}$ об/мин	$M_{макс}$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$K_п$ отн.ед.	$J_{эд}\ 10^3$ кг·м^2
ВСДН(СДВ)-16-31-8	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)-15-31-10	800	6000	90	0,9	93,6	600	2,0	0,4	4,5	0,3
ВСДН(СДВ)-16-31-10	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)-17-31-10	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)-16-31-12	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

Таблица П3.8

Пусковые характеристики синхронных электродвигателей

$\left(\frac{I_{пуск}}{I_н} = I_п(S)$ - верхняя строка; $\frac{M_п}{M_н} = m_п(S)$ - нижняя строка$\right)$

Тип электродвигателя	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 П3.8

Тип электродвигателя	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	5,94	5,64	5,43	5,17	4,31	3,43	2,50	1,74
	1,75	1,84	1,93	1,97	2,00	1,97	1,82	1,50	0,997
СТД-3200-2	6,63	6,40	6,07	5,85	5,56	4,63	3,68	2,77	1,82
	1,85	1,95	2,07	2,12	2,16	2,17	1,99	1,65	1,09
СТД-4000-2	6,69	6,45	6,11	5,88	5,58	4,60	3,52	2,71	1,75
	1,92	2,03	2,14	2,20	2,24	2,23	2,02	1,66	1,08
СТД-5000-2	7,22	6,96	6,59	6,33	6,00	4,90	3,83	2,83	1,79
	2,07	2,20	2,35	2,41	2,47	2,45	2,20	1,80	1,16
СТД-6300-2	6,28	6,09	5,81	5,69	5,36	4,50	3,61	2,75	1,78
	1,62	1,73	1,86	1,93	1,99	2,05	1,92	1,65	1,13
СТД-8000-2	6,93	6,72	6,42	6,20	5,92	4,95	3,95	3,01	1,93
	1,76	1,89	2,05	2,13	2,21	2,29	2,14	1,83	1,26
СТД-10000-2	8,10	7,86	7,50	7,24	6,90	5,71	4,51	3,39	2,14
	2,06	2,24	2,44	2,55	2,65	2,75	2,53	2,14	1,46
СТД-12500-2	8,86	8,60	8,21	7,93	7,56	6,24	4,89	3,67	2,30
	2,24	2,43	2,67	2,80	2,92	3,04	2,79	2,35	1,50
СТМ	1,0	0,95	0,86	0,82	0,78	0,65	0,53	0,4	0,25
СТМП	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 ДСМП	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
ДСП-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
ДСП-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
ДСКЗ-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	1,69	2,17	1,83	1,01	0,66

Продолжение таблицы П3.8

Тип электродвигателя	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

Окончание таблицы П3.8

Тип электродвигателя	Скольжение, отн.ед.								
	I,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0,I	0,05	0,025
СДК(П)-I8-39-20	I,0 I,0	I,0 I,2I	0,98 I,46	0,95 I,68	0,9 I,86	0,8 2,04	0,63 I,79	0,45 I,5	0,3 I,29
СДК(П)-I8-49-20	I,0 I,0	0,98 I,I9	0,96 I,44	0,93 I,63	0,9I I,8I	0,76 I,97	0,6 I,56	0,47 I,5	0,36 I,0
СДК(П)-I8-6I-20 СДК(П)-I8-74-20	I,0 I,0	I,0 I,I7	0,96 I,46	0,92 I,6	0,89 I,74	0,77 I,86	0,6I I,7I	0,48 I,43	0,4 I,I4
СДК(П)-I9-54-20	I,0 I,0	I,0 I,25	0,98 I,5	0,93 I,67	0,9 I,96	0,78 2	0,65 I,92	0,5 I,79	0,4 I,29
СДК(П)-I9-69-20	I,0 I,0	I,0 I,22	0,98 I,48	0,93 I,59	0,9I I,8I	0,8 I,93	0,65 I,8I	0,57 I,56	0,46 I,II
СДК(П)-I8-49-24 СДК(П)-I8-6I-24	I,0 I,0	I,0 I,I8	0,98 I,5	0,94 I,7I	0,92 I,9I	0,76 2,35	0,53 2,II	0,33 I,32	0,I8 I,I8
СДК(П)-I9-46-24	I,0 I,0	I,0 I,I4	0,97 I,48	0,95 I,76	0,92 2,C	0,82 2,67	0,64 2,67	0,54 2,I4	0,33 I,52
СДК(П)-I9-54-24	I,0 I,0	I,0 I,2I	0,98 I,54	0,95 I,7I	0,93 2	0,8I 2,54	0,67 2,5	0,55 2,I	0,38 I,54
СДК(П)-I9-69-24	I,0 I,0	I,0 I,I5	0,97 I,46	0,95 I,62	0,92 I,85	0,82 2	0,64 I,85	0,54 I,58	0,33 I,27
СДК(П)-I9-84-24	I,0 I,0	I,0 I,I4	0,98 I,4	0,95 I,6I	0,93 I,82	0,8I I,96	0,67 I,82	0,55 I,6I	0,38 I,I4

Приложение 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ МЕХАНИЗМОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Таблица П4.I

Технические данные дутьевых вентиляторов

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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,I2(2I6) 0,95(97)	I500 I000	5,75 I,73	I,9-2,25
ВД-8	I0 8	I,68(I72) 0,97(98,5)	I000 750	7,0 3,2	7,0
ВД-I0	20 I5-I6	2,65(270) I,49(I52)	I000 750	20,5 8,5-II,3	I4,5
ВД-I2	35 26 I8	3,82(390) 2,I6(220) 0,95(97)	I000 750 5000	54 22,5 6,8	34

Продолжение таблицы П4.I

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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-I3,5*	60 45 30	5,I5(525) 2,8(285) I,25(I27)	I000 750 500	II7-I38 48,5-57 I5	56
ВД-I5,5*	I29,5-I50 65-68 55-58	6,55(668)-5,93(604) 3,7I(378) 2,38(243)	I000 750 600	350-I36 60-I00 38-52,5	II5
ВД-I8	I05 80	5,0(5I0) 3,I4(320)	750 600	209 99	265,5
ВД-20	I40 I00-II5	6,II(623) 3,96(404)	750 600	33I I8I	433,8
ВВДН-I5	38	7,95(8I0)	I500	I05	86,8
ВВДН-I7	58	I0,0(I020)	I500	200	I37,4
ВДН-8	I0,5	2,22(226)	I500	8	-
ВДН-9	I5	2,8(286)	I500	I4	-
ВДН-9АС	I7,5	3,92(400)	I800**	23	-
ВДН-I0	20,45	3,47(354)	I500	24	-
ВДН-I0АС	20	3,33(340)	I500	22,5	-
ВДН-II,2	28,75	4,35(444)	I500	43	-
ВДН-II,2АС	34	6,08(6I9,5)	I800**	70,5	-
ВДН-I2,5	40	5,39(550)	I500	73	-
ВДН-I2,5АС	39,I	5,26(536)	I500	70,5	-
ВДН-I4-II	80	2,38(243)	I000	95	I37,5
ВДН-I4-IIу***	59	2,05(209)	I000	62	I20
ВДН-I5	75-78 50	7,69(787)-8,38(854) 3,43(350)	I500 I000	I94-2I5 58,5	88,3
ВДНА-НЖ-I5С	30-60	3,67(374,6)-2,69(274,6)	I000	36-57	-
ВДН-I6-II	II2 84,95 67,7	2,77(282) I,57(I60) I,0(I02)	I000 750 600	I08 46 I8	220
ВДН-I6-IIу***	82,5 62,3	2,39(244) I,36(I39)	I000 750	7I 3I	I87,5
ВДН-I7	II0-II3	I,II(II3)	I500	364-400	I45,3
ВДНА-НЖ-I7С	80	4,04(4I2)	I000	II3	-
ВДН-I8	I52	3,79(386)	I000	I90	332,5
ВДН-I8-II	I80 I35 I56 I20	3,53(360) 2,06(2I0) 3,74(382) 2,I9(223)	I000 750 I000 750	200 I00	400
ВДН-I8-IIу***	II5-II7 85-88	3,58(365)-3,5I(358) 2,06(2I0)-I,98(202)	I000 750	I30 55	350
ВДН-I9у	I00	2,45(250)	I000	82	350
ВДН-20	2I5	4,62(47I)	I000	326-360	500

Окончание таблицы П4.I

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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	
ВДН-20-II	240-222 I80-I73	4,3I(4,39)-4,5I(460) 2,45(250)-2,68(273)	I000 750	350 I56	575
ВДН-20-IIу***	I65-I70 I25-I27	4,4I(450)-4,27(435) 2,45(250)-2,44(249)	I000 750	225 I00	500
ВДН-20,5у	I55	4,86(495)	I000	255	475
ВДН-22-IIу	2I0 I67	3,23(329) 2,06(2I0)	750 600	225 II3	825
ВДН-24у	200	3,82(389)	750	255	I200
ВДН-24-IIу	275 220	3,87(395) 2,45(250)	750 600	350 I78	I200
ВДН-24х2IIу	500-600 400-480	3,62(370) 2,55(260)-2,32(237)	750 600	650-7I0 290-365	2I50
ВДН-25у	220	4,I8(426)	750	309	I425
ВДН-25х2	500-520 380	8,09(825)-7,84(800) 4,7(480)	I000 750	I250-I320 540	2250
ВДН-25х2-I ВДН-26у	580 240	8,53(870) 4,62(470)	I000 750	I600-I680 372	2325 I625
ВДН-26-IIу	350 280	4,56(465) 2,89(295)	750 600	520 270	I575
ВДН-28-IIу	420-430 338-345	4,85(494)-4,6I(470) 3,II(3I7)-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 ВДН-3I,5	900 367	I4,I(I437) 9,42(960)	I000 750	4035 I070-II30	7750 4250
ВДОД-3I,5****	783 855 800 850	5,9(60I) 7,02(7I6) 5,5(560) 6,24(636)	600 600	I540-I607 2000-2300	5875 5750
ВДН-32Б****	475 384	6,08(620) 3,97(405)	750 600	9I0-920	4375-4400
ВДН-36х2	I450 I555	I4,3I(I459) I3,23(I349)	I000	6400-6650	I7500
ВО-I-I6/II I9ЦС-63АС-3000 I9ЦС-63АС-3600	2I5 I,9 I,9	4,4I(450) 6,08(620) 6,08(620)	I500 3000 3600**	337 6,5 6,5	I28,3 - -

*Значения подачи и полного давления приведены для границ зоны $\eta = 0,9\,\eta_{макс}$

**Частота питающего тока ЭД 60 Гц.

***С узким рабочим колесом.

Над чертой указаны значения подачи и полного давления при $\eta_{макс}$ под чертой - эти же значения при режиме максимального регулирования "Вверх" по квадратичной параболе, проходящей через точку $\eta_{макс}$ 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, дм; х2 - двустороннее всасывание; II - индекс аэродинамической схемы; у - унифицированный; ВДН-36х2 и ВДН-25х2 - воздуходувки (обозначения те же); ВДОД - вентилятор дутьевой осевой двухступенчатый; ВО-I-I6/II - то же одноступенчатый, II - диаметр втулки рабочего колеса, дм; ВД - вентилятор дутьевой одностороннего всасывания; ВВДН - вентилятор высокого давления с загнутыми назад лопатками (обозначения те же); ВДНА-НЖ-I7С - вентилятор дутьевой с загнутыми назад лопатками для АЭС; НЖ - нержавеющий; диаметр рабочего колеса, дм; С - сейсмостойкий (АС - для АЭС сейсмостойкий); I9ДС-63АС-3000 - подача $I9 \cdot I0^2$ м^3/ч, ДС - центробежный электровентилятор специальный, полное давление $63 \times I0^2$ Па, АС - для АЭС сейсмостойкий, частота вращения 3000 об/мин.

Таблица П4.2

Технические данные вентиляторов горячего дутья

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, тыс. м^3/ч	Полное давление, кПа (кгс/м^2)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ВГД-20у	I46 I46	3,84(392) 2,7(275)	750 750	223 I56	433,8
ВГД-I5,5 ВГД-I5,5у	85 85	4,05(4I3) 2,82(287)	I000	I36 95	II4,3 II9
ВГД-I3,5 ВГД-I3,5у	60 60	3,06(3I2) 2,I5(2I9)	I000 I000	73 5I	55,8 56,3
ГД-I2	35	2,34(239) I,66(I69)	I000	34	42,5
ВГДН-II,2 ВГДН-I2,5 ВГДН-I3,5у ВГДН-I5,5у	I9 27 60 85	0,86(88) I,07(I09) 2,I5(223) 2,8I(286)	I000 I000 I000 I000	5,8 I0 5I 95	- - 56,3 II8,8
ВГДН-I5	77,4 75	3,79(386) 3,49(356)	I500 I500	96 88,7	I02,5 I02,5
ВГДН-I7 ВГДН-I9 ВГДН-I9Б ВГДН-I9М ВГДН-2I	I09,5-II3 I02 I08 I06 I43 I36	4,48(457)-4,9(500) 2,48(253) 2,46(250) 2,68(273) 3,75(382) 3,04(3I0)	I500 I000 I000 I000 I000	I66-I80 89 93 93 I58 I90	I67,5 397,5 950 I035 550
ВГДН-2IМ ВОД-9/300	I43 I0,67	3,27(334) 3,77(385)	I000 3000	I53 23	4700 -

Примечание. Обозначения типов вентиляторов в порядке следования букв и цифр: ВГД и ВГДН - вентилятор горячего дутья с загнутыми соответственно вперед и назад лопатками; диаметр рабочего колеса, дм; у - унифицированный; Б - Барнаульский котельный завод; М - модернизированный; ВОД-9/300 - вентилятор острого дутья подачей 9 тыс. м^3/ч на полное давление 300 кгс/м^2.

Таблица 14.3

Технические данные мельничных вентиляторов

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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-40/750-1В**	40	7,5(760)	1500	115	80
	40	7,33(748)	1500	115	80
ВМ-40/750-11у** ВМ-40/750-1Б**	40	3,74(382)	1500	58	80
ВМ-50/1000-11у**	54	5,34(545)	1500	112	155
ВМ-50/1000-1В**	50	10,3(1050)	1500	223	155
	54,8	10,4(1065)	1500	223	155
ВМ-50/1000-1Б**	53,6	5,34(545)	1500	112	155
	35	2,3(235)	1000	31	155
ВМ-75/1200у**	75	12,3(1250)	1500	350	225
ВМ-75/1200-1Б**	43,6	2,82(287)	1500	48	225
ВМ-75/200-1В**	67,5	12,7(1292)	1500	334	225
ВМ-100/1000у** ВМ-100/1000**	90	9,85(1004)	1500	353	192,5
ВМ-100/1200у**	90	11,5(1175)	1500	412	217,5
ВМ-100/1200**	96,8	11,36(1158)	1500	440	300
ВМ-180/1100**	180	12,54(1280)	1500	826-920	437,5
ВМ-180/1100-1**	180	14,5(1475)	1500	920-925	437,5
		14,2(1447)	1500	925	440
ВМ-75/1200-1у**	75	2,81(288)	1000	48	225
ВМ-160/850у**	160	8,82(900)	1000	525-540	625
ВМ-160/850-1**	160	8,58(875)	1000	525	625
	180	8,63(880)	1000	625	625
ВВСМ-1у*** ВВСМ-1***	14	5,2(530)	1500	34	31,25
	12	5,2(530)	1500	33,5	
ВВСМ-1-1***	14	5,2(530)	1500	125	31,25
		4,57(466)	1500	125	31
ВВСМ-2у***	33	5,02(512)	1000	73	50,0-67,5
ВВСМ-2***	33	5,02(512)	1000	73	64
ВВСМ-2-1***	33	5,02(512)	1000	73	50,0-67,5
		4,92(502)	1000	73	68

Окончание таблицы П4.3

Тип вентилятора	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, тыс. м^3/ч	Полное давление, кПа (кгс/м^2)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ВВСМ-3у***	60	4,66(475)	I000	I25	75
ВВСМ-3-I***	60	5,0(5I0)	I000	I32	7I
ВВСМ-3-I***	60	4,66(475)	I000	33,5	75
		5,I(520)	I000	33,5	
ВВСМ-4***	80	4,9(500)	I000	I75	-

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

**Вентилятор мельничный одностороннего всасывания; первая группа цифр - подача, тыс. м^3/ч; вторая - полное давление, кгс/м^2; у - унифицированный; I и II - индексы аэродинамической схемы; Б - Барнаульский котельный завод.

***Вентилятор валковый среднеходной мельницы; I, 2, 3, 4 - типоразмеры вентилятора; у - унифицированный; I - номер аэродинамической схемы.

Таблица П4.4

Технические данные дымососов для агрессивных газов

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, тыс. м^3/ч	Полное давление кПа (кгс/м^2)	Частота вращения об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ДН-II,2НЖ	I9,3	0,86(88)	I000	5,8	-
ДН-I2,5НЖ	26,7	I,07(I09)	I000	I0	-
ДН-I5НЖ	50,3	I,56(I59)	I000	27,5	
	75	3,49(356)	I500	88,7	I02,5
	77	3,8(387)	I500	96	
ДН-I7НЖ	73,3	I,99(203)	I000	5I	I67,5
	I09,5	4,48(457)	I500	I66	
ДН-I9НЖ	90	2,82(288)	I000	89	397,5
	I02	2,48(253)	I000	90	397,5
ДН-I9БНЖ	I05	2,6(265)	I000	90,8	380

Примечание. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: ДН - дымосос с загнутыми назад лопатками; диаметр рабочего колеса, дм; НЖ - нержавеющий; Б - Барнаульский котельный завод.

Таблица Г4.5

Технические данные котельных дымососов

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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)	I500	0,74	-
Д-8	I0 8	I,06(I08) 0,59(6I,6)	I000 750	4,4 2	8,58
Д-I0	20 I5	I,65(I69) 0,94(95)	I000 750	I2,8 5,3	25,4
Д-I2	35 27,5 I8	2,33(238) I,34(I37) (60,6)	I000 750 500	33,8 I4,I 4,25	64,0
Д-I3,5*	87,5-60-35 65,5-45-26 44-30-I6,5	3,09(3I5)-2,8(285) I,75(I79)-I,9(I93) 0,77(79)-0,7I(72)	I000 750 500	II4-43 46,5-I8 I4,7-5,2	95,0
Д-I3,5x2y	I0I 75 50	3,I(3I6) I,7(I73) 0,76(78)	I000 750 500	I25 54 I6	2I2,5
Д-I3,5x2	I0I 60 50	3,I(3I6) I,II(II3) 0,76(78)	I000 600 500	I53 32 I9	2I2,5
Д-I5	75	6,3I(643)	I500	-	I02,5
Д-I5,5*	I29,5-52 I00-38 80-30,5	4,07(4I5)-3,67(375) 2,33(238)-2,07(2II) I,48(I5I)-I,33(I36)	I000 750 500	2I7-85 95,5-35,0 50-I7,5	I56,5
Д-I5,5x2y	I05 80	2,35(240) I,5(I53)	750 600	98 48	335
Д-I5,5x2	80	I,5(I53)	600	I26	335
Д-I8*	I70-50 I40-20	3,09(3I5)-2,65(270) 2,0I(205)-I,76(I80)	750 600	220-65 II5-40	328,8
Д-I8x2	I80 I80 I43	3,23(330) 4,I2(420) 2,04(208)	750 750 600	270 290 I35	725
Д-20*	200-70 I80-50	3,82(390)-323(330) 2,55(260)-2,II(2I5)	750 600	380-I00 280-65	535
Д-20x2	245 245 I95	4,0(408) 5,I(520) 2,53(258)	750 750 600	460 490 230	II25
Д-2I,5x2y Д-2I,5x2	305 242 200	4,6I(470) 2,94(300) 2,06(2I0)	750 600 500	520-558 282-290 I75	I300

Продолжение таблицы П4.5

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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	I290	28I2,5
	550	3,43(350)	500	765	
Д-25х2ШБГМ	430	2,0(204)	375	350	
Д-300/400	3I0	4,I7(425)	750	645	I500
	246	2,65(270)	600	325	
ДН-9	I4,8	2,28(232)	I500	II,5	-
	I0	I,0(I02)	I000	3,5	-
	7,6	0,57(58)	750	I,5	-
ДН-9у	I4,9	2,26(230)	I500	I2	-
ДН-9уI	I3,2	2,09(2I3)	I500	I0	-
ДН-I0	20,4	2,82(287)	I500	I9,6	-
	I3,7	I,24(I26)	I000	5,9	-
	I0,4	0,53(54)	750	I,9	-
ДН-I0у	20,4	2,77(283)	I500	20	-
ДН-I0уI	I8,I	2,59(264)	I500	I6	-
ДН-II,2	28,8	3,52(359)	I500	34,5	-
	I9,3	I,55(I58)	I000	I0,4	-
	I4,6	0,88(89,7)	750	4,5	-
ДН-II,2у	28,7	3,5(357)	I500	35	-
ДН-II,2уI	25,4	3,27(333)	I500	29	-
ДН-I2,5	40	4,39(447)	I500	60	-
	26,7	I,92(I96)	I000	I7,8	-
	I9,8	0,76(77)	750	5,2	-
ДН-I2,5у	39,9	4,38(446)	I500	60	-
ДН-I2,5уI	35,4	4,07(4I5)	I500	50	-
ДН-I5	75	6,3I(644)	I500	I60	I02,5
	77	6,94(707)	I500	I73	
	50	2,8(286)	I000	49	
	39	I,47(I50)	750	I9,6	
ДН-I7	II3	8,97(9I5)	I500	324	I67,5
ДН-I7	I09,5	8,07(823)	I500	293	I67,5
	73	3,59(366)	I000	78,5	
	55	I,87(I9I)	750	36	
ДН-I8х2у	240	I,47(I50)	750	I20	560
ДН-I8х2	270	I,47(I50)	750	II4	575
ДН-I9	I02	4,48(457)	I000	I58	397,5
	77	2,35(240)	750	94,5	
ДН-I9Б	I08	4,53(462)	I000	I68	397,5
ДН-I9БГМ	90**	5,I(520)		I60	

Продолжение таблицы П4.5

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				Момент инерции кг·м^2
	Подача, тыс. м^3/ч	Полное давление, кПа (кгс/м^2)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
Н-21	143	5,74(585)	1000	284	562,5
Н-21ПМ	138	5,48(559)	1000	262	550
	105	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	142	3,19(325)	750	157	
	162	3,08(314)	750	175	800
Н-22ПМ	112	2,06(210)	600	80	
Н-22х2**	285	3,31(338)	750	345	1325
Н-22х2-0,62	289	3,23(330)	750	325	1575
Н-22х2-0,62ПМ	289	3,18(324)	750	325	1325
Н-24	176	3,82(390)	750	234	
	210	3,67(374)	750	270	1125
Н-24ПМ	145	2,45(250)	600	123	
Н-24х2**	370	3,9(398)	750	525	1925
Н-24х2-0,62	375	3,85(393)	750	502	1925
Н-24х2-0,65ПМ					
Н-26	242	4,49(458)	750	385	1875
	267	4,3(438)	750	403	
Н-26ПМ	190	2,86(292)	600	189	1750
Н-26х2у	500	3,43(350)	750	585	2375
Н-26х2**	475	4,59(468)	750	790	3500
Н-26х2-0,62	477	4,52(461)	750	749	3500
Н-26х2-0,62ПМ					
ДОД-28,5					
ДОД-28,5ПМ	585	3,76(384)	600	743	5000
ДОД-28,5-I	680**	5,12**(513)		1310**	
ДОД-28,5-IIПМ					
ДОД-31,5ФПМ	850	3,64(372)	500	1080	5375
ДОД-31,5Ф	985**	4,9**(490)		1790	
ДО-31,5-III	800	3,38(345)	500	-	5000
ДО-31,5ПМ					
ДОД-31,5	725	3,19(326)	500	790	5000
ДОД-31,5ПМ	850**	4,35**(444)		1360	
ДОД-41-I	1140	2,63(268)	375	1010	23175
ДОД-41-IПМ	1300**	3,33**(340)		1730	24275
ДОД-41	1080	3,14(320)	375	1140	24575
ДОД-41ПМ	1220**	4,12**(420)		1880	23475
ДОД-41-500	1580	6,72(685)	500	3860	30000

Окончание таблицы П4.5

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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**	4,53**(462)		2500	24700
	1500	4,32(440)	375	2280	23750
ДОД-43-500-I	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

*Значения подачи и полного давления приведены для границ $\eta = 0,9\eta_{макс}$

**При режиме максимального регулирования "Вверх" по квадратичной параболе, проходящей через точку $\eta_{макс}$ и начало координат системы H-Q.

Примечание. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: Д и ДН - дымососы с загнутыми соответственно вперед и назад лопатками, ДО, ДОД - дымосос 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.

Таблица П4.6

Технические данные дымососов рециркуляции газов

Тип дымососа	Номинальные параметры при $\eta_{макс}$				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-I	650	4,77(487)	1000	1067	3740
ГД-26х2-I	600	5,49(560)	1000	1100	3750
ГД-31	345	4,02(410)	750	460	4375
	330	4,2(430)	750	480	4375
ДРГ-29х2-I	985	(693)	1000	2538	6250
ДРГ-29х2-II	750	(371)	750	1050	6250

Примечание. Обозначения типов дымососов в порядке следования букв и цифр: ГД - "горячий" дымосос (центробежный для систем рециркуляции дымовых газов), ДРГ - дымосос рециркуляции газов; диаметр рабочего колеса, дм; х2 - двустороннее всасывание, без этого обозначения - одностороннее всасывание; I, II - номера аэродинамической схемы.

Таблица 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 12-50/2	12	0,49(50)	3000	3,6	-
Кс 12-110/4	12	1,08(110)	3000	8,5	-
Кс 20-50-2	20	0,49(50)	3000	5,0	-
Кс 20-110/4	20	1,08(110)	3000	12,5	-
Кс 32-150/6	32	1,47(150)	3000	19,8	-
Кс 50-110	50	1,08(110)	1500	23,8	-
Кс 50-110-1				22,3	-
КсА 1500-240 КсА 1500-240-2 (ЦН 1500-240)*	1500	2,35(240)	3000	1141-1190	-
КсА 1500-240-2	1850	1,67(170)	3000	998-1060	-
КсВ 125-55	125	0,54(55)	3000	23,4	-
КсВ 125-140		1,37(140)		62	-
КсВ 200-220-2, КсВА 200-220	200	2,16(220)	1500	154-164	3
КсВ 320-210, КсВА 320-210	320	2,06(210)	1500	229	2,13
КсВ 360-160, КсВА 360-160	360	1,57(160)	1500	196-210	2,15
КсВ 500-85	500	0,83(85)	1000	154	3,8
КсВ 500-150 (16 КсВ 11х4)*	500	1,47(150)	1500	272	3,75
КсВ 500-220-2, КсВА 500-220 (16 КсВ 10х5)*	500	2,16(220)	1500	375-400	3,75
КсВ 630-125, КсВА 630-125	630	1,22(125)	1500	266-287	-
КсВА 650-135	650	1,32(135)	1500	272	-
КсВА 700-180	700	1,76(180)	1500	404	-
КсВ 900-180	900	1,76(180)	1500	509	-
КсВ 1000-95	1000	0,93(95)	1500	342	6,6
КсВА 1000-190/220	1000	1,86(190)/2,16(220)	1500	680/759	-
КсВА 1000-190	1040	1,86(190)	1500	632	-
КсВ 1000-220, КсВА 1000-220	1000	2,16(220)	1500	742-760	-

Окончание таблицы П4.7

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
ЦН 1000-220 Кс 1000-220	1000	2,06(210)	3000	750	0,9
ЦН 1600-220 Кс 1600-220	1600	2,16(220)	3000	1170	3

*В скобках указаны применявшиеся ранее типы насосов.

Примечание. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: ЦН - центробежный насос; КсВ - конденсатный вертикальный насос с односторонним расположением колес (с буквой А - для АЭС); КсД - конденсатный горизонтальный насос двойного всасывания; первая группа цифр - подача, м^3/ч; вторая - напор, м; /2, /3, /4, /6 - количество ступеней насосов.

Таблица П4.8

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 (20Д-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

Окончание таблицы П4.8

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, 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-I9)	4000	0,2I6 (22)	600	295	2I,25
Д5000-32 (24НДа)	5000	0,3I4 (32)	750	320	2I,3
Д6300-27 (32Д-I9)	6300	0,265 (27)	750	590	2I,3
Д6300-80 (24НДс)	6300	0,785 (80)	750	I600	55
Д3200-20 (24НДа)	3200	0,I96 (20)	600	-	2I,3
Д5000-50 (24НДс)	5000	0,49 (50)	600	I54	55
ЦН400-I05 (3В-200х2)	400	I,03 (I05)	I500	I77	7,5
ЦН400-2I0 (3В-200х4)	400	2,06 (2I0)	I500	288	9,5
ЦНI000-I80 (I0НМКх2)	I000	I,76 (I80)	I500	625	7,5

Примечания: I. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: Д - центробежный насос двустороннего входа: ЦН - центробежный насос; первая группа цифр - подача, м^3/ч; вторая - напор, м.-2. В скобках указаны применявшиеся ранее типы центробежных насосов, в которых по порядку первая группа цифр (I0-32) - диаметр напорного патрубка, мм, уменьшенный в 25 раз; буквы НМК - насос многоступенчатый с горизонтальным разъемом корпуса, К - Катайский насосный завод; НДа, 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 I0 раз и округленный (6 и I9).

Таблица П4.9

Технические данные питательных насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, м^3/ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ПЭ-50-I70	50	I7,47(I78I)	3000	555	9,5
ПЭ-65-40/53	65	4,32(440)/5,69(580)	3000	I08/I43	-
ПЭ-65-42-2	65	4,32(440)	3000	I06-I20	I,28
ПЭ-65-45	65	4,32(440)	3000	I08	-
ПЭ-65-53	65	5,69(580)	3000	I40-I43	-
ПЭ-65-56	65	5,69(580)	3000	I43-I60	I,4
ПЭ-65-56-2	65	5,69(580)	3000	I43-I60	I,38
ПЭ-I00-53	I00	5,69(580)	3000	206-2I0	I,8
ПЭ-I00-56	I00	5,69(580)	3000	2I0-240	I,88
ПЭ-I00-56-2	I00	5,69(580)	3000	2I0	I,55
ПЭ-I50-53	I50	5,69(580)	3000	30I-305	I,8

Продолжение таблицы П4.9

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

Окончание таблицы П4.9

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, м^3/ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
ЦЭ-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-630-85	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 гидромуфта плюс редуктор)
5ЦІО	270	14,7(1500)	3000	1800	3,5

Примечание. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр:
ПЭ-500-185-2 - ПЭ - питательный электронасос; первые три цифры (500) - номинальное значение подачи м^3/ч: последующие три цифры (185) - давление, развиваемое насосом при номинальных подаче, частоте вращения и рабочей температуре жидкости, МПа (кгс/см^2); 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/см^2; последующие три цифры (550) - подача, м^3/ч; ПД-650-160 - П - предвключенный питательный горизонтальный, одноступенчатый насос, спирального типа; Д - с рабочим колесом двустороннего всасывания; первые три цифры (650) - подача, м^3/ч; последующие три цифры (160) - напор, м; 5ЦІО - Ц - центробежный многоступенчатый насос секционного типа; 10 - количество рабочих колес.

Таблица П4.10

Технические данные сетевых насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, $кг \cdot м^2$
	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 800-55-6	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 СДН0х2)	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	-

Окончание таблицы П4.I0

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, м^3/ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
СЭ I250-I00	I250	0,98(I00)	I500	370	-
СЭ I250-I00-5 СЭ I250-I00-I6	I250	0,98(I00)	3000	370	-
СЭ I250-I40 (I4 СДНОх2)	I250	I,37(I40)	I500	580	3,63
СЭ I250-I40-8	I250	I,37(I40)	3000	5I8	-
СЭ I250-I40-II СЭ I250-I40-I6	I250	I,37(I40)	I500	5I8	-
СЭ-I600-50	I600	0,49(50)	I500	234	-
СЭ I600-80	I600	0,785(80)	I500	388	-
СЭ 2000-I00	2000	0,98(I00)	3000	640	-
СЭ 2000-I40	2000	I,37(I40)	3000	8I0	-
СЭ 2500-60 (24 СД-I5)	2500	0,588(60)	I500	475	3,45
СЭ 2500-60-5	2500	0,588(60)	I500	475	3,45
СЭ 2500-60-II СЭ 2500-60-25	2500	0,588(60)	I500	422	-
СЭ 2500-I00-25	2500	0,98(I00)	I500	-	-
СЭ 2500-I80 (I8 СД-I3)	2500	I,76(I80)	3000	I460	I,98
СЭ 2500-I80-5 СЭ 2500-I80-I0 СЭ 2500-I80-I6	2500	I,76(I80)	3000	- I380 -	- -
СЭ 2500-I80-25	2500	I,76(I80)	3000	-	-
СЭ 3200-70	3200	0,687(70)	I500	672	-
СЭ 3200-I00	3200	0,98(I00)	I500	898	-
СЭ 3200-I60	3200	I,57(I60)	3000	I530	-
СЭ 5000-70 СЭ 5000-70-5	5000	0,687(70)	I500	I095	4,95
СЭ 5000-70-6 СЭ 5000-70-I0 СЭ 5000-70-I6	5000	0,687(70)	I500	I035-I090	-
СЭ 5000-I00 СЭ 5000-I00-25	5000	0,98(I00)	I500	I340	-
СЭ 5000-I60 СЭ 5000-I60-8	5000	I,57(I60)	3000	2350-2500	3,88
СЭ 5000-I60-I6 СЭ 5000-I60-25	5000	I,57(I60)	3000	2275	-

Примечание. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: СЭ - сете-

вой, горизонтальный насос с приводом от электродвигателя для подачи воды в теплофикационную сеть; первая группа цифр - номинальное значение подачи, $м^3/ч$; 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, $кгс/см^2$. 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.

Таблица П4.11

Технические данные циркуляционных насосов

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, $кг \cdot м^2$
	Подача, тыс. $м^3/ч$	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
600В-1,6/100А (28В-12)	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-12)	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-16)	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
ОПВ3-110	17,9-19,15	0,154-0,228(15,4-22,8)	600	905-1368	150
ОПВ3-185	50,4	0,192 (19,2)	375	-	1000
ОПВ5-87	11,5 12,0	0,097 (9,7) 0,11 (11)	600	423	25
ОПВ5-110	14,76-20,52	0,095-0,115(9,5-11,5)	500	477-750	150
ОПВ5-145	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
ОПВ6-110	18 13,3	0,075 (7,5) 0,042 (4,2)	500 375	487 241	150
ОПВ6-145	30,6 24,5	0,074 (7,4) 0,046 (4,6)	375 300	800 503	300
ОПВ6-185	44	0,055 (5,5)	300	908	1000
ОПВ10-145	33,5	0,17 (17)	375	1855	300
1200В-6,3/63А (52В-17)	21,2	0,59 (59)	375	3790-4180	1250-1375
1200В-6,3/100А (52В-11)	21,9	0,88 (88)	375	6150-7440	2125-2130

Окончание таблицы П4.II

Тип насоса	Номинальные параметры				Момент инерции, кг·м^2
	Подача, тыс. м^3/ч	Напор, МПа (м)	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт	
I600В-I0/40 (72В-22)	3I,4 29,7-3I,5	0,278 (27,8) 0,2I4-0,276(2I,4-27,6)	250	2750-3000 2060-2750	2450-2092
Д I2500-24 (48Д-22)	I2,5	0,236 (23,6)	500	9I4	I08-II2,5
48Д-22а	I0,0	0,I85 (I8,5)		586	
ОПВ2-87	I0,8 II,4	0,I36 (I3,6) 0,I4I (I4,I)	600	495	25
ОПВ2-II0	I5,84-I9,37	0,088-0,I53(8,8-I5,3)	500	474-9I6	I50
ОПВ2-I45	30,6-34,2	0,I47-0,I45(I4,7-I4,5)	375	I550	300
ОПВ2-I85	47,I-50,4	0,II7-0,I65(II,7-I6,5)	300	I720	I000
ОПВ3-87	II,7 I3,46	0,2I (2I) 0,2I (2I)	750	885	I42,5
ОПВI0-I85	64,I	0,23 (23)	375	4770	I000
ОПВI0-260Г	I3,3	0,26 (26)	250	III30	7500
ОПВII-I85	67,7	0,I8 (I8)	375	3890	I000
ОПВII-260Г	I45,8	0,I93 (I9,3)	250	8930	7500
ЦН 900/3I0 (I4MI2x4)	I,0I	2,94 (294)	I500		I3
96 ДПВ 4,5/23К	I3,3	0,2I (2I)	500	865 II60	-
I30 ДПВ 8/233Г	28,8	0,23 (23)	375	2200	-
I70 ДПВ I2/223Г	43,2	0,22 (22)	300	3500	-
220 ДПВ I6/I83Г	68,4	0,23 (23)	250	4930	-

Примечания: I. Обозначения типов насосов в порядке следования букв и цифр: цН 900/3I0 - центробежный, высоконапорный, четырехступенчатый с горизонтальным разъемом корпуса насос: 900 - подача, м^3/ч; 3I0 - напор, м; ОПВII-260Г - осевой поворотно-лопастной вертикальный насос, II(2-I0) - номер модели рабочего колеса, 260(87, II0, I45, I85) - диаметр рабочего колеса, см; Г - гидравлический привод разворота лопастей; 600В - I,6/I00А - 600 - диаметр напорного патрубка, мм; В - вертикальный; I,6 - подача перекачиваемой жидкости, м^3/с; I00 - напор, м; А - рабочее колесо, отличное от основного; Д I2500-24 - насос двустороннего всасывания, I2500 - подача, м^3/ч; 24 - напор, м.
2. В скобках указаны ранее применявшиеся типы насосов.

Таблица П4.12

Технические данные молотковых мельниц аксиального типа

Тип мельницы	Номинальные параметры			Момент инерции, кг·м^2
	Производительность, т/ч*	Частота вращения, об/мин	Потребляемая мощность, кВт**	
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

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

**Значения мощности зависят от вида топлива.

Примечание. 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.

Таблица 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

Примечание. Обозначения типов мельниц в порядке следования букв и групп цифр: МВ - мельницы-вентиляторы; диаметр ротора, мм; длина ротора, мм; номинальная частота вращения, об/мин.

Таблица П4.I4

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-I000/470-980М	3,3/I,9	I000	I3,4-I6,8	29,7
ММТ-I000/7I0/980М	5,0/2,9	I000	20,2-25,4	44,4
ММТ-I000/950/980М	6,5/3,9	I000	27,I-33,9	59,3
ММТ-I300/I3I0/740М	I0,8/8,0	750	53,7-67,3	I99,5
ММТ-I300/2030/735М	I6/9,4	750	83,2-I04,3	3I4
ММТ-I500/I9I0/740М	23,4/I3,4	750	I37-I7I,3	6I2,8
ММТ-I500/25I0/740М	30,6/I7,6	750	I80-225,7	842,5
ММТ-2000/2200/735	22	750	394-494,0	I440
ММТ-2000/2590/730	60	750	-	I775
ММТ-2600/2550/590К	50	600	-	4734
ММТ-2000/2600/590К	24	600	294,5-367	I7I8,8
ММТ-2600/3360/590	70	600	I028-I288	438I,5

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

**Значения мощности зависят от вида топлива.

Примечание. 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.

Таблица П4.I5

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	I000	899	400 / 2I75*
ВТ-I74-7К	990	I000	I076	400 / 2I75*
ВТ-I8-I9/8К	I490	750	I620	875 / 2750*
ВТ-2I/22-6К	2770	500	30II	875 / 2750*
ГПС 700-900	480	I000	5I9	875 / 2750*
ГПС 900-I000	555	I000	602	I87,5
ГПС 2000-I000	I0I0 / 900	I000	IIII0/989	750 / I800*

Окончание таблицы П4.15

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

*Момент инерции маховика.

Примечание. Обозначение типов механизмов: ГПС - генератор постоянного тока специального назначения, первая группа цифр - модельная мощность, кВт, вторая - частота вращения, об/мин; ВТ - 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).

Приложение 5

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Таблица П5.1

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
ТРДЦН-63000/220	63	230	6,3-6,3	12,2	345	137	4
ТРДЦН-32000/330	32	330	6,3-6,3	-	-	-	-
ТРДЦН-40000/330	40	330	6,3-6,3	-	-	-	-

Примечание. Напряжение короткого замыкания трансформаторов с расщепленной обмоткой низкого напряжения дано для параллельного включения ее ветвей и отнесено к полной мощности обмотки высокого напряжения.

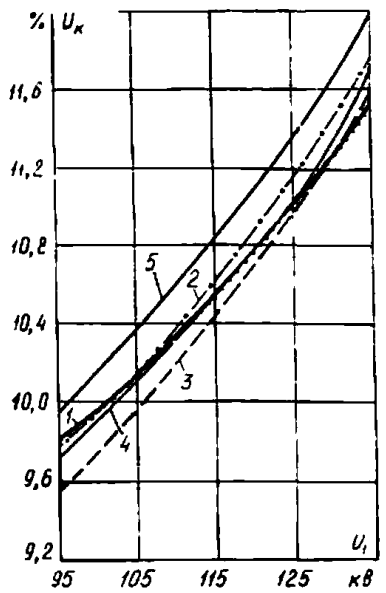


Рис.П5.1. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 110 кВ (данные ВГНИИ "Теплоэлектропроект"):

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

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

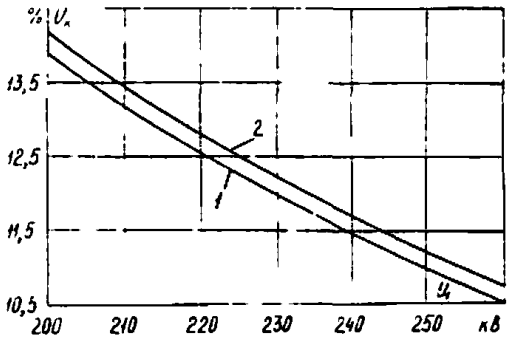


Рис.П5.2. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 220 кВ (данные ВГНИИ "Теплоэлектропроект"):

1 - трансформатор ТРДНГ-32000/220;
2 - трансформатор ТРДЦНГ-63000/220.

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

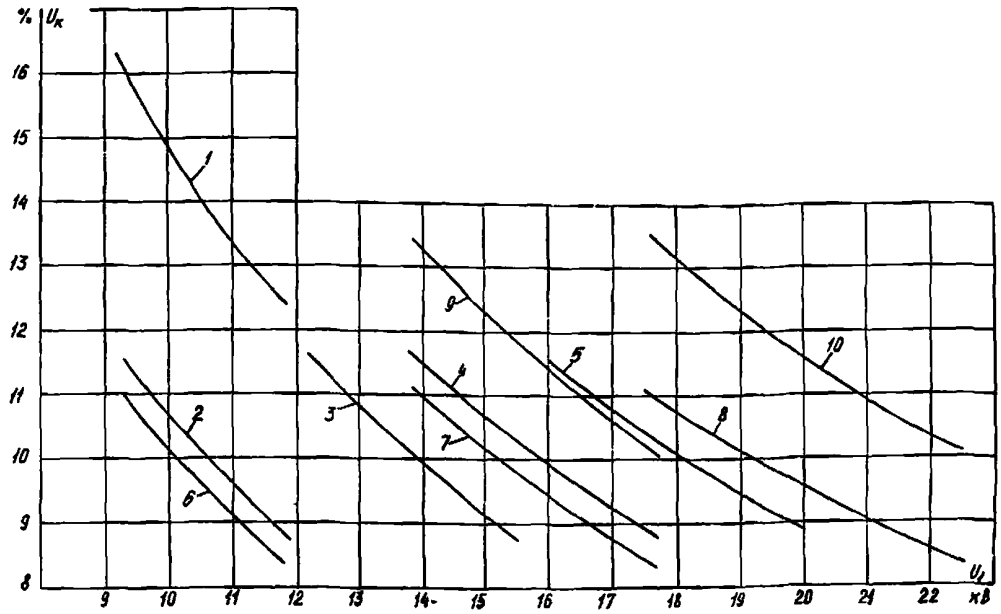


Рис.П5.3. Ориентировочные кривые зависимости напряжения короткого замыкания от номинального напряжения ответвления для трансформаторов с РПН класса напряжения 35 кВ (данные ВНИИПИ "Теплоэлектропроект"):

1 - ТДНС-10000/35; 10,5 ±8 х 1,5% / 6,3;
2 - ТДНС-16000/35; 10,5 ±8 х 1,5% / 6,3;
3 - ТДНС-16000/35; 13,8 ±8 х 1,5% / 6,3;
4 - ТДНС-16000/35; 15,75 ±8 х 1,5% / 6,3;
5 - ТДНС-16000/35; 18 ±8 х 1,5% / 6,3;
6 - ТРДНС-25000/10УI; 10,5 ±8 х 1,5% / 6,3-6,3;
7 - ТРДНС-25000/35УI; 15,75 ±8 х 1,5% / 6,3-6,3;
8 - ТРДНС-25000/35УI; 20 ±8 х 1,5% / 6,3-6,3;
9 - ТРДНС-32000/35УI; 15,75 ±8 х 1,5% / 6,3-6,3;
10 - {ТРДНС-32000/35УI; 20 ±8 х 1,5% / 6,3-6,3;
{ТРДНС-63000/35УI; 20 ±8 х 1,5% / 6,3 - 6,3.

Примечания: 1. Напряжения короткого замыкания трансформаторов отнесены к номинальному напряжению соответствующего ответвления РПН.-2. Указанные 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.

Приложение 6

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ

Таблица П6.I

Технические данные одинарных реакторов по ГОСТ I4794-79 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	I0-250-I,00 У2	I,00	I,8	250
РБ; РБУ; РБГ	I0-250-I,40 У2	I,40	2,0	250
РБ; РБУ; РБГ	I0-250-2,00 У2	2,00	2,5	250
РБ; РБУ; РБГ	I0-250-2,50 У2	2,50	3,3	250
РБ; РБУ; РБГ	I0-400-0,35 У3	0,35	I,6	400
РБ; РБУ; РБГ	I0-400-0,45 У3	0,45	I,9	400
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,25 У3	0,25	2,5	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,40 У3	0,40	3,2	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,56 У3	0,56	4,0	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,I4 У3	0,I4	3,5	I000
РБ; РБУ	I0-I000-0,22 У3	0,22	4,4	I000
РБГ	I0-I000-0,22 У3	0,22	4,4	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,28 У3	0,28	5,2	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,35 У3	0,35	5,9	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,45 У3	0,45	6,6	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,56 У3	0,56	7,8	I000
РБ; РБУ	I0-I600-0,I4 У3	0,I4	6,I	I600
РБГ	I0-I600-0,I4 У3	0,I4	6,I	I600
РБ; РБУ	I0-I600-0,20 У3	0,20	7,5	I600
РБГ	I0-I600-0,20 У3	0,20	7,5	I600
РБ; РБУ; РБГ	I0-I600-0,25 У3	0,25	8,3	I600
РБ; РБУ; РБГ	I0-I600-0,35 У3	0,35	II,0	I600
РБД; РБДУ	I0-2500-0,I4 У3	0,I4	II,0	2I50
РБГ	I0-2500-0,I4 У3	0,I4	II,0	2500
РБД; РБДУ	I0-2500-0,20 У3	0,20	I4,0	2I50
РБГ	I0-2500-0,20 У3	0,20	I4,0	2500
РБДГ	I0-2500-0,25 У3	0,25	I6,I	2I50
РБДГ	I0-2500-0,35 У3	0,35	20,5	2000
РБДГ	I0-400С-0,I0 У3	0,I0	I8,5	3750
РБДГ	I0-4000-0,I8 У3	0,I8	27,7	3200

Таблица П6.2

Технические данные сдвоенных реакторов по ГОСТ 14794-79 климатического исполнения У3, Т3

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Индуктивное сопротивление обеих ветвей последовательно X_C, Ом	Индуктивное сопротивление каждой ветви при встречных токах $X_{0,5}$, Ом	Номинальный коэффициент связи	Номинальные потери мощности на фазу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,25 У3	0,25	0,73	0,135	0,46	4,8	2х630
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,40 У3	0,40	1,20	0,200	0,50	6,3	2х630
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,56 У3	0,56	1,71	0,263	0,53	7,8	2х630
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х1000-0,14 У3	0,14	0,42	0,071	0,49	6,4	2х1000
РБС; РБСУ	10-2х1000-0,22 У3	0,22	0,67	0,103	0,53	8,4	2х1000
РБСГ	10-2х1000-0,22 У3	0,22	0,67	0,103	0,53	8,4	2х1000
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х1000-0,28 У3	0,28	0,86	0,132	0,53	10,0	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,35 У3	0,35	1,08	0,159	0,55	11,5	2х960
РБСГ	10-2х1000-0,35 У3	0,35	1,08	0,159	0,55	11,5	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,45 У3	0,45	1,34	0,230	0,49	13,1	2х960
РБСГ	10-2х1000-0,45 У3	0,45	1,34	0,230	0,49	13,1	2х1000
РБСД; РБСДУ	10-2х1000-0,56 У3	0,56	1,68	0,280	0,50	15,7	2х900
РБСГ	10-2х1000-0,56 У3	0,56	1,68	0,280	0,50	15,7	2х1000
РБС; РБСУ	10-2х1600-0,14 У3	0,14	0,44	0,062	0,56	11,5	2х1600
РБСГ	10-2х1600-0,14 У3	0,14	0,44	0,062	0,56	11,5	2х1600
РБСД; РБСДУ	10-2х1600-0,20 У3	0,20	0,60	0,098	0,51	14,3	2х1420
РБСГ	10-2х1600-0,20 У3	0,20	0,60	0,098	0,51	14,3	2х1600
РБСД; РБСДУ	10-2х1600-0,25 У3	0,25	0,76	0,119	0,52	16,7	2х1350
РБСДГ	10-2х1600-0,25 У3	0,25	0,76	0,119	0,52	16,7	2х1500
РБСДГ	10-2х1600-0,35 У3	0,35	1,07	0,197	0,46	22,0	2х1470
РБСДГ	10-2х2500-0,14 У3	0,14	0,43	0,067	0,52	22,5	2х2100
РБСДГ	10-2х2500-0,20 У3	0,20	0,58	0,109	0,46	32,1	2х1800
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,25 Т3	0,25	0,76	0,135	0,46	6,4	2х630
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,40 Т3	0,40	1,20	0,200	0,50	8,3	2х630
РБС; РБСУ; РБСГ	10-2х630-0,56 Т3	0,56	1,62	0,316	0,44	10,0	2х630

Таблица П6.3

Технические данные одинарных реакторов по ГОСТ 14794-79 климатического исполнения Т3

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 Т3	1,00	1,8	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-1,40 Т3	1,40	2,0	250
РБ; РБУ; РБГ	10-250-2,00 Т3	2,0	2,6	250

Окончание таблицы П6.3

Тип реактора		Номинальное индуктивное сопротивление, Ом	Номинальные потери мощности на фазу, кВт	Длительно допустимый ток при естественном охлаждении, А
РБ; РБУ; РБГ	I0-250-2,50 Т3	2,50	3,5	250
РБ; РБУ; РБГ	I0-400-0,35 Т3	0,35	I,9	400
РБ; РБУ РБГ	I0-400-0,45 Т3	0,45	2,5	400
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,25 Т3	0,25	2,5	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,40 Т3	0,40	3,4	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-630-0,56 Т3	0,56	3,8	630
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,I4 Т3	0,I4	3,4	I000
РБ; РБУ	I0-I000-0,22 Т3	0,22	4,8	I000
РБГ	I0-I000-0,22 Т3	0,22	4,8	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,28 Т3	0,28	5,3	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,35 Т3	0,35	6,I	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,45 Т3	0,45	7,0	I000
РБ; РБУ; РБГ	I0-I000-0,56 Т3	0,56	7,9	I000
РБ; РБУ	I0-I600-0,I4 Т3	0,I4	7,6	I600
РБГ	I0-I600-0,I4 Т3	0,I4	7,6	I600
РБ; РБУ	I0-I600-0,20 Т3	0,20	9,3	I600
РБГ	I0-I600-0,20 Т3	0,20	9,3	I600
РБ; РБУ; РБГ	I0-I600-0,25 Т3	0,25	I0,5	I600
РБ; РБУ; РБГ	I0-I600-0,35 Т3	0,35	I3,8	I600
РБГ	I0-2500-0,I4 Т3	0,I4	I7,0	2500
РБГ	I0-2500-0,20 Т3	0,20	20,5	2500
РБДГ	I0-2500-0,25 Т3	0,25	22,5	2400
РБДГ	I0-2500-0,35 Т3	0,35	30,5	2300
РБДГ	I0-4000-0,I05 Т3	0,I05	26,5	3700
РБДГ	I0-4000-0,I8 Т3	0,I8	36,0	3500

Таблица П6.4

Технические данные одинарных и сдвоенных реакторов по ГОСТ I4794-79 климатического исполнения УI

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 I0-I000-0,45 УI	0,45	-	-	-	7,4
РБГ I0-I000-0,56 УI	0,56	-	-	-	8,5
РБГ I0-I600-0,25 УI	0,25	-	-	-	I0,I
РБГ I0-I600-0,35 УI	0,35	-	-	-	I3,I
РБГ I0-2500-0,I4 УI	0,I4	-	-	-	I3,8
РБГ I0-2500-0,20 УI	0,20	-	-	-	I6,8
РБГ I0-2500-0,25 УI	0,25	-	-	-	20,0
РБГ I0-2500-0,35 УI	0,35	-	-	-	24,2
РБСТ I0-2xI000-0,45 УI	0,45	I,30	0,25	0,44	I5,6
РБСТ I0-2xI000-0,56 УI	0,56	I,58	0,33	0,4I	I7,8
РБСТ I0-2xI600-0,25 УI	0,25	0,75	0,I2	0,5I	22,4
РБСТ I0-2x2500-0,I4 УI	0,I4	0,45	0,06	0,60	29,6

Приложение 7

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:

$$\mathring{E} = (k_1, k_2 \dots k_n) E \; ; \qquad (П7.1)$$

$$\mathring{U} = (k_1, k_2 \dots k_n) U \; ; \qquad (П7.2)$$

$$\mathring{I} = I / (k_1, k_2 \dots k_n) ; \qquad (П7.3)$$

$$\mathring{Z} = Z (k_1, k_2 \dots k_n)^2 , \qquad (П7.4)$$

где $\mathring{E}, \mathring{U}, \mathring{I}, \mathring{Z}$ - 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

$$Z = Z_{*ном} U_{ном} / (\sqrt{3} I_{ном}) =$$

$$= Z_{*ном} U^2_{ном} / S_{ном} , \qquad (П7.5)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение элемента внешней сети, В; $I_{ном}$ - номинальный ток элемента внешней сети, А; $S_{ном}$ - номинальная полная мощность, В·А; $Z_{*ном}$ - 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:

$$\mathring{E} = U_{ср.о} E / U_{ср} \; ; \qquad (П7.6)$$

$$\mathring{U} = U_{ср.о} U / U_{ср} \; ; \qquad (П7.7)$$

$$\mathring{I} = U_{ср} I / U_{ср.о} \; ; \qquad (П7.8)$$

$$\mathring{Z} = Z (U_{ср.о} / U_{ср})^2 , \qquad (П7.9)$$

где $U_{ср}$ - среднее номинальное напряжение ступени, на которой находится элемент; $U_{ср.о}$ - 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 общеизвестной 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:

$$R_л = R_0 \ell \; ; \qquad (П7.10)$$

$$X_л = X_0 \ell \; , \qquad (П7.11)$$

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

Удельное активное сопротивление линии рассчитывается по формуле

$$R_0 = 10^3/(\gamma q) , \qquad (П7.12)$$

где q - сечение провода, $м^2$; γ - удельная электрическая проводимость материала, МСм/м (для меди γ = 53 МСм/м, для алюминия γ = 32 МСм/м).

Удельное индуктивное сопротивление линии определяется по формуле

$$X_0 = 314 \left[4{,}6 \lg (D_{ср}/r) + 0{,}5\right] 10^{-4} , \qquad (П7.13)$$

где r - внешний радиус провода, см (мм); $D_{ср}$ - среднегеометрическое расстояние между проводами линии, см (мм).

Среднегеометрическое расстояние между проводами линии трехфазного переменного тока вычисляется по формуле

$$D_{ср} = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} \; , \qquad (П7.14)$$

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

$$r = r_э = \sqrt{r\, a_{ср}^{n-1}} \; , \qquad (П7.15)$$

где $r_э$ - радиус эквивалентного провода, см (мм); n - количество проводов в одной фазе линии, шт.; $a_{ср}$ - среднегеометрическое 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 шинопровода рассчитывается по формуле (П7.12).

Удельное индуктивное сопротивление шинопровода определяется по формуле:

$$X_0 = 145\ 10^{-6} \lg \left[D_{ср} / (0{,}25\, h) \right] , \qquad (П7.16)$$

где h - высота сечения профиля шин, см (мм);

$D_{ср}$ - среднегеометрическое расстояние между отдельными фазами шин, см (мм).

Токоограничивающие реакторы. Активное сопротивление одинарного токоограничивающего реактора рассчитывается по формуле

$$R_р = \Delta P_к\ 10^3 / (3 I^2_{ном.р}) , \qquad (П7.17)$$

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

Индуктивное сопротивление одинарного токоограничивающего реактора вычисляется по формуле

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

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

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

Индуктивные сопротивления сдвоенного 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

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

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

$$X_в = -K_{св}\, X_р ; \qquad (П7.20)$$

$$X_1 = X_2 = (1 + K_{св})\, X_р ; \qquad (П7.21)$$

для продольного режима работы по формуле

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

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

$$R_т = \Delta P_к\, U^2_{ном}\, 10^3 / S^2_{ном} , \qquad (П7.23)$$

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

Полное сопротивление трансформатора, Ом, рассчитывается по формуле

$$Z_т = U_к\, U^2_{ном}\, 10 / S_{ном} , \qquad (П7.24)$$

где $U_к$ - напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Индуктивное сопротивление трансформатора вычисляется по формуле

$$X_т = \sqrt{Z_т^2 - R_т^2} \qquad (П7.25)$$

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

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

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

Индуктивные сопротивления эквивалентной схемы замещения определяются по формулам:

$$X_в = X_{ВН}\left[1 + K_р/(2n)\right]; \qquad (П7.26)$$

$$X_{н1} = X_{н2} = X_{ВН} K_р/2 , \qquad (П7.27)$$

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

$$K_р = U_{к(н1\text{-}н2)}/U_{к\,В(н1\text{-}н2)}, \qquad (П7.28)$$

где $U_{к.В(н1\text{-}н2)}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора при соединенных параллельно и замкнутых накоротко ветвях расщепленной обмотки, отнесенное к полной мощности обмотки высокого напряжения трансформатора, %; $U_{к(н1\text{-}н2)}$ - 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 $U_{к.В(н1\text{-}н2)}$ 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 $K_р$ = 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):

$$R_в = 0{,}5\, R_{ВН}\,; \qquad (П7.29)$$

$$R_1 = R_2 = 2R_в = R_{ВН} \qquad (П7.30)$$

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

$$R_в = R_с = R_н = \Delta P_к U^2_{ном}\, 10^3/(2S^2_{ном}), \qquad (П7.31)$$

где $R_в$, $R_с$, $R_н$ - активные сопротивления соответственно обмоток высокого, среднего, низкого напряжений, Ом.

При соотношении мощностей обмоток 100/100/66,7 % активные сопротивления схемы замещения $R_в$ и $R_с$ определяются по формуле (П7.31), а сопротивление $R_н$ рассчитывается по формуле

$$R_н = 1{,}5\, R_в \qquad (П7.32)$$

При соотношении мощностей обмоток трансформатора 100/66,7/100 % активные сопротивления $R_в$ и $R_н$ вычисляются по формуле (П7.31), а сопротивление $R_с$ - по формуле (П7.32).

В каталогах на трансформаторы даются либо три значения потерь активной мощности при коротком замыкании $\Delta P_{к.в-с}$, $\Delta P_{к.в-н}$, $\Delta P_{к.с-н}$, либо одно значение максимальных потерь $\Delta P_к$, 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 $\Delta P_к$ принимает значения, рассчитываемые по формулам:

$$\Delta P_{к.в} = 0{,}5\left(\Delta P_{к.в-с} + \Delta P_{к.в-н} - \Delta P_{к.с-н}\right); \quad (П7.33)$$

$$\Delta P_{к.с} = 0{,}5\left(\Delta P_{к.в-с} + \Delta P_{к.с-н} - \Delta P_{к.в-н}\right); \quad (П7.34)$$

$$\Delta P_{к.н} = 0{,}5\left(\Delta P_{к.в-н} + \Delta P_{к.с-н} - \Delta P_{к.в-с}\right), \quad (П7.35)$$

где $\Delta P_{к.в-с}$ - потери мощности короткого замыкания трансформатора при замкнутой накоротко обмотке среднего напряжения и разомкнутой обмотке низкого напряжения, кВт; $\Delta P_{к.в-н}$ - потери мощности короткого замыкания трансформатора при разомкнутой обмотке среднего напряжения и замкнутой накоротко обмотке низкого напряжения, кВт; $\Delta P_{к.с-н}$ - потери мощности короткого замыкания при замкнутой накоротко обмотке низкого напряжения и разомкнутой обмотке высокого напряжения, кВт.

Полные сопротивления $Z_в$, $Z_с$, $Z_н$ эквивалентной схемы замещения трехобмоточного трансформатора определяются по формуле (П7.24), в которой напряжение короткого замыкания трансформатора $U_к$ принимает значения, рассчитываемые по формулам:

$$U_в = 0{,}5\left(U_{к.в-с} + U_{к.в-н} - U_{к.с-н}\right); \quad (П7.36)$$

$$U_с = 0{,}5\left(U_{к.в-с} + U_{к.с-н} - U_{к.в-н}\right); \quad (П7.37)$$

$$U_н = 0{,}5\left(U_{к.в-н} + U_{к.с-н} - U_{к.в-с}\right), \quad (П7.38)$$

где $U_{к.в-с}$, $U_{к.в-н}$, $U_{к.с-н}$ - напряжения короткого замыкания трансформатора соответственно: при замкнутой накоротко обмотке среднего напряжения и разомкнутой обмотке низкого напряжения; при замкнутой накоротко 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 $X_в$, $X_с$, $X_н$ схемы замещения трехобмоточного трансформатора вычисляются по формуле (П7.25), в которой сопротивление $Z_т$ принимает соответственно значения $Z_в$, $Z_с$, $Z_н$

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

Индуктивные сопротивления $X_в$, $X_с$, $X_н$ определяются, как и для трехобмоточных трансформаторов.

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

$$\Delta P_{к.в} = 0{,}5\left(\Delta P_{к.в-с} + \Delta P_{к.в-н} - \Delta P_{к.с-н}\right); \quad (П7.39)$$

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

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

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) $S_т$. 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:

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

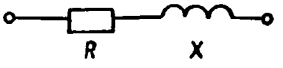
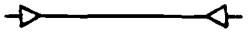
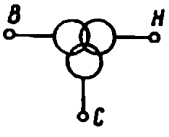
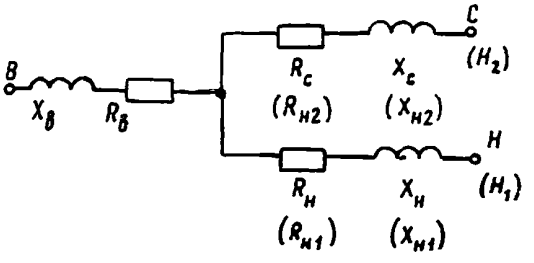
$$U_{к.в-н} = U'_{к.в-н} S_{ном} / S_т; \qquad (П7.43)$$

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

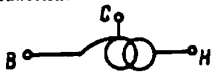
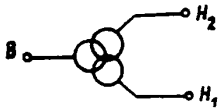
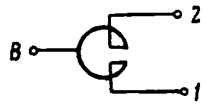
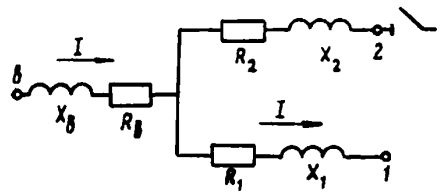
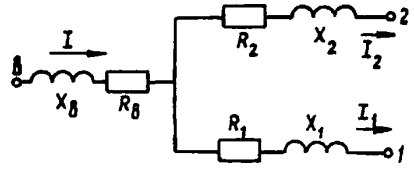
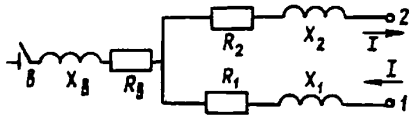
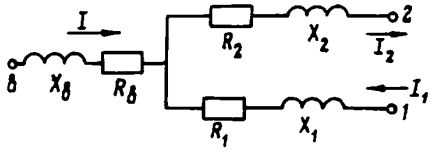
$$\Delta P_{к.в-н} = \Delta P'_{к.в-н} (S_{ном} / S_т)^2. \qquad (П7.45)$$

Таблица П7.I

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 	

Окончание таблицы 17.1

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)	

Приложение 8

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 $M_{дj}(n)$ и прямой $M_{д\,ср\,j}$ (рис.П8.1), а также площадей S_3 и S_4, ограниченных кривой $M_{cj}(n)$ и прямой $M_{с.ср\,j}$.

Площадь, ограниченная кривыми $M_{дj}(n)$, $M_{cj}(n)$ 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:

$$M_{д\,ср\,j} = \sum_{i}^{K} M_i \Delta n_i \; ; \qquad (П8.1)$$

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

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_{ci} - значения вращающего момента ЭД и момента сопротивления механизма в середине расчетного интервала, отн.ед.

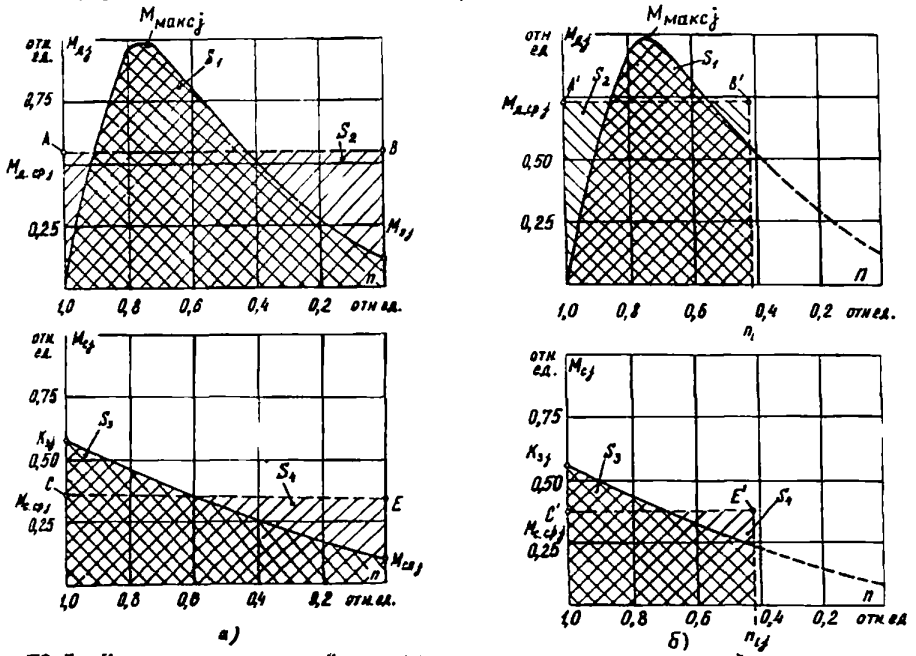


Рис.П8.1. Кривые зависимостей для определения средних значений момента вращения электродвигателей и момента сопротивления механизмов:

а - при пуске электродвигателя; *б* - при самозапуске электродвигателя

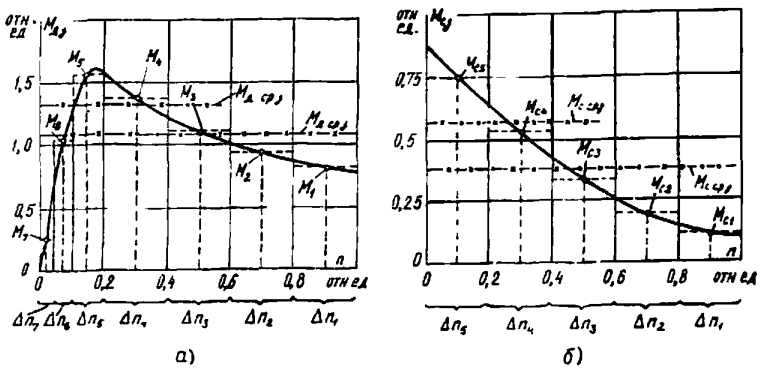


Рис.П8.2. Кривые зависимостей для определения площади, ограниченной кривыми $M_{дj}(n)$ [а] и $M_{cj}(n)$ [б]

Приложение 9

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

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.I), при известном значении напряжения, равном 6 II0 В, 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:

I. Количество пар полюсов ЭД питательного электронасоса (ПЭН) по формуле

$$p_j = \left[\frac{3000}{n_{ном\,j}}\right] = \left[\frac{3000}{2985}\right] = I,$$

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)

$$s_{ном\,j} = I - I \times 2985/3000 = 0{,}005 \text{ отн.ед.}$$

3. Критическое скольжение ЭД по (2)

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

Для группы ЭД рассчитывается:

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

$$K_U = 6II0/6000 = I{,}0I83 \text{ отн.ед.}$$

Вновь для каждого ЭД определяются:

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

$$n_{yj} = I + \sqrt{\left(\frac{2{,}6 \times I{,}0I83^2 \times 0{,}025}{0{,}76}\right)^2 - 0{,}025^2} - \frac{2{,}6 \times I{,}0I83^2 \times 0{,}025}{0{,}76} = 0{,}9964 \text{ отн.ед}$$

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

$$P_{Эj} = 0{,}76 \times 3200 \times I{,}0I83^2 \times I\text{C}0/0.9I5 = 2607{,}9 \text{ кВт.}$$

Примечание. Значение КПД электродвигателя принимается равным номинальному значению.

Таблица П9.I

Технические данные электродвигателей СН 6 кВ, подключенных к секции А

Наименование агрегата, тип механизма	Станционное обозначение агрегата	Тип электродвигателя	$P_{ном}$ кВт	$I_{ном}$ А	$\eta_{ном}$ %	$\cos\varphi_{ном}$ отн.ед.	$n_{ном}$ об/мин	$K_п$ отн.ед.	$M_п$ отн.ед.	$M_{макс}$ отн.ед.	$K_з$ отн.ед.	$J_{агр}$ кг·м^2
Питательный электронасос, ПЭ-380-I85	ПЭН-IА	2АЗМ-3200/6000У4	3200	348	96,7	0,9I5	2985	6,3	0,8	2,6	0,76	II3,5
Циркуляционный насос, ОПВ5-87К	ЦН-IА	АВ-I5-3I-I0	630	79	92,2	0,82	593	5,0	I,I	2,4	0,88	300
Дымосос, Д25 х 2ШБ	Д-IА	ДАЗО-I9I4-I0/I2	I500 850	204 II8	9I,0 90,5	0,77 0,75	597 497	5,5 6,I	0,9 I,0	2,5 2,5	0,69 -	58I2,5
Дутьевой вентилятор, ВДН-28,6Н-IIу	ДВ-IА	ДАЗО-I569-8/I0М	900 500	I07 64,5	92,5 9I,5	0,87 0,8I	744 595	6,4 5,9	I,0 I,0	2,9 2,6	0,68 -	3750
Молотковая мельница	ММТ-IБ ММТ-IВ	ДАЗО-I3-55-8М	400	50	92,5	0,84	740	6,5	I,4	2,6	0,37 0,38	934,5
Конденсатный насос, КсВ-320-I60	КН-IА	АВ-II3-4М	250	28,7	93,0	0,9	I480	6,3	I,3	3,0	0,7	I4,38

Таблица П9.2

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

Станционное 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, кВ·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)

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

8. Реактивная мощность рассеяния ЭД по (6а)

$$Q_{рj} = \sqrt{3} \times 348 \times 6000 \times 0{,}915 \frac{0{,}76^2}{1{,}0183^2} \times \frac{0{,}005}{0{,}025} \times 10^{-3} = 368{,}6 \text{ квар.}$$

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

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

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

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

11. Коэффициент мощности ЭД по (9)

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

12. Ток статора ЭД по (10)

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

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

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

Далее для каждого агрегата определяются:

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

$$T_{J\,ПЭН\text{-}1А} = \frac{4 \times II3,5 \times 2985^2}{364000 \times 3200} = 3,47 \text{ с};$$

$$T_{J\,ЦН\text{-}1А} = I,84 \text{ с}; \qquad T_{J\,Д\text{-}1А} = \frac{I5,I8^{*}}{I8,56} \text{ с}; \qquad T_{JДВ\text{-}1А} = \frac{25,35^{*}}{29,22} \text{ с};$$

$$T_{J\,ММТ\text{-}1Б,ММТ\text{-}1В} = I4,06 \text{ с}; \qquad T_{J\,КН\text{-}1А} = I,38 \text{ с}.$$

3. Значения частоты вращения при времени перерыва питания I,38 с**:

а) питательного насоса по (29) с расчетом коэффициентов $в_j$, $а_j$ по (2Iа), (2Iб) при допущении, что коэффициент загрузки ЭД по активной мощности $К_{Зоj}$ 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)

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

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

Время закрытия обратного клапана на линии напора насоса

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

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

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

---

*Над чертой для большей частоты вращения, под чертой для меньшей частоты вращения.

**Значение частоты вращения в установившемся режиме работы ЭД принимается по табл. П9.2.

б) конденсатного насоса аналогично п.3а

$$B_{КН-1А} = \frac{(0,7 - 0,4 \times 0,8^2)}{(1 - 0,8)} = 2,22;$$

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

$$T_{отк\,КН-1А} = \frac{1,38}{2,22} \ell n \left| \frac{-1,52 + 2,22}{-1,52 + 2,22 \times 0,8} \right| = 0,589 \text{ с.}$$

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

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

в) циркуляционного насоса по (26)

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

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

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

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

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

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.П9.3. Значение напряжения на шинах секции СН после отключения выключателя ввода рабочего питания, полученное экспериментальным путем, равно $E_{|0|} = 0,9$ 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 $\varepsilon_э = 0,0I$.

Для каждого ЭД определяются:

I. Время ускорения по (I5)

$$T_{ЭКН} = I4,38 \times 4 \times I480^2/(364000 \times 250) = I,384 \text{ с};$$

$$T_{ЭД} = I8,56 \text{ с}; \qquad T_{ЭДВ} = 3I,06 \text{ с}.$$

2. Номинальный коэффициент мощности по (42)

$$\cos\varphi_{ном.КН} = 250 \times I0^5/(\sqrt{3} \times 29 \times 6000 \times 93) = 0,892 \text{ отн.ед.};$$

$$\cos\varphi_{ном.Д} = 0,77 \text{ отн.ед.}; \qquad \cos\varphi_{ном.ДВ} = 0,829 \text{ отн.ед.}$$

3. Номинальная полная мощность по (43)

$$S_{п.ном.КН} = \sqrt{3} \times 29 \times 6000 \times I0^{-2} = 30I,4 \text{ кВ·А};$$

$$S_{п.ном.Д} = I226,3; \qquad S_{п.ном.ДВ} = 956,I \text{ кВ·А}.$$

4. Номинальное скольжение по (3)

$$S_{ном.КН} = I - I480/I500 = 0,0I33 \text{ отн.ед};$$

$$S_{ном.Д} = 0,006 \text{ отн.ед.}; \qquad S_{ном.ДВ} = 0,005 \text{ отн.ед.}$$

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

$$T_{э.КН} = 2 \times 2,4/\left[3I4(2 \times 2,4\sqrt{I - 0,892^2} - 0,892) \times 0,0I33\right] = 0,897 \text{ с};$$

$$T_{э.Д} = I,097 \text{ с}; \qquad T_{э.ДВ} = I,57 \text{ с}.$$

Далее определяются параметры эквивалентного ЭД (группы ЭД):

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

$$T_{\Sigma} = \frac{30I,4 \times 0,897 + I226,3 \times I,097 + 956,I \times I,57}{30I,4 + I226,3 + 956,I} = I,254 \text{ с}.$$

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

а) принимается произвольное значение времени группового выбега $t_{гр\,i} = 0,7$ 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 I:

Таблица П9.3

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.	$M_{п}$ отн.ед.	$K_{п}$ отн.ед.	$J_{агр}$ кг·м^2	$K_{з}$ отн.ед.
Конденсатный насос, КсВ-320-160	АВ-II3-4М	250	29	93	I480/I500	2,4	I,3	6,5	I4,38	0,862
Дымосос Д25х2ШБ	ДАЗО I9I4-IO/I2А	850	II8	90	497/500	2,5	I,0	5,5	58I2	I,3
Дутьевой вентилятор, ВДН-28,6Н-IIу	ДАЗО2 I876-8/IOУI	725	92	9I,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)

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

частота вращения дымососа и дутьевого вентилятора по (26) при допущении, что момент сопротивления механизмов рассчитывается по (I8)

$$n_{д} = I/(0,7 \times I,3/I8,56 + I) = 0,953 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{дв} = I/(0,7 \times 0,63/3I,06 + I) = 0,986 \text{ отн.ед.};$$

в) рассчитывается эквивалентная частота вращения по (46)

$$n_{гр} = I - \frac{I,384x250x(I-0,73) + I8,56x850x(I-0,953) + 3I,06x725x(I-0,986)}{I,384x250 + I8,56x850 + 3I,06x725} = 0,97 \text{ отн.ед.};$$

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

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

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

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

Условие (50) не выполнено. Принимается новое значение времени группового выбега по (5I) и выполняется расчет по п.7б до тех пор, пока не будет выполнено условие (50). Условие (50) будет выполнено при $t_{гр} = I,5I$ с и $n_{гр} = 0,934$.

Затем для каждого ЭД определяются:

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

$$T_{ф.кн} = \left[(I^2 - 0{,}934^2)/(I^2 \times 0{,}934^2)\right] \times I{,}384/(2 \times 0{,}862) = 0{,}II7 \text{ с};$$

дымососа и дутьевого вентилятора по (35)

$$T_{ф.д} = \left[(I - 0{,}934)/0{,}934\right] \times I8{,}56/I{,}3 = I{,}0I \text{ с};$$

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

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

$$T_{п.кн} = 5{,}63 - I{,}5I + 0{,}II7 = 4{,}24 \text{ с};$$

$$T_{п.д} = 5{,}63 - I{,}5I + I{,}0I = 5{,}I3 \text{ с};$$

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

I0. Частота вращения по одной из формул, представленных в табл.I, в момент времени 5,63 с, при этом t принимается равным T_{nj} :

конденсатного насоса по (28)

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

дымососа и дутьевого вентилятора по (26)

$$n_{д} = I/(I + 5{,}I3 \times I{,}3/I8{,}56) = 0{,}735 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{дв} = I/(I + 7{,}6 \times 0{,}63/3I{,}06) = 0{,}866 \text{ отн.ед.}$$

Пример 4.

Выполнить оценку успешности группового самозапуска трех ЭД, технические данные которы представлены в табл. П9.3, от резервного источника питания через внешнее сопротивление 0,275 Ом. Напряжение источника питания равно I,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 (I8);

коэффициенты загрузки $K_з$ 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:

I. Номинальное скольжение по (3)

$$s_{ном.кн} = I - I480/I500 = 0{,}0I33 \text{ отн.ед.};$$

$$s_{ном.д} = 0{,}006 \text{ отн.ед.}; \qquad s_{ном.дв} = 0{,}0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

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

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

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), дымососа 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):

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

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

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

$$M^{U_{ном}}_{кл.д} = 0{,}1449 \text{ отн.ед.}; \qquad M^{U_{ном}}_{доп.д} = 0{,}8551 \text{ отн.ед.}; \qquad M^{U_{ном}}_{д.д} = 1{,}0 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{кл.дв} = 0{,}2339 \text{ отн.ед.}; \qquad M^{U_{ном}}_{доп.дв} = 0{,}6661 \text{ отн.ед.}; \qquad M^{U_{ном}}_{д.дв} = 0{,}9 \text{ отн.ед.}$$

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

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

$$K_{R\,д} = 5{,}51 \text{ отн.ед.}; \qquad K_{R\,дв} = 2{,}566 \text{ отн.ед.}$$

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

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

$$K_{п.д} = 5{,}5 \text{ отн.ед.}; \qquad K_{п\,дв} = 6{,}5 \text{ отн.ед.}$$

9. Полная электрическая проводимость ЭД по (6I):

$$\gamma_{кн} = \sqrt{3} \times 29/6000 = 0{,}0544 \text{ См}; \qquad \gamma_{д} = 0{,}I87 \text{ См}; \qquad \gamma_{дв} = 0{,}I72 \text{ См}.$$

Далее для группы ЭД определяются:

I0. Суммарная электрическая проводимость по (62)

$$\gamma_{\Sigma} = 0{,}0544 + 0{,}I87 + 0{,}I72 = 0{,}4I4 \text{ См}.$$

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

$$U_{сз} = I{,}03/(I + 0{,}4I4 \times 0{,}275) = 0{,}924 \text{ отн.ед}.$$

I2. 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 I,I5); это указывает на то, что данное начальное напряжение достаточно для успешного самозапуска.

Таблица П9.4

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

n	$M^{\bar{U}_{ном}}_{д.кн}$	$M^{U}_{д.кн}$	$M_{с.кн}$	$K^{*}_{зап}$	$K_з M_{с.кн}$
0	I,3	I,II	0	∞	0
0,05	I,288	I,II	0,000046	24I30	0,00053
0,I	I,277	I,09	0,000368	2962	0,00042
0,I5	I,267	I,08	0,00I24	87I	0,00I43
0,2	I,258	I,07	0,00294	364	0,00338
0,25	I,25I	I,068	0,00575	I85,7	0,0066
0,3	I,247	I,065	0,00994	I07	0,0II43
0,35	I,246	I,064	0,0I57	67,8	0,0I8
0,4	I,247	I,065	0,0236	45,I3	0,027
0,45	I,254	I,07	0,0335	3I,9	0,0385
0,5	I,266	I,08	0,046	23,48	0,0529
0,55	I,288	I,I	0,06I2	I7,97	0,0704
0,6	I,32I	I,I28	0,0795	I4,2	0,09I4
0,65	I,37I	I,I7	0,I0I	II,6	0,II6
0,7	I,446	I,23	0,I26	9,76	0,I45
0,75	I,557	I,33	0,I55	8,58	0,I78
0,8	I,727	I,47	0,I88	7,82	0,2I6
0,85	I,985	I,69	0,226	7,48	0,26
0,9	2,339	I,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	2,4I	0,407

*Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Таблица П9.5

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

n	$M_{д.д}^{U_{ном}}$	$M_{д.д}^{U}$	$M_{с.д}$	$K_{зап}^{*}$	$K_з M_{с.д}$
0	0,9999	0,854	0	∞	0,0
0,05	0,9853	0,84I	0,00II6	725,00	0,00053
0,I	0,97I	0,829	0,00465	I78,30	0,002I
0,I5	0,956	0,8I6	0,0I05	77,70	0,0048
0,2	0,943	0,805	0,0I86	43,30	0,0085
0,25	0,93	0,794	0,029	27,38	0,0I33
0,3	0,9I8	0,784	0,04I85	I8,70	0,0I92
0,35	0,907	0,774	0,057	I3,58	0,026
0,4	0,897	0,766	0,0744	I0,30	0,034
0,45	0,889	0,759	0,0942	8,06	0,043
0,5	0,885	0,755	0,II6	6,5I	0,053
0,55	0,884	0,755	0,I4I	5,35	0,065
0,6	0,8896	0,759	0,I67	4,54	0,077
0,65	0,904	0,772	0,I96	3,94	0,09
0,7	0,93I	0,795	0,228	3,49	0,I05
0,75	0,98	0,837	0,262	3,I9	0,I2
0,8	I,07	0,9I4	0,298	3,I7	0,I37
0,85	I,234	I,054	0,336	3,I4	0,I54
0,9	I,569	I,34	0,377	3,55	0,I73
0,95	2,296	I,96	0,42	4,67	0,I93
0,97I	2,5	2,I34	0,438	4,87	0,20I
0,994	0,992	0,847	0,459	I,85	0,528

*Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Таблица П9.6

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

n	$M_{д.дв}^{U_{ном}}$	$M_{д.дв}^{U}$	$M_{с.дв}$	$K_{зап}^{*}$	$K_з M_{с.дв}$
0	0,898	0,767	0	∞	0
0,05	0,893	0,762	0,000868	877,9	0,00I
0,I	0,888	0,758	0,00347	2I8,4	0,004
0,I5	0,885	0,755	0,0078	96,8	0,009
0,2	0,883	0,754	0,0I39	54,2	0,0I6
0,25	0,882	0,753	0,02I7	34,7	0,025
0,3	0,884	0,755	0,03I2	24,2	0,036
0,35	0,888	0,758	0,0425	I7,8	0,049

Окончание таблицы П9

n	$M_{д.ДВ}^{U_{ном}}$	$M_{д.ДВ}^{U}$	$M_{с.ДВ}$	$K_{зап}^{*}$	$K_з M_{с.ДВ}$
0,4	0,895	0,764	0,0555	I3,8	0,064
0,45	0,907	0,774	0,0703	II,0	0,08I
0,5	0,924	0,789	0,0868	9,09	0,I
0,55	0,924	0,789	0,I05	7,5I	0,I2
0,6	0,985	0,84I	0,I25	6,73	0,I44
0,65	I,035	0,884	0,I47	6,0I	0,I69
0,7	I,I09	0,947	0,I7	5,57	0,I96
0,75	I,2I9	I,04	0,I95	5,33	0,224
0,8	I,388	I,I85	0,222	5,34	0,255
0,85	I,66	I,4I7	0,25	5,67	0,288
0,9	2,I34	I,82	0,28I	6,48	0,323
0,95	2,72	2,32	0,3I3	7,4	0,36
0,966	2,7	2,3	0,324	7,I	0,373
0,992	0,987	0,843	0,34I	2,47	0,392

*Коэффициент запаса, полученный расчетом из (67).

Пример 5.

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 I465 А и индуктивное сопротивление которого $X_{вн}$ = 0,275 Ом. Напряжение источника питания составляет I,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 расчета принимаем:

момент вращения каждого ЭД по (56);

момент сопротивления конденсатного насоса по (20);

моменты сопротивления дымососа и дутьевого вентилятора по (I8);

коэффициенты загрузки $K_з$ ЭД по активной мощности для конденсатного насоса - 0,368, дымососа - 0,465, дутьевого вентилятора - 0,347;

допустимое время пуска ЭД при номинальном напряжении: конденсатного насоса - 5 с, дымососа - 30 с, дутьевого вентилятора - 60 с.

Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

I. Номинальное скольжение по (3)

$$S_{ном.КН} = I - I480/I500 = 0,0I33 \text{ отн.ед.};$$

$$S_{ном.Д} = 0,006 \text{ отн.ед.}; \qquad S_{ном.ДВ} = 0,0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

$$S_{кр.КН} = 0,0I33(2,4 + \sqrt{2,4^2 - I}) = 0,06I \text{ отн.ед.};$$

$$S_{кр.Д} = 0,029 \text{ отн.ед.}; \qquad S_{кр.ДВ} = 0,0434 \text{ отн.ед.}$$

3. Время ускорения агрегата по (I5)

$$T_{J\,КН} = 4 \times I4{,}38 \times I480^2/(364000 \times 250) = I{,}38 \text{ с};$$

$$T_{JД} = I8{,}56 \text{ с}; \qquad T_{JДВ} = 3I{,}06 \text{ с}.$$

4. Начальная частота вращения для каждого ЭД равна нулю, т.е. $n_{ij} = n_{i\,КН} = n_{i\,Д} = n_{i\,ДВ} = 0$.

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 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)

$$n_{кр.КН} = I - 0{,}06I = 0{,}939 > n_{i\,КН} = 0;$$

$$n_{кр.Д} = I - 0{,}029 = 0{,}97I > n_{i\,Д} = 0;$$

$$n_{кр.ДВ} = I - 0{,}0083 = 0{,}99I7 > n_{i\,ДВ} = 0$$

то моменты вращения определяются следующим образом:

$$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,КН} = 2 \times 2{,}4/\left[(I - 0)/0{,}06I + 0{,}06I/(I - 0)\right] = 0{,}29I7 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{доп\,i\,КН} = \left[I{,}3 - 2 \times 2{,}4 \times 0{,}06I/(I + 0{,}06I^2)\right] \sqrt{\frac{(I - 0 - 0{,}06I)}{I - 0{,}06I}} = I{,}0083 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{д\,i\,КН} = 0{,}29I7 + I{,}0083 = I{,}3 \text{ отн.ед.};$$

$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,Д} = 0{,}I449$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{доп\,i\,Д} = 0{,}855I$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д\,i\,Д} = I{,}0$ отн.ед.;

$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,ДВ} = 0{,}2339$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{доп\,i\,ДВ} = 0{,}666I$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д\,i\,ДВ} = 0{,}9$ отн.ед.;

б) коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток ротора, по (59)

$$K_{R\,i\,КН} = I + \left(\frac{I{,}3}{6{,}5^2 \times 0{,}0I33} - I\right) \cdot \left(\frac{0{,}9 - 0}{0{,}9}\right) = 2{,}3I3 \text{ отн.ед.};$$

$K_{R\,i\,Д} = 5{,}5I$ отн.ед.; $K_{R\,i\,ДВ} = 2{,}566$ отн.ед.;

в) кратность пускового тока при номинальном напряжении и произвольном значении частоты вращения, в данном случае равном нулю, по (60)

$$K_{пi\,кн} = \sqrt{I,3(I - 0)/(2,3I3 \times 0,0I33)} = 6,5 \text{ отн.ед.};$$

$K_{пi\,д} = 5,5$ отн.ед.; $K_{пi\,дв} = 6,5$ отн.ед.

6. Полная электрическая проводимость ЭД по (6I)

$$\gamma_{i\,кн} = \sqrt{3} \times 6,5 \times 29/6000 = 0,0544 \text{ См};$$

$\gamma_{i\,д} = 0,I87$ См; $\gamma_{i\,дв} = 0,I72$ См.

Далее для группы ЭД определяются.

7. Суммарная электрическая проводимость по (62)

$$\gamma_{i\,\Sigma} = 0,0544 + 0,I87 + 0,I72 = 0,4I4 \text{ См}.$$

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

$$U_{i\,сз} = I,03/(I + 0,4I4 \times 0,275) = 0,924 \text{ отн.ед.}$$

9. Ток секции (суммарный ток всех ЭД), отнесенный к номинальному току трансформатора СН, по (66)

$$I_{i\,сек} = 0,924 \times 0,4I4 \times 6300/(\sqrt{3} \times I465) = 0,95 \text{ отн.ед.}$$

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

I0. Ток статора, отнесенный к его номинальному току, по (65)

$$I_{дв\,i\,кн} = 0,924 \times 0,0544 \times 6000/(\sqrt{3} \times 29) = 6,0 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{дв\,i\,д} = 0,924 \times 0,I87 \times 6000/(\sqrt{3} \times II8) = 5,07 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{дв\,i\,дв} = 0,924 \times 0,I72 \times 6000/(\sqrt{3} \times 92) = 5,98 \text{ отн.ед.}$$

II. Среднее значение момента вращения ЭД по методике, изложенной в приложении 8, в диапазоне частот вращения от 0 до I отн.ед.

$M^{U_{ном}}_{д.ср\,i\,кн} = I,49$ отн.ед. (табл. П9.7, рис.П9.I);

$M^{U_{ном}}_{д.ср\,i\,д} = I,096$ отн.ед. (табл. П9.8, рис.П9.2);

$M^{U_{ном}}_{д.ср\,i\,дв} = I,203$ отн.ед. (табл. П9.9, рис.П9.3).

I2. Среднее значение момента сопротивления механизма $M_{с.ср}$ по методике, изложенной в приложении 8, в диапазоне частот вращения от 0 до I отн.ед.

Таблица 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	I	I,0083	0,29I7	I,3
0,05	0,973	0,98I	0,307	I,288
0,I	0,945	0,953	0,324	I,277
0,I5	0,9I7	0,924	0,343	I,267
0,2	0,887	0,894	0,364	I,258
0,25	0,857	0,863	0,388	I,25I
0,3	0,825	0,832	0,4I5	I,247
0,35	0,792	0,799	0,447	I,246
0,4	0,758	0,764	0,483	I,247
0,45	0,722	0,728	0,526	I,254
0,5	0,683	0,689	0,577	I,266
0,55	0,644	0,649	0,639	I,288
0,6	0,6	0,606	0,7I5	I,32I
0,65	0,555	0,559	0,8I2	I,37I
0,7	0,505	0,509	0,937	I,446
0,75	0,449	0,452	I,I05	I,557
0,8	0,385	0,388	I,339	I,727
0,85	0,308	0,3I	I,675	I,985
0,9	0,204	0,205	2,I34	2,339
0,939	0,0	0,0	2,4	2,4
0,987	-	0,0	0,999	0,999

Таблица 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	I	0,855I	0,I449	0,9999
0,05	0,974	0,8328	0,I525	0,9853
0,I	0,947	0,8I	0,I6I	0,97I
0,I5	0,9I9	0,786	0,I7	0,956
0,2	0,89I	0,762	0,I8I	0,943
0,25	0,86I	0,737	0,I93	0,93
0,3	0,83I	0,7II	0,207	0,9I8
0,35	0,799	0,684	0,223	0,907

Окончание таблицы П9.8

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\,i\,д}$	$M_{кл\,i\,д}$	$M_{д.д}^{U_{ном}}$
0,4	0,766	0,656	0,24I	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	0,32I	0,884
0,6	0,6I8	0,529	0,36I	0,8896
0,65	0,575	0,492	0,4II	0,904
0,7	0,528	0,452	0,479	0,93I
0,75	0,477	0,408	0,572	0,98
0,8	0,42	0,359	0,7I	I,07
0,85	0,353	0,302	0,932	I,234
0,9	0,27	0,23I	I,34	I,569
0,95	0,I47	0,I26	2,I7	2,296
0,97I	0	0	2,5	2,5
0,994	-	0	0,992	0,992

Таблица П9.9

Момент вращения ЭД дутьевого вентилятора

n	$\sqrt{\frac{1-n-s_{кр}}{1-s_{кр}}}$	$M_{доп\,i\,ДВ}$	$M_{кл\,i\,ДВ}$	$M_{д.ДВ}^{U_{ном}}$
0	I	0,664	0,234	0,898
0,05	0,9477	0,6468	0,2462	0,893
0,I	0,8955	0,629	0,2597	0,888
0,I5	0,843	0,6I	0,275	0,885
0,2	0,79I	0,59I	0,292	0,883
0,25	0,7386	0,57I	0,3II	0,882
0,3	0,6863	0,55	0,334	0,884
0,35	0,634I	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	0,5I6	0,942
0,6	0,373	0,406	0,579	0,985
0,65	0,32	0,376	0,659	I,035
0,7	0,268	0,344	0,765	I,I09
0,75	0,2I6	0,309	0,9I	I,2I9
0,8	0,I637	0,269	I,II9	I,388
0,85	0,III	0,222	I,44	I,66
0,9	0,059I	0,I6I	I,97	2,I34
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

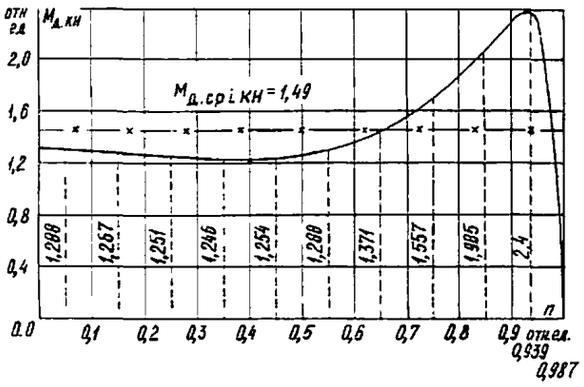


Рис.П9.I. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД конденсатного насоса

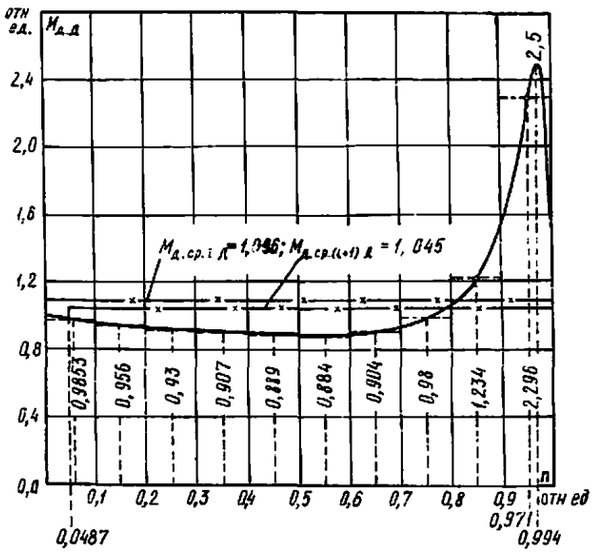


Рис.П9.2. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД дымососа

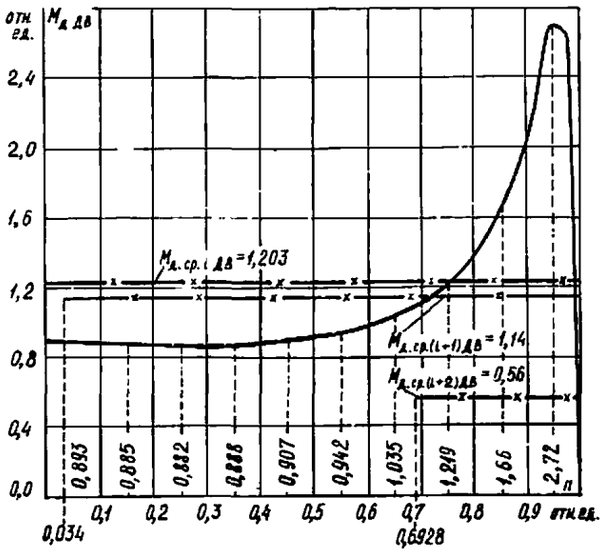


Рис.П9.3. Кривая зависимости для определения момента вращения ЭД дутьевого вентилятора

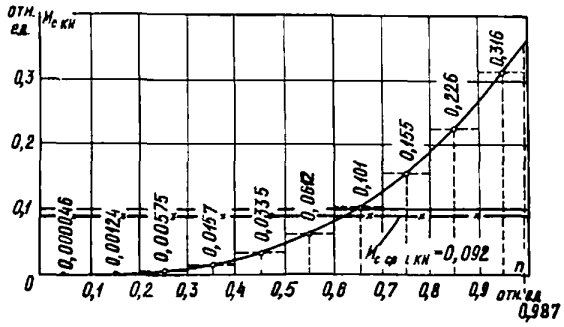


Рис.П9.4. Кривая зависимости для определения момента сопротивления конденсатного насоса

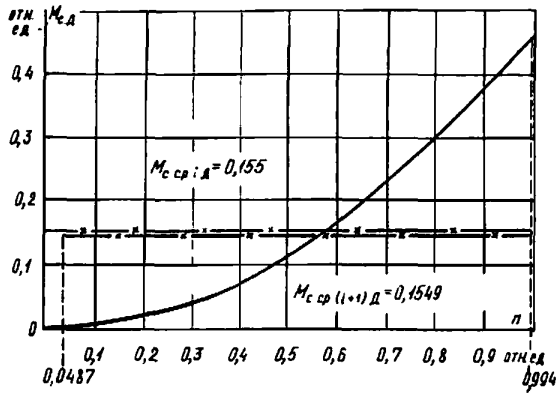


Рис.П9.5. Кривая зависимости для определения момента сопротивления дымососа

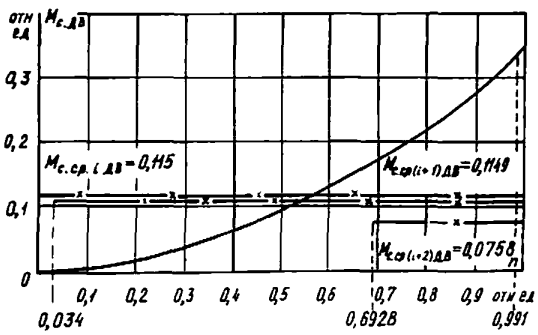


Рис.П9.6. Кривая зависимости для определения момента сопротивления дутьевого вентилятора

$M_{c.cp\,i\,КН}$ = 0,092 отн.ед. (рис.П9.4); $M_{c.cp\,i\,Д}$ = 0,I53 отн.ед. (рис.П9.5);

$M_{c.cp\,i\,ДВ}$ = 0,II5 отн.ед. (рис.П9.6).

I3. Время разворота ЭД до установившегося значения частоты вращения по (86) при допущении, что последняя равна номинальному значению

$$n_{у.КН} = I - S_{ном.КН} = I - 0,0I33 = 0,987 \text{ отн.ед.};$$

$n_{у.Д}$ = 0,994 отн.ед.; $n_{у.ДВ}$ = 0,99I отн.ед.;

$$T'_{p\,i\,КН} = I,38(0,987 - 0)/(I,49 \times 0,924^2 - 0,092) = I,I54 \text{ с};$$

$$T'_{p\,i\,Д} = I8,56(0,994 - 0)/(I,096 \times 0,924^2 - 0,I55) = 23,63 \text{ с};$$

$$T'_{p\,i\,ДВ} = 3I,06(0,992 - 0)/(I,207 \times 0,924^2 - 0,II5) = 33,66 \text{ с}.$$

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)

$$T_{p\,КН} = T'_{p1} = T'_{p\,i\,КН} = I,I54 \text{ с}.$$

I4. Частота вращения, которую остальные ЭД приобретают за время T'_{p1} = I,I54 с, по (89)

$$n_{(i+1)Д} = 0 + I,I54(0,924^2 \times I,096 - 0,I53)/I8,56 = 0,0487 \text{ отн.ед.};$$

$$n_{(i+1)ДВ} = 0 + I,I54(0,924^2 \times I,207 - 0,II5)/3I,06 = 0,034 \text{ отн.ед.}$$

Проверяется, все ли ЭД развернулись до установившегося значения частоты вращения. Если все ЭД развернулись, то расчет заканчивается. Если развернулся только ЭД конденсатного насоса, то вновь производится расчет по пп.5-I4.

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:

$$M^{U_{ном}}_{д(i+1)КН} = 2 \times 2,4/\left[(I - 0,987)/0,06I + 0,03I/(I - 0,987)\right] = 0,999 \text{ отн.ед.}$$

Значение частоты вращения дымососа $n_{(i+1)Д}$ = 0,0487 меньше $n_{кр.Д}$ = 0,97I и значение частоты вращения дутьевого вентилятора $n_{(i+1)ДВ}$ = 0,034 меньше $n_{кр.ДВ}$ = = 0,956б, поэтому моменты вращения ЭД при номинальном напряжении составят:

$$M^{U_{ном}}_{кл(i+1)Д} = 2 \times 2{,}5/\left[(I - 0{,}0487)/0{,}029 + 0{,}029/(I - 0{,}0487)\right] = 0{,}I523 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{доп(i+1)Д} = \left[I - 2 \times 2{,}5 \times 0{,}029/(I + 0{,}029^2)\right] \sqrt{\frac{I - 0{,}0487 - 0{,}029}{I - 0{,}029}} = 0{,}8333 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{д(i+1)Д} = 0{,}I523 + 0{,}8333 = 0{,}986 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{кл(i+1)ДВ} = 2 \times 2{,}7/\left[(I - 0{,}034)/0{,}0434 + 0{,}0434/(I - 0{,}034)\right] = 0{,}242I \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{доп(i+1)ДВ} = \left[0{,}9 - 2 \times 2{,}7 \times 0{,}0434/(I + 0{,}0434^2)\right] \times \sqrt{\frac{I - 0{,}034 - 0{,}0434}{I - 0{,}0434}} = 0{,}654I \text{ отн.е}$$

$$M^{U_{ном}}_{д(i+1)ДВ} = 0{,}242I + 0{,}654I = 0{,}896 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)КН} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)Д} = I + \left(\frac{I}{5{,}5^2 \times 0{,}006} - I\right)\left(\frac{0{,}9 - 0{,}0487}{0{,}9}\right) = 5{,}27 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+1)ДВ} = I + \left(\frac{0{,}9}{6{,}5^2 \times 0{,}0083} - I\right)\left(\frac{0{,}9 - 0{,}034}{0{,}9}\right) = 2{,}507 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п(i+1)Д} = \sqrt{0{,}986(I - 0{,}0487)/(5{,}27 \times 0{,}006)} = 5{,}446 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п(i+1)ДВ} = \sqrt{0{,}8966(I - 0{,}034)/(2{,}507 \times 0{,}0083)} = 6{,}45 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п(i+1)КН} = \sqrt{I(I - 0{,}987)/(I \times 0{,}0I33)} = I \text{ отн.ед.};$$

$$\gamma_{(i+1)КН} = \sqrt{3} \times I \times 29/6000 = 0{,}00837 \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+1)Д} = \sqrt{3} \times 5{,}446 \times II8/6000 = 0{,}I855 \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+1)ДВ} = \sqrt{3} \times 6{,}45 \times 92/6000 = 0{,}I7I3 \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+1)\Sigma} = 0{,}00837 + 0{,}I855 + 0{,}I7I3 = 0{,}365 \text{ См};$$

$$U_{(i+1)сз} = I{,}03/(I + 0{,}365 \times 0{,}275) = 0{,}936 \text{ отн.ед.};$$

$I_{(i+1)сек}$ = 0,936 х 0,3666 х 6300/($\sqrt{3}$ х I465) = 0,852 отн.ед.;

$I_{дв(i+1)кн}$ = 0,936 х 0,00837 х 6000/($\sqrt{3}$ х 29) = 0,936 отн.ед.;

$I_{дв(i+1)д}$ = 0,936 х 0,I856 х 6000/($\sqrt{3}$ х II8) = 5,098 отн.ед.;

$I_{дв(i+1)дв}$ = 0,936 х 0,I72 х 6000/($\sqrt{3}$ х 92) = 6,08 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.

$M^{U_{ном}}_{д.ср(i+1)д}$ = I,045 отн.ед.; для ЭД дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,034 до 0,99I отн.ед. $M^{U_{ном}}_{д.ср(i+1)дв}$ = I,I44 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,I549 отн.ед.; для дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,034 до 0,99I отн.ед. $M_{с.ср(i+1)дв}$ = 0,II49 отн.ед.;

$T'_{р(i+1)д}$ = I8,56(0,994 - 0,0487)/(I,045 х $0,936^2$ - 0,I549) = 23,06 с;

$T'_{р(i+1)дв}$ = 3I,06(0,992 - 0,034)/(I,I44 х $0,936^2$ - 0,II49) = 33,53 с.

Выбираем ЭД с наименьшим временем разворота. Наименьшее время разворота 23,06 с будет у ЭД дымососа.

Полное время его разворота составит

$T_{р.д}$ = $T'_{р1}$ + $T'_{р(i+1)д}$ = I,I54 + 23,06 = 24,2 с.

Для ЭД дымососа в дальнейших расчетах частота вращения принимается равной 0,994 отн.ед.;

$n_{(i+2)дв}$ = 0,034 + 23,06($0,936^2$ х I,I44 - 0,II49)/3I,06 = 0,6928 отн.ед.

Проверяется, все ли ЭД развернулись до установившегося значения частоты вращения. Не развернулся ЭД дутьевого вентилятора, поэтому вновь производится расчет по пп.5-I4.

Так как установившееся значение частоты вращения ЭД конденсатного насоса больше критического, то его момент вращения $M^{U_{ном}}_{д(i+2)кн}$ = 0,999 отн.ед. При аналогичных условиях момент вращения ЭД дымососа равен $M^{U_{ном}}_{д(i+2)д}$ = 0,992 отн.ед. Значение частоты вращения дутьевого вентилятора $n_{(i+2)дв}$ = 0,6928 отн.ед. и поэтому момент вращения ЭД дутьевого вентилятора при номинальном напряжении составят:

$$M^{U_{ном}}_{кл.(i+2)ДВ} = 2 \times 2{,}7/\left[(I - 0{,}6928)/0{,}0434 + 0{,}0434/(I - 0{,}6928)\right] = 0{,}748 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{доп(i+2)ДВ} = \left[0{,}9 - 2 \times 2{,}7 \times 0{,}0434/(I + 0{,}0434^2)\right] \times \sqrt{\frac{I{,}0 - 0{,}6928 - 0{,}0434}{I{,}0 - 0{,}0434}} =$$

$$= 0{,}349 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{д(i+2)ДВ} = 0{,}748 + 0{,}349 = I{,}098 \text{ отн.ед.}$$

$$K_{R(i+2)КН} = I \text{ отн.ед.}; \qquad K_{R(i+2)Д} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{R(i+2)ДВ} = I + \left(\frac{0{,}9}{6{,}5^2 \times 0{,}0083} - I\right)\left(\frac{0{,}9 - 0{,}6928}{0{,}9}\right) = I{,}359 \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п(i+2)КН} = I \text{ отн.ед.}; \qquad K_{п(i+2)Д} = I \text{ отн.ед.};$$

$$K_{п(i+2)ДВ} = \sqrt{I{,}098(I - 0{,}6928)/(I{,}359 \times 0{,}0083)} = 5{,}468 \text{ отн.ед.};$$

$$\gamma_{(i+2)КН} = \gamma_{(i+1)КН} = 0{,}00837 \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+2)Д} = \sqrt{3} \times I \times II8/6000 = 0{,}034I \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+2)ДВ} = \sqrt{3} \times 5{,}468 \times 92/6000 = 0{,}I45 \text{ См};$$

$$\gamma_{(i+2)\Sigma} = 0{,}00837 + 0{,}034I + 0{,}I45 = 0{,}I877 \text{ См};$$

$$U_{(i+2)сз} = I{,}03/(I + 0{,}I877 \times 0{,}275) = 0{,}979 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{(i+2)сек} = 0{,}979 \times 0{,}I877 \times 6300/(\sqrt{3} \times I465) = 0{,}456 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{дв(i+2)КН} = 0{,}979 \times 0{,}00837 \times 6000/(\sqrt{3} \times 29) = 0{,}979 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{дв(i+2)Д} = 0{,}979 \times 0{,}034I \times 6000/(\sqrt{3} \times II8) = 0{,}98 \text{ отн.ед.};$$

$$I_{дв(i+2)ДВ} = 0{,}979 \times 0{,}I45 \times 6000/(\sqrt{3} \times 92) = 5{,}345 \text{ отн.ед.}$$

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.

$M^{U_{ном}}_{д.ср(i+2)ДВ}$ = 0,56 отн.ед.

Среднее значение момента сопротивления определяется по методике, изложенной в приложении 8; для дутьевого вентилятора в диапазоне частот вращения от 0,6928 до 0,99I отн.ед.

$M_{с.ср(i+2)ДВ}$ = 0,0758 отн.ед.

Время разворота дутьевого вентилятора равно

$$T'_{р(i+2)ДВ} = 3I,06(0,992 - 0,6928)/(0,56 \times 0,979^2 - 0,0758) = 20,I6 \text{ с},$$

полное время его разворота

$$T_{р.ДВ} = T_{р.Д} + T'_{р(i+2)ДВ} = I,I54 + 23,06 + 20,I6 = 44,38 \text{ с}.$$

Установившееся значение частоты вращения каждого ЭД составляет:

$n_{у.КН}$ = 0,987 отн.ед.; $n_{у.Д}$ = 0,994 отн.ед.; $n_{у.ДВ}$ = 0,99I отн.ед.

Если все ЭД развернулись, то для определения напряжения в конце процесса самозапуска вновь производится расчет по пп.5-I4.

$M^{U_{ном}}_{д(i+3)КН}$ = 0,999 отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д(i+3)Д}$ = 0,992 отн.ед;

$M^{U_{ном}}_{д(i+3)ДВ}$ = 0,987 отн.ед;

$K_{R(i+3)КН}$ = I отн.ед.; $K_{R(i+3)Д}$ = I отн.ед.; $K_{R(i+3)ДВ}$ = I отн.ед.;

$K_{п(i+3)КН}$ = I отн.ед.; $K_{п(i+3)Д}$ = I отн.ед.; $K_{п(i+3)ДВ}$ = I отн.ед.;

$\gamma_{(i+3)КН}$ = 0,00837 См; $\gamma_{(i+3)Д}$ = 0,034I См;

$\gamma_{(i+3)ДВ} = \sqrt{3} \times I \times 92/6000 = 0,0266$ См;

$\gamma_{(i+3)\Sigma} = 0,00837 + 0,034I + 0,0266 = 0,069$ См;

$U_{(i+3)сз} = I,03/(I + 0,069 \times 0,275) = I,0II$ отн.ед.;

$I_{(i+3)сек} = I,0II \times 0,069 \times 6300/(\sqrt{3} \times I465) = 0,I73$ отн.ед.;

$I_{дв(i+3)КН} = I,0II \times 0,00837 \times 6000/(\sqrt{3} \times 29) = I,0I$ отн.ед.;

$I_{дв(i+3)Д} = I,0II \times 0,034I \times 6000/(\sqrt{3} \times II8) = I,0I$ отн.ед.;

$$I_{дв(1+3)дв} = I,0II \times 0,0266 \times 6000/(\sqrt{3} \times 92) = I,0I \text{ отн.ед.}$$

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 I отн.ед. время самозапуска ЭД дутьевого вентилятора 44,38 с. Площадь, ограниченная ломаной линией $U(t)$

$$S_{U(t)} = 0,924 \times 0,026 + 0,936(0,552 - 0,026) + 0,979(I - 0,552) = 0,955 \text{ отн.ед.}^2$$

Среднее значение напряжения за время всего процесса самозапуска определяется из равенства площадей, ограниченных ломаной линией $U(t)$ и прямой $K_{U\,ср}$, т.е. $S_{U\,ср} = K_{U\,ср}\ t_* = S_{U(t)}$.

Учитывая, что t_* = I отн.ед., среднее значение напряжения

$$K_{U\,ср} = S_{U(t)} = 0,9545 \text{ отн.ед.};$$

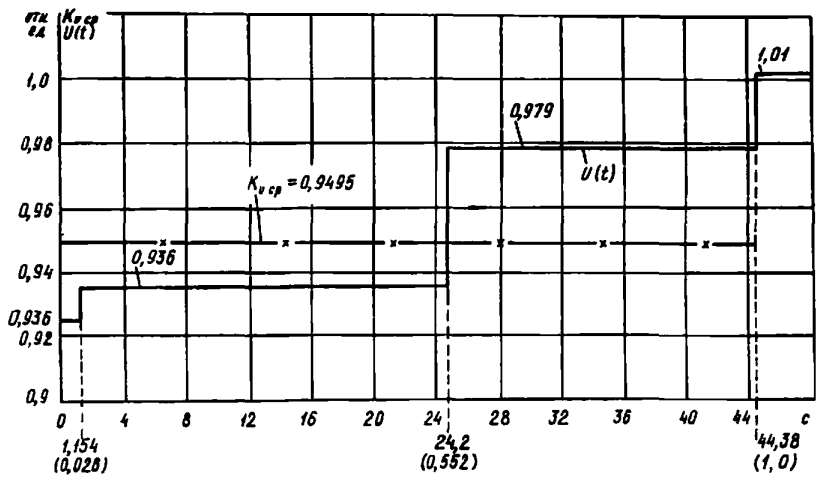


Рис.П9.7. Кривая зависимости для определения среднего значения напряжения за время самозапуска

б) допустимое время самозапуска ЭД при значении относительного напряжения $K_{U\,ср}$ 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 I465 А и индуктивное сопротивление которого $X_{ЭН}$ = 0,275 Ом. Напряжение источника питания составляет I,03 отн.ед. номинального. Расчет выполняется методом последовательных интервалов с шагом расчета по времени 0,I-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 (I8);

коэффициенты загрузки K_3 ЭД по активной мощности для конденсатного насоса - 0,368, дымососа - 0,465, дутьевого вентилятора - 0,347;

начальную частоту вращения каждого ЭД равной нуло.

Расчет осуществляется в следующей последовательности.

Для каждого ЭД определяются:

I. Номинальное скольжение по (3)

$$S_{ном\ КН} = I - I480/I500 = 0,0I33 \text{ отн.ед.};$$

$$S_{ном\ Д} = 0,006 \text{ отн.ед.}; \qquad S_{ном\ ДВ} = 0,0083 \text{ отн.ед.}$$

2. Критическое скольжение по (2)

$$S_{кр\ КН} = 0,0I33(2,4 + \sqrt{2,4^2 - I}) = 0,06I \text{ отн.ед.};$$

$$S_{кр\ Д} = 0,029 \text{ отн.ед.}; \qquad S_{кр\ ДВ} = 0,0434 \text{ отн.ед.}$$

3. Время ускорения по (I5)

$$T_{J\ КН} = 4 \times I4,38 \times I480^2/(364000 \times 250) = I,38 \text{ с};$$

$$T_{J\ Д} = I8,56 \text{ с}; \qquad T_{J\ ДВ} = 3I,06 \text{ с}.$$

4. Начальная частота вращения для каждого ЭД равна нулю, т.е.

$$n_{iJ} = n_{i\ КН} = n_{i\ Д} = n_{i\ ДВ} = 0.$$

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)

$$n_{кр\ КН} = I - 0,06I = 0,939 \qquad n_{i\ КН} = 0;$$

$$n_{кр\ Д} = I - 0,029 = 0,97I \qquad n_{i\ Д} = 0;$$

$$n_{кр\ ДВ} = I - 0,00833 = 0,99I7 \qquad n_{i\ ДВ} = 0,$$

то моменты вращения определяются следующим образом:

$$M^{U_{ном}}_{кл\,i\ КН} = 2 \times 2,4/\left[(I - 0)/0,06I + 0,06I/(I - 0)\right] = 0,29I7 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{доп\,i\,кн} = \left[1{,}3 - 2 \times 2{,}4 \times 0{,}061/(1 + 0{,}061^2)\right] \sqrt{\frac{1 - 0 - 0{,}061}{1 - 0{,}061}} = 1{,}0083 \text{ отн.ед.};$$

$$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,кн} = 0{,}2917 + 1{,}0083 = 1{,}3 \text{ отн.ед.};$$

$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,д} = 0{,}1449$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{доп\,i\,д} = 0{,}8551$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д\,i\,д} = 1{,}0$ отн.ед.;

$M^{U_{ном}}_{кл\,i\,дв} = 0{,}2339$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{доп\,i\,дв} = 0{,}6661$ отн.ед.; $M^{U_{ном}}_{д\,i\,дв} = 0{,}9$ отн.ед.;

б) коэффициент, учитывающий наличие эффекта вытеснения тока в стержнях обмоток ротора, по (59)

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

$K_{R\,i\,д} = 5{,}51$ отн.ед.; $K_{R\,i\,дв} = 2{,}566$ отн.ед.;

в) кратность пускового тока при номинальном напряжении и произвольном значении частоты вращения, в данном случае равном нулю, по (60)

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

$K_{п\,i\,д} = 5{,}5$ отн.ед.; $K_{п\,i\,дв} = 6{,}5$ отн.ед.

6. Полная электрическая проводимость ЭД по (61)

$$\gamma_{i\,кн} = \sqrt{3} \times 6{,}5 \times 29/6000 = 0{,}0544 \text{ См};$$

$\gamma_{i\,д} = 0{,}187$ См; $\gamma_{i\,дв} = 0{,}172$ 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)

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

9. Ток секции (суммарный ток всех ЭД), отнесенный к номинальному току трансформатора СН, по (66)

$$I_{i\,сек} = 0{,}924 \times 0{,}414 \times 6300/(\sqrt{3} \times 1465) = 0{,}95 \text{ отн.ед.}$$

Затем для каждого ЭД рассчитываются:

10. Ток статора ЭД, отнесенный к его номинальному току, по (65)

$I_{i\,дв.кн}$ = 0,924 x 0,0544 x 6000/($\sqrt{3}$ x 29) = 6,0 отн.ед.;

$I_{i\,дв.д}$ = 0,924 x 0,I87 x 6000/($\sqrt{3}$ x II8) = 5,07 отн.ед.;

$I_{i\,дв.дв}$ = 0,924 x 0,I72 x 6000/($\sqrt{3}$ x 92) = 5,98 отн.ед.

II. Моменты вращения ЭД при напряжении $U_{i\,сз}$ по (64)

$M_{дi\,кн}^{U_{i\,сз}}$ = I,3 x $0{,}924^2$ = I,II отн.ед.;

$M_{дi\,д}^{U_{i\,сз}}$ = I,0 x $0{,}924^2$ = 0,854 отн.ед.;

$M_{дi\,дв}^{U_{i\,сз}}$ = 0,9 x $0{,}924^2$ = 0,768 отн.ед.

I2. Моменты сопротивления: конденсатного насоса по (20) $M_{с\,i\,кн}$ = 0,368 x 0^3 = 0, дымососа по (I8) $M_{с\,i\,д}$ = 0,456 x 0^2 = 0, дутьевого вентилятора по (I8) $M_{с\,i\,дв}$ = 0,347 x 0^2 =0.

I3. Приращение частоты вращения за промежуток времени 0,I с по (9I):

$\Delta n_{кн}$ = (I,II - 0) x 0,I/I,38 = 0,0804 отн.ед.;

$\Delta n_{д}$ = (0,854 - 0) x 0,I/I8,56 = 0,0046 отн.ед.;

$\Delta n_{дв}$ = (0,768 - 0) x 0,I/3I,06 = 0,00247 отн.ед.

I4. Частота вращения ЭД в конце расчетного интервала времени

$n_{(i+1)\,кн}$ = 0 + 0,0804 = 0,0804 отн.ед.;

$n_{(i+1)\,д}$ = 0 + 0,0046 = 0,0046 отн.ед.;

$n_{(i+1)\,дв}$ = 0 + 0,00247 = 0,00247 отн.ед.

Проверяется, меньше ли частота вращения каждого ЭД, ее установившегося значения по (I). Если частота вращения хотя бы одного ЭД меньше ее установившегося значения, вновь производится расчет по пп.5-I4; если частота вращения всех ЭД равна установившемуся значению, то расчет заканчивается.

Пример 7.

Определить, достаточна ли номинальная мощность I6 МВ·А рабочего трансформатора СН с напряжением короткого замыкания I0,5%, 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.I. Напряжение источника питания I,0I8 номинального напряжения 6 кВ. В расчете принять, что начальный момент сопротивления для насосной группы механизмов $M_{сн}$ = 0,I, для дутьевой группы $M_{сн}$ = 0,I5, а для молотковых мельниц $M_{сн}$ = 0,3-I номинального момента ЭД.

I. Усредненное значение кратности пускового тока ЭД определяется по (96)

$$K_{п.ср} = \frac{3200x6,3+630x5+I500x5,5+900x6,4+2x400x6,5+250x6,3}{3200+630+I500+900+400+250} = 6,06 \text{ отн.ед.}$$

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)

$$U_{нач} = I,0I8/\left[I + \left(\frac{I0,5}{I00 \times I600}\right) \times \left(\frac{6,06 \times 7280 \times I0^2}{0,85 \times 93} + 432,I\right)\right] = 0,745 \text{ отн.ед.}$$

5. Для каждого ЭД проверяется соотношение его пускового момента вращения и момента сопротивления механизма по (97):

питательный насос ПЭН-IA

$$0,8 \times 0,745^2 \geq I,I5 \times 0,I \qquad (0,444 > 0,II5);$$

циркуляционный насос ЦН-IA

$$I,I \times 0,745^2 \geq I,I5 \times 0,I \qquad (0,6I > 0,II5);$$

дымосос Д-IA

$$0,9 \times 0,745^2 > I,I5 \times 0,I5 \qquad (0,499 > 0,I73);$$

дутьевой вентилятор ДВ-IA

$$I,0 \times 0,745^2 > I,I5 \times 0,I5 \qquad (0,555 > 0,I73);$$

молотковая мельница ММТ-I*

$$I,4 \times 0,745^2 > I,I5 \times 0,3 \qquad (0,777 > 0,345);$$

молотковая мельница ММТ-IB

$$I,4 \times 0,745^2 < I,I5 \times 0,8 \qquad (0,777 < 0,92);$$

конденсатный насос КН-IA

$$I,3 \times 0,745^2 > I,I5 \times 0,I \qquad (0,722 > 0,II5).$$

Из вышеприведенных расчетов видно, что для одного агрегата условие (97) не выполнимо, а поэтому прежде, чем пытаться уменьшить мощность неотключаемых ЭД, мощность статической (недвигательной) нагрузки или увеличить мощность трансформатора, необходимо проанализировать возможность загрузки ММТ-IB 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 выполнить 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

I. РУКОВОДЯЩИЕ указания по расчету самозапуска двигателей собственных нужд тепловых электростанций. - М.: ВНИИЭ, I967.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ указания по испытаниям электродвигателей собственных нужд электростанций и расчетам режимов их работы при перерывах питания. МУ 34-70-026-82. - М.: СПО Союзтехэнерго, I982.

3. СЫРОМЯТНИКОВ И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. - М. - Л.: Госэнергоиздат, I963.

4. ПРАВИЛА технической эксплуатации электрических станций и сетей. I4-е издание, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, I989.

5. ОКОЛОВИЧ М.Н. Проектирование электрических станций. - М.: Энергоиздат, I982.

6. РЕШЕНИЕ № Э-6/85. О блокировании действия автоматического включения резервного питания собственных нужд 6 и 0,4 кВ тепловых и атомных электростанций. - М.: СПО Союзтехэнерго, I985.

7. РУКОВОДЯЩИЕ указания по релейной защите. - М.: ГОНТИ, Теплоэлектропроект, I939, т.2.

8. ГЕОРГИАДИ В.Х. Упрощенный расчет режима группового выбега электродвигателей. - Промышленная энергетика, I985, № 5.

9. ГЕОРГИАДИ В.Х., ЛОГВЕНЧЕВА Н.В. Упрощенный расчет группового выбега электроприводов, собственных нужд. - Электрические станции, I985, № 2.

I0. ГЕОРГИАДИ В.Х., ЛОГВЕНЧЕВА Н.В. Упрощенный расчет группового выбега электродвигателей и механизмов собственных нужд. - Электрические станции, I986, № 3.

II. ГЕОРГИАДИ В.Х. Об оценке успешности самозапуска электроприводов собственных нужд электростанций по значению начального напряжения. - Электрические станция, I987, № 3.

I2. ГЕОРГИАДИ В.Х. Расчет самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций. - Электрические станции, I985, № 3.

I3. ГЕОРГИАДИ В.Х. О коэффициенте загрузки асинхронных электродвигателей собственных нужд. - Электрические станции, I980, № 8.

I4. ГЕОРГИАДИ В.Х. Определение коэффициента загрузки асинхронных электродвигателей собственных нужд электростанций. - Электрические станции, I986, № 5.

I5. ШТЕРНБЕРГ В.А. Косвенный метод определения загрузки асинхронных электродвигателей. - Вестник электропромышленности, I932, № 7.

I6. УЛЬЯНОВ С.А. Электромагнитные переходные процессы. - М.: Энергия, I970.

I7. ФЕЛЬДМАН М.Л., ЧЕРНОВЕЦ А.К. Особенности электрической части атомных электростанций. 2-е издание, перераб. и доп. - Л.: Энергоатомиздат, I983.

I8. ГЛАЗУНОВ А.А. Электрические сети и системы 3-е издание, перераб. - М. - Л.: Госэнергоиздат, I954.

I9. ЛИНДОРФ Л.С. Поведение синхронных двигателей при коротких замыканиях в сетях и действии АПВ. - В кн.: Применение синхронных электродвигателей в промышленности. Материалы семинара. - М.: Московский дом научно-технической пропаганды, I966.

20. СЛОДАРЬ М.И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. - М.: Энергия, I977.

2I. СЕРГЕЕВ П.С., ВИНОГРАДОВ Н.В., ГОРЯИНОВ Ф.А. Проектирование электрических машин. Изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, I969.

22. ГОЛЬДБЕРГ О.Д., ГУРИН Я.С., СВИРИДЕНКО И.С. Проектирование электрических машин. - М.: Высшая школа, I984.

23. СПРАВОЧНИК по релейной защите/ Под ред. М.А.Берковича. - М.-Л.: Госэнергоиздат I963.

24. СПРАВОЧНИК по электрическим установкам высокого напряжения/ Под ред. И.И.Баумштейна, С.А.Бажанова. 3-е издание, перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, I989.

25. ГУСЕЙНОВ Ф.Г. Упрощение расчетных схем электрических систем. - М.: Энергия, I979.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение 3

I. 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 II

3.I. Расчет установившегося режима работы электродвигателей собственных нужд I4

3.2. Расчет режима перерыва питания электродвигателей собственных нужд I5

3.2.I. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при КЗ на шинах секции СН 3-IO кВ I5

3.2.2. Расчет режима перерыва питания группы электродвигателей при отключении выключателя цепи рабочего питания шин секций СН 3-IO кВ I6

3.3. Расчет режима самозапуска группы электродвигателей при повторной подаче напряжения на шины секции собственных нужд 24

3.3.I. 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 I. 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 I02

П р и л о ж е н и е 8. Определение средних значений момента вращения электродвигателей и момента сопротивления механизмов методом площадей I09

П р и л о ж е н и е 9. Примеры расчетов режимов работы электродвигателей собственных нужд электростанций II0

Список использованной литературы I39

gost.e-ecolog.ru