

20-85-5/4706-8

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
ИМЕНИ В.П.ГОРЯЧКИНА

На правах рукописи
УДК 621.313.13:631.3

ТАРАНОВ МИХАИЛ АЛЕКСЕЕВИЧ

ЭЛЕКТРОПРИВОД ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ
СТАНЦИЙ НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМИ ОБМОТКАМИ

05.20.02 - "Электрификация сельскохозяйственного
производства"

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель - кандидат
технических наук, доцент
ЯКИМЕНКО А.П.

Москва - 1985

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
В В Е Д Е Н И Е	5
ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	12
I.1. Характеристика орошения дождеванием, дождеваль- ной техники и насосных станций	12
I.2. Особенности работы трансформаторов оросительных насосных станций	17
I.3. Состояние вопроса в области исследования пуско- вых процессов сельскохозяйственных электроприво- дов в условиях соизмеримости мощности асинхрон- ных двигателей и сети	29
I.4. Пусковые характеристики центробежных насосов оросительных установок	39
I.5. Характеристика способов пуска асинхронных двига- телей оросительных насосных станций	43
I.6. Задачи исследований	46
ГЛАВА 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТ- РОПРИВОДОВ ОТ СЕТИ СОИЗМЕРИМОЙ МОЩНОСТИ ПО ДО- ПУСТИМОМУ НАГРЕВУ ДВИГАТЕЛЯ	48
2.1. Определение времени пуска асинхронного электро- привода с учетом снижения напряжения	48
2.2. Расчет потерь энергии в обмотке ротора и ее тем- пературы при пуске асинхронных двигателей с уче- том снижения напряжения	59
2.3. Расчет потерь энергии в обмотке статора и ее температуры за время пуска асинхронного двига- теля с учетом снижения напряжения	65
2.4. Расчет энергии, потребляемой за время пуска асинхронного электропривода с учетом снижения напряжения	68
2.5. Определение допустимого напряжения на клеммах электродвигателя при пуске от сети соизмеримой мощности	71

2.6	Определение величины коэффициента соизмеримости мощности пускаемого двигателя и трансформатора по условию нагрева ротора	76
	В ы в о д ы	80
ГЛАВА 3.	ВЛИЯНИЕ ПУСКОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК НА СРОК СЛУЖБЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	82
3.1.	Зависимость допустимой температуры обмоток трансформатора от числа пусков в сутки асинхронных двигателей соизмеримой мощности	82
3.2.	Зависимость температуры обмоток трансформатора при пуске асинхронных двигателей соизмеримой мощности от величины и длительности пусковых перегрузок	93
3.3.	Определение коэффициента соизмеримости мощностей электродвигателя и трансформатора оросительных насосных станций по допустимому износу изоляции трансформатора	97
	В ы в о д ы	102
ГЛАВА 4.	ЭЛЕКТРОПРИВОД ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОЛЮСОПЕРЕКЛЮЧАЕМЫМИ ОБМОТКАМИ	105
4.1.	Методика расчета параметров системы сеть-электропривод оросительных насосных станций	105
4.2.	Требования к способу пуска асинхронных двигателей электроприводов оросительных насосных станций от сети соизмеримой мощности	114
4.3.	Выбор и разработка схем полюсопереключаемых обмоток для пуска асинхронных двигателей оросительных насосных станций от сети соизмеримой мощности	124
4.4.	Экспериментальные исследования асинхронных двигателей с полюсопереключаемыми обмотками	140
	В ы в о д ы	157

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ	I60
5.1. Влияние способов пуска на коэффициент соизмеримости мощностей пускаемого двигателя и трансформатора	I60
5.2. Влияние способов пуска на нагрев пускаемых электродвигателей и потребляемую за пуск электро-энергию	I72
5.3. Экономический эффект от использования пуска переключением полюсов асинхронных двигателей оросительных насосных станций	I77
В ы в о д ы	I84
6. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	I88
7. ЛИТЕРАТУРА	I89
8. ПРИЛОЖЕНИЯ	205
Приложение П.1	205
Приложение П.2	208
Приложение П.3	211
Приложение П.4	213
Приложение П.5.	215
Приложение П.6.	230
Приложение П.7	232
Приложение П.8	237
Приложение П.9	242
Приложение П.10	248

В В Е Д Е Н И Е

Решениями XXVI съезда КПСС предусмотрено увеличить за пятилетие среднегодовое производство зерна на 12...14% и довести его до 238...243 млн.тонн /1/. Особое значение придается мелиорации земель. К концу 1990 года Продовольственной программой СССР намечено увеличить площадь мелиорируемых земель на 40...50% и довести до 23...25 млн.га орошаемых и 18...19 млн.га осушенных /2/.

Долговременной программой мелиорации и повышения эффективности использования мелиорируемых земель в целях устойчивого наращивания продовольственного фонда страны, принятой октябрьским (1984 г.) Пленумом ЦК КПСС /3/, намечается довести к 2000 году площади орошаемых земель до 30...32 млн.га.

Особая важность придается вопросам высокоэффективного использования орошаемых земель, чтобы в возможно более короткие сроки надежно обеспечить население страны продуктами питания.

С этой целью в районах орошаемого земледелия будут созданы зоны гарантированного производства зерна, а вблизи крупных городов и промышленных центров -- зоны гарантированного производства овощей и раннего картофеля на орошении. Валовый сбор зерна на мелиорированных землях достигнет к 1990 году 32, а к 2000 году 55...60 млн.тонн. Объем производства кормов к 1990 году составит 80...82, а к 2000 году не менее 115...125 млн.тонн кормовых единиц.

В настоящее время весь хлопок, рис, 40% зерна кукурузы, 75% овощей, 50% бахчевых и винограда, 21% кормов и большое количество другой продукции растениеводства получают на орошаемых землях. Дальнейшее повышение продукции и устойчивости урожаев сельскохозяйственных культур связывается с орошением. Средняя

урожайность в целом по стране в 1980 году была выше на орошаемых землях примерно в 2 раза. Урожайность кормовых культур на орошаемых землях за 15 лет возросла на 70%.

Площади орошаемых земель сейчас составляют около 18 млн.га. Дальнейшее их расширение в основных районах орошаемого земледелия сдерживается дефицитом водных ресурсов. На нужды сельского хозяйства расходуется 50% водопотребления всего народного хозяйства. Поэтому развитие орошения в ближайшие годы связано с реконструкцией существующих мелиоративных систем, а следовательно с повышением стоимости строительства и эксплуатации мелиоративных систем /138/.

Ввод в эксплуатацию каждого нового гектара орошаемых земель с затратами на их освоение обходится в среднем до 5 тысяч рублей /3/. В связи с этим чрезвычайно важно изыскивать новые решения по снижению затрат в орошении.

На октябрьском 1984 г. Пленуме ЦК КПСС /3/ отмечалось, что значительные резервы повышения урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур заложены в малом орошении за счет рационального использования местного стока и подземных вод. В малом орошении требуется большое количество насосных станций малой и средней мощности, число которых будет увеличиваться.

В настоящее время для подачи воды в системах орошения еще широко используются насосные станции с тепловыми двигателями. Число таких насосных станций достигает 50% от общего количества.

В решениях XXV съезда КПСС, в долгосрочной программе развития народного хозяйства СССР, принятой на XXVI съезде КПСС, в постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР "О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства", в Продовольственной Программе СССР на период до 1990 года и мерах по

ее реализации указывается, что важнейшим средством ускорения научно-технического прогресса в сельском хозяйстве и улучшения культурно-бытовых условий жизни сельского населения является электрификация отрасли /1,2,4 /.

Большое значение при этом имеет дальнейшее развитие электропривода /21,84,140/. Перевод на электропривод только одной насосной станции широкозахватной дождевальная машины фронтального действия ЭДМФ "Кубань-М" позволяет экономить до 300 тонн жидкого топлива /18/ и, кроме того, создает условия для полной автоматизации поливов, повышает эффективность орошаемых систем. Однако, как при переводе оросительных насосных станций на электроэнергию при замене тепловых двигателей электродвигателями, так и при проектировании и реконструкции электрифицированных насосных станций в орошаемом земледелии, возникают значительные трудности из-за пусковых особенностей мощных асинхронных электродвигателей. Обеспечение пуска таких двигателей требует больших капитальных затрат на сооружение линий электропередач и источников электроснабжения повышенной мощности. В связи с этим является актуальной проблема пуска мощных асинхронных двигателей оросительных насосных станций от сети соизмеримой мощности.

В настоящее время разработаны теоретические основы расчета возможности пуска по условию устойчивости работы параллельной нагрузки /78,79,80,81,82,103,105,107,113,114,115,116,117,119,132/, изучена суть явлений, происходящих при пуске асинхронных двигателей, известны также специальные пусковые устройства, обеспечивающие или снижение пусковых токов, или пуск двигателя вхолостую. В условиях сельского хозяйства по технико-экономическим причинам нашли применение:

1. Пуск переключением обмотки статора со звезды на треуголь-

ник;

2. Центробежные фрикционные муфты /90/.

Однако, применение первого из них ограничивается величиной инерционных масс, а другого – конструктивными затруднениями для мощных двигателей, а также невысокой эксплуатационной надежностью фрикционных муфт.

Между тем наблюдается стабильный рост мощностей отдельных двигателей для привода оросительных насосных станций. Пуск таких двигателей сопровождается интенсивным нагревом не только двигателя, но и трансформатора соизмеримой мощности. В этой связи для сохранения срока службы трансформатора важно учитывать увеличение длительности разбега асинхронных двигателей из-за снижения напряжения и число пусков в сутки. Таким образом, обеспечение пуска электродвигателей насосных станций является актуальной задачей исследования.

Актуальность вопроса учета пусковых режимов асинхронных двигателей соизмеримой мощности подтверждается также тем, что по технико-экономическим соображениям, а также для увеличения пропускной способности сельских сетей наиболее целесообразным является режим предельно допустимой перегрузки трансформаторов /23, 43, 59, 99, 100, 101, 118/. По условиям пуска асинхронных коротко – замкнутых двигателей приходится завышать мощность подстанций, что приводит к неэкономичному их использованию.

Развитие регулируемого электропривода на основе многоскоростных электродвигателей дает возможность использовать полюсопереключаемые обмотки для облегчения пуска асинхронных электроприводов оросительных насосных станций. Ступенчатый пуск асинхронных двигателей путем переключения полюсов обмотки статора снижает их нагрев, мощность трансформатора и сечение проводов линии элек-

тропередачи и, следовательно, уменьшает затраты на систему сеть-электропривод оросительных насосных станций.

Целью работы является обоснование, разработка и исследование пуска переключением полюсов асинхронных двигателей оросительных насосных станций от сети соизмеримой мощности.

Объектом исследования является система сеть - асинхронный электропривод оросительных насосных станций.

Метод исследования базируется на современной теории электрических машин, электропривода, теории нагрузочной способности силовых трансформаторов с применением средств вычислительной и измерительной техники.

Научная новизна. Обосновано использование пуска переключением полюсов асинхронных двигателей насосных станций от сетей соизмеримой мощности. Разработаны и исследованы рациональные схемы полюспереключаемых обмоток для пуска, новизна которых подтверждена пятью авторскими свидетельствами СССР.

Определены зависимости времени пуска, потребляемой электроэнергии и ее потерь в обмотках асинхронного двигателя от напряжения на его зажимах при пуске. Получены значения допустимого напряжения и мощности асинхронных двигателей насосных станций по условию их нагрева при пуске.

Определено значение коэффициента соизмеримости мощностей системы сеть - электропривод оросительных насосных станций по допустимому износу изоляции трансформаторов. Разработана инженерная методика расчета параметров сети и электропривода, учитывающая нагрев двигателей при пуске и износ изоляции трансформаторов.

Практическая ценность. Предлагаемый способ пуска переключением полюсов асинхронных электроприводов оросительных насосных станций позволяет уменьшить нагрев двигателя, снизить мощность

питающего трансформатора и сечение проводов линии электропередачи. Разработанные схемы полюсопереключаемых обмоток обеспечивают использование габаритов двигателей на 80...100%, высокие энергетические характеристики и рекомендуются для ступенчатого пуска асинхронных электроприводов насосных станций от сети соизмеримой мощности.

Методика расчета, учитывающая влияние снижения напряжения на нагрев и время пуска асинхронных двигателей и влияние пусковых перегрузок на износ изоляции трансформаторов позволяет определить рациональные параметры сети и электропривода насосных станций. Разработаны номограммы, позволяющие ускорить расчет параметров сети и электропривода.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Обоснование применения полюсопереключаемых обмоток асинхронных электродвигателей как средства облегчения их пуска от сети соизмеримой мощности оросительных насосных станций.

2. Схемные решения полюсопереключаемых обмоток для облегчения пуска асинхронных электродвигателей в условиях соизмеримости их мощностей с мощностью питающей сети.

3. Методика определения параметров системы сеть-электропривод оросительных насосных станций.

4. Аналитический метод расчета энергетики и времени пуска асинхронных двигателей от сети соизмеримой мощности.

Реализация результатов исследований. Экспериментальные образцы асинхронных двигателей с полюсопереключаемыми обмотками на 10/6 полюсов по а.с.995212 и на 10/4/2 полюса по а.с.884039 на базе двигателей 4А315М6 и 4А280М2 используются для привода насосных станций в колхозе "Победа" Яшалтинского района Калмыцкой АССР и колхозе им.Кирова Зерноградского района Ростовской области.

II

Схемные решения полюсопереключаемых обмоток по а.с.995212, 909763 и 884039 и результаты их исследований используются ВНИПТИЭМ при проектировании многоскоростных электродвигателей.

Методика расчета параметров системы сеть-электропривод оросительных насосных станций и схемные решения полюсопереключаемой обмотки на 10/6 полюсов по а.с.995212 используются ЦОПБсЭП при ВНИПТИМЭСХ в проектной практике электрификации насосных станций дождевальных машин фронтального действия ЭДМФ "Кубань-М".

Апробация. Основные положения и результаты исследований обсуждены и одобрены на научных конференциях АЧИМЭСХ (1979...1984гг.), на научно-технической конференции ВНИПТИМЭСХ (1982г.), на научных конференциях МИИСП (1982, 1984 гг.), на Всесоюзной научно-технической конференции по проблемам комплексной механизации и автоматизации кормопроизводства в г.Киеве (1982 г.), на II областной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Дона в г.Зернограде (1982 г.). Электродвигатель с полюсопереключаемой обмоткой на 10/4/2 полюса демонстрировался на ВДНХ СССР (1982 г.).

Публикация результатов исследований. Основное содержание диссертации освещено в 7 печатных работах и пяти авторских свидетельствах СССР.

Работа выполнена на кафедре автоматизированного электропривода Московского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров сельскохозяйственного производства имени В.П.Горячкина и кафедре электрических машин Азово-Черноморского института механизации сельского хозяйства.

ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

I.I. Характеристика орошения дождеванием, дождевальной техники и насосных станций

В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981...1985 г. и на период до 1990 г. (1), в Продовольственной Программе СССР на период до 1990 года (2) поставлена задача значительного увеличения урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Этого можно добиться путем селекции и искусственного создания оптимальных условий произрастания растений при помощи направленного регулирования водного, воздушного, теплового и питательного режимов. Одним из эффективных приемов благоприятного воздействия на эти условия является орошение земель.

Юг Украины, Северный Кавказ, Поволжье и Казахстан, где производят 2/3 товарного зерна, периодически подвергается засухам, что вызывает большие колебания в валовых сборах зерна, несмотря на общую тенденцию к неуклонному росту его производства. Здесь все более широкое применение находит полив сельскохозяйственных культур дождеванием. В настоящее время дождевание используется на 25% орошаемой площади. Наибольший прирост площадей, орошаемых дождеванием, намечен на Северном Кавказе, в Поволжье, в Украинской и Молдавской ССР и будет составлять 70...75% вновь вводимой под орошение площади /3/.

Дождевание имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами полива. К ним относятся: возможность полной автоматизации полива, обеспечение полива на землях со сложным рельефом, значительное увеличение производительности труда, экономия оросительной воды, увеличение коэффициента земельного использования (КЗИ).

Дождевание – способ полива, при котором вода поступает на

поверхность почвы в виде капель дождя, создаваемого искусственно специальными техническими средствами.

Дождевальная техника позволяет механизировать и автоматизировать такие агрохимические работы как внесение минеральных удобрений, гербицидов и микроэлементов с водой, распыление препаратов для опадения листьев и др. Дождевальная техника применяется при ограниченных водных ресурсах, при дефиците или высокой стоимости трудовых ресурсов.

Наибольшее распространение получили следующие типы дождевальной техники:

- позиционные дождевальные машины ДДН-70, ДДН-100;
- колесные дождевальные трубопроводы ДДШ-64 "Волжанка", "Ока", ДФ-120 "Днепр";
- дождевальные машины с поливом в движении по кругу ДМУ "Фрегат", ДМУ-А "Фрегат-1";
- многоопорные дождевальные машины фронтального действия "Кубань-М", "Каравелла", "Коломенка-100".

Основные технические данные дождевальных машин приведены в таблице I.1.

Таблица I.1

Основные технические данные дождевальной техники

Показатели	ДМУ-А "Фрегат"	"Каравелла"	ДДШ-64 "Волжанка"	ДФ-120 "Днепр"	ЭДМФ "Кубань"
Ширина захвата (радиус поворота), м	200... 500	800	800	488	800
Расход воды, л/с	20... 100	135	64	120	180
Номинальное давление, МПа	0,56	0,56	0,4	0,55	0,31... 0,34
КЭИ %	75	Около 97	Около 97	97	Не менее 98

В настоящее время для орошения сельскохозяйственных культур применяются открытые и закрытые оросительные системы. В открытых оросительных системах вода подается к оросительным установкам по системе магистральных и оросительных каналов. Основное достоинство таких систем заключается в меньших по сравнению с закрытыми системами капитальных затратах на сооружение, так как не требуется дорогостоящая трубчатая сеть (на сооружение стационарной закрытой оросительной сети расходуется более 200 м/га труб). Из открытых оросителей вода подается на орошаемую площадь дождевальной техникой.

Недостатком открытых оросительных систем является потеря воды на испарение и фильтрацию. Такие сети неприменимы в грунтах с сильной фильтрацией или сложным рельефом. Открытые оросительные системы нашли широкое применение в равнинной зоне страны. Они позволяют использовать широкозахватную высокопроизводительную технику фронтального действия типа ЭДМФ "Кубань" и оросительную технику с движением по кругу типа "Фрегат".

Такие машины, производящие полив в движении относятся к новой энергосберегающей технике. Внедрение многоопорных фронтальных машин обеспечит достижение значительного социально-экономического эффекта при рациональном использовании земельных и трудовых ресурсов [138]. К преимуществам многоопорных фронтальных машин можно отнести следующие: возможность полива до 98% площади прямоугольного участка, уменьшение затрат энергии в связи с использованием низконапорных дождевальных насадков, обеспечение благоприятных условий для работы сельскохозяйственной техники (при работе такие машины не создают глубокие колеи от колес), возможность орошения как пропашных культур, так и культур сплошного посева в различных почвенных условиях.

Однако, наличие дизельных агрегатов, необходимых для привода насоса подачи воды и генератора для выработки электроэнергии, необходимой для электродвигателей привода механизмов передвижения, усложняют эксплуатацию этих машин, требуют операторов высокой квалификации, периодической дозаправки топливом. За сезон оросительные машины с тепловыми двигателями расходуют до 300 тонн дефицитного жидкого топлива /18/.

В таблице 1.2 приведены некоторые показатели состояния орошаемого земледелия Ростовской области.

Таблица 1.2

Показатели орошаемого земледелия Ростовской области

Показатели	Единица измерения	Количество
1. Орошаемая площадь:		
всего	тыс.га	429,5
в том числе на местном стоке	тыс.га	146,7
2. Насосных станций:		
всего	шт	1926
передвижных	шт	1290
с тепловыми двигателями	шт	520
3. Дождевальных машин		
"Фрегат", всего	шт	537
с тепловыми двигателями	шт	200
"Кубань-М"	шт	28

Анализ данных таблицы 1.2 показывает, что в Ростовской области 27% всего количества насосных станций работают на светлом топливе. Еще большее количество насосных станций на жидком топливе на Кубани, где из 1235 мощных насосных станций электрифицировано лишь 50% (86). Наиболее часто, в качестве приводных тепловых двигателей насосов используются двигатели марок АМ-01,

А-4І, ЯМЗ-240. Насосные станции с двигателями А-4І для дожде-
вальных машин "Фрегат", составляют 37% от их общего количества.

На октябрьском, 1984 года Пленуме ЦК КПСС особо подчерки-
валось значение малого орошения, использование местного стока
и подземных вод.

В малом орошении заложены значительные резервы повышения
урожайности и валовых сборов сельскохозяйственных культур. Оро-
шение на местном стоке составляет существенную долю орошаемых
площадей в районах неустойчивого земледелия с ограниченными ре-
сурсами.

Из таблицы 1.2 следует, что в Ростовской области по площа-
ди орошение на местном стоке составляет 34% от общей орошаемой
площади. Около 70% насосных станций приходится на передвижные,
которые в основном используются в малом орошении.

Дальнейшее развитие орошения, его реконструкция связано с
большими затратами на сооружение и эксплуатацию оросительных
насосных станций, число которых будет увеличиваться. Перевод на-
сосных станций на электроэнергию, реконструкция и сооружение
электрифицированных насосных станций в условиях соизмеримости
мощности асинхронных двигателей с мощностью сети, разбросанности
насосных станций и их удаленности от источников электроэнергии
требует больших капитальных затрат на сооружение электрических
сетей повышенной мощности. В связи с этим является актуальной
задача снижения затрат на систему сеть - электропривод ороситель-
ных насосных станций малой и средней мощности.

1.2. Особенности работы трансформаторов оросительных насосных станций

Трансформатор в условиях эксплуатации в общем случае работает при изменяющейся нагрузке и температуре окружающей среды. Он подвергается непрерывным воздействиям температуры, рабочего напряжения и вибрациям, а также эпизодически разного вида перенапряжениям (коммутационным и грозовым) и коротким замыканиям (аварийные перегрузки).

Опыт эксплуатации показывает, что из всех элементов наиболее уязвимой и определяющей срок службы трансформатора является изоляционная система. Она подвергается тепловым, электрическим, механическим и химическим воздействиям.

Силовые трансформаторы общего назначения, как правило, работают с неравномерной нагрузкой, при этом отклонения мгновенного значения тока от среднесуточного могут достигать $\pm 50\%$ и более, обычно с определенной периодичностью как в течение суток, так и по сезонам года. Температура охлаждающей среды также колеблется в широких пределах.

В таких условиях номинальная мощность трансформатора выбирается меньше максимальной суточной нагрузки с расчетом на то, что в некоторые часы суток трансформатор должен перегружаться. Так как перегрузки возникают систематически, то условием их допустимости является сохранение срока службы изоляции.

Совокупность допустимых нагрузок, систематических и аварийных определяет нагрузочную способность трансформатора, в основе которой лежит тепловой износ изоляции.

Общие рекомендации по нагрузочной способности трансформаторов общего назначения с видами охлаждения МД, ДЦ и Ц, соответ-

ствующих ГОСТ 11677-65 /41/ мощностью до 250 МВА включительно, содержатся в ГОСТ 14209-69 /40/. Он определяет допустимые нагрузки и перегрузки трансформаторов при различных температурных условиях охлаждающей среды.

Исследованиями Пястолова А.А. и его учеников /99, 100, 101/, а также исследованиями других авторов /23, 43, 59/ показана необходимость использования нагрузочной способности силовых трансформаторов сельскохозяйственных потребителей для увеличения пропускной способности сельских сетей. В соответствии с /50/ выбор мощности трансформаторов проводится по условиям их работы в нормальном режиме по экономическим интервалам с учетом допустимых систематических перегрузок. Однако, пусковые перегрузки при этом не учитываются.

На рисунке 1.1 показаны зависимости затрат на подстанцию от нагрузки для КТП 10/0,4 кВ на железобетонных стойках и в металлическом блоке /59/. Анализ этих зависимостей показывает, что экономически целесообразная нагрузка иногда лежит за пределами перегрузочной способности трансформаторов.

Таким образом, с точки зрения приведенных затрат наиболее целесообразный режим работы трансформаторов – режим предельно допустимой перегрузки трансформаторов. По условиям пуска асинхронных короткозамкнутых двигателей приходится завышать мощность подстанций оросительных насосных станций, что приводит в область неэкономичного режима работы трансформатора.

В /19/ отмечается, что суммарная установленная мощность трансформаторов общего назначения в стране на конец 1980 г. превышала 2,2 млрд. кВА, ежегодный ввод в X пятилетке – 130 млн. кВА. При таких масштабах каждый процент снижения вводимой трансформаторной мощности за счет лучшего его использования, дает большой

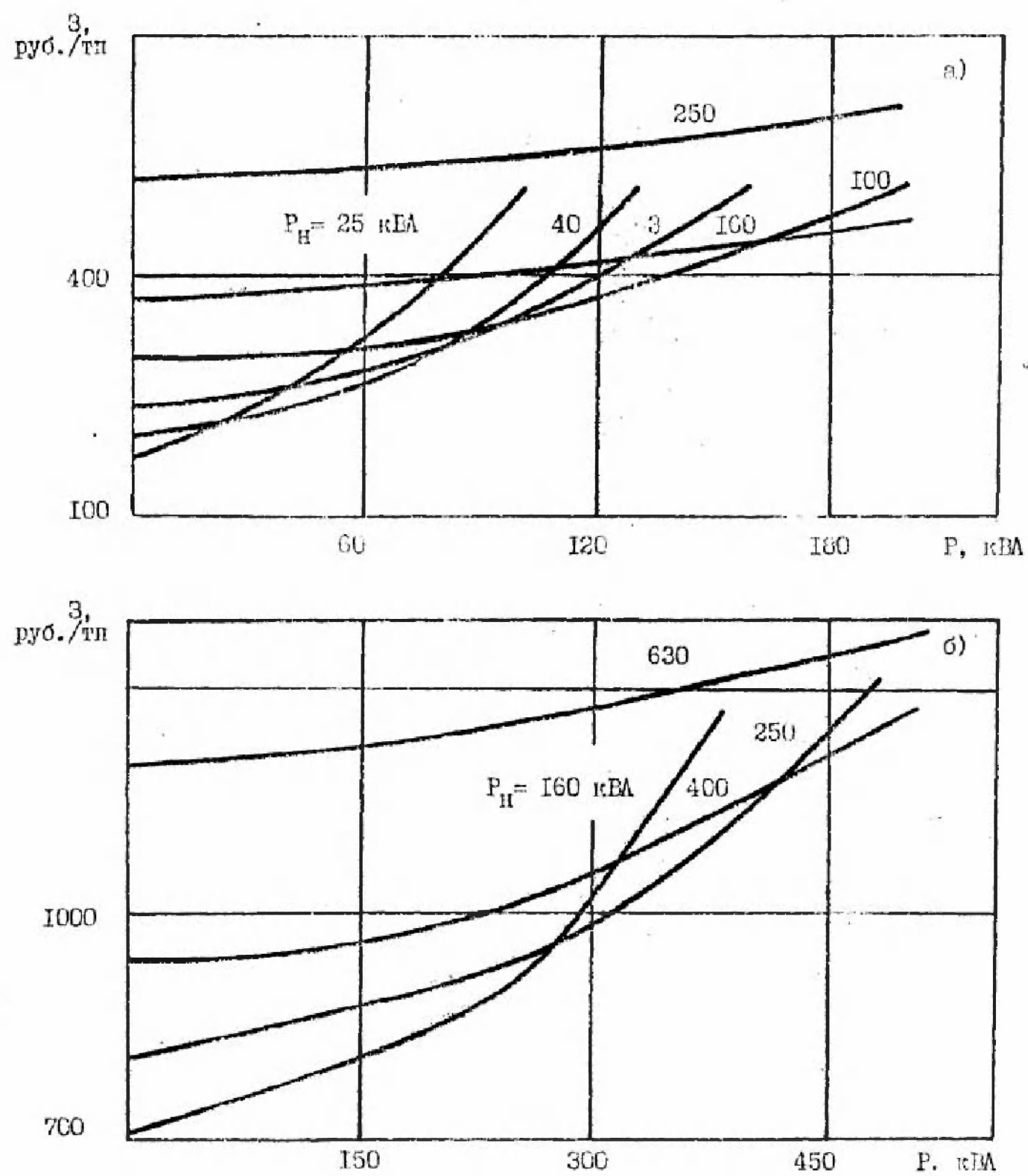


Рис.1.1. Зависимость затрат на подстанцию Z от нагрузки P для КТП 10/0,4 кВ на ж/б стойках (а) и в металлическом блоке (б).

народнохозяйственный эффект, исчисляемый миллионами рублей, а улучшение использования всего лишь на 1%, находящихся в эксплуатации трансформаторов равносильно годовому выпуску современного трансформаторного завода.

Всякому установившемуся графику нагрузки соответствует некоторая эквивалентная в отношении износа трансформатора неизменная нагрузка и температура.

Если номинальная мощность установленного трансформатора совпадает с расчетной /40/, то эквивалентная температура обмотки равна 95°C . Относительный износ считается в этом случае естественным или нормальным.

Если номинальная мощность трансформатора больше расчетной, то относительный износ его изоляции меньше нормального, так как эквивалентная температура обмоток в этом случае меньше 95°C .

Относительный износ по отношению к естественному (нормальному) в этом случае равен /136/:

$$E_0 = e^{\alpha (\vartheta_0 - 95)} \quad (1.1)$$

где $\alpha = 0,0866 \text{ град.}^{-1}$;

ϑ_0 — эквивалентная температура обмоток трансформатора, $^{\circ}\text{C}$.

Отличительной особенностью работы трансформаторов оросительных насосных станций является то, что максимум графика нагрузки приходится на период вегетации сельскохозяйственных культур: весна-лето-осень. Этот период характеризуется повышенной по сравнению со среднегодовой температурой охлаждающего воздуха. Поэтому трансформаторы оросительных насосных станций подвергаются интенсивному износу.

В таблице 1.3 приведены значения естественного износа масляных трансформаторов при стандартной номинальной нагрузке для некоторых районов СССР исходя из среднемесячных температур

рассматриваемых районов /137/.

Анализ данных таблицы I.3 показывает, что за период с апреля по октябрь, естественный относительный износ изоляции трансформатора составляет для района города Киева 78,2%, Ростова-на-Дону - 87,2%, Ташкента - 118,3%.

Естественный износ изоляции масляных трансформаторов по месяцам для этих районов показан на рис. I.2. Наиболее интенсивно износ происходит в период поливов сельскохозяйственных культур.

Учитывая, что развитие орошаемого земледелия намечено в южной части страны /3/, становится очевидной актуальность учета износа изоляции трансформаторов оросительных насосных станций при их проектировании и эксплуатации.

Если среднегодовая температура охлаждающего воздуха равна $+5^{\circ}\text{C}$, то температура наиболее нагретой точки трансформатора будет $95-98^{\circ}\text{C}$, что соответствует его номинальной мощности. Для температуры охлаждающей среды $\vartheta_{вэ} \neq +5^{\circ}\text{C}$ мощность трансформатора пересчитывается по выражению /100,136/:

$$S_{пр} = S_{пасп.} \left(1 - \frac{\vartheta_{вэ} - 5}{100} \right), \quad (1.2)$$

где $S_{пр}$ - расчетная (приведенная) мощность трансформатора, кВА;

$\vartheta_{вэ}$ - эквивалентная температура охлаждающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

$S_{пасп.}$ - номинальная паспортная мощность трансформатора, кВА.

Эквивалентная температура охлаждающей среды ($\vartheta_{вэ}$) - это такая неизменная температура, при которой износ изоляции за рассматриваемый период времени получается такой же, как при естественном изменении ее в данной климатической зоне.

Таблица 1.3

Естественный износ силовых масляных трансформаторов при полной номинальной нагрузке, в естественных условиях изменяющейся в течение года температуры воздуха

Го- род	Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год	θ , °C	Относи- тельный износ
Ки- ев	Средне- месяч- ная тем- пература, °C	-5,9	-5,3	-0,5	+7,1	+14,7	+17,4	+19,3	+18,2	+13,6	+7,7	+1,1	-3,7	+7	94,7	0,98
	Количе- ство "от- житых" дней	12,3	11,9	16,5	25,5	41,1	45,6	54,1	53,8	38,5	27	16,8	14,0	357,1		2
Рос- тов	Средне- месяч- ная тем- пература, °C	-6,3	-5,5	+0,2	+8,6	+15,9	+19,6	+22,7	+21,8	+15,8	+9,3	2,0	-3,3	+8,4	95,8	1,07
Дону	Количе- ство "отжи- тых" дней	12,3	11,5	16,5	26	43,5	54	59,6	63,5	42,5	29,2	17,9	13,9	392,5		

Продолжение таблицы I.3

Го- род	Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За год	Ср. %.	Относи- тельный износ
Таш- кент	Средне- месяч- ная темпе- ратура, °С.	-1,1	+1,5	+7,8	+14,7	+20,2	+25,3	+27,4	+25,5	+19,7	+12,7	+6,7	+1,8	+13,5	99,4	1,46
	Коли- чество "отжи- тых" дней	16,8	16,3	25,3	39,4	57,1	75,5	84,7	81,1	56,5	37,5	24,8	19,4	534,4		

Рис. 1.2. Построенный на нос изоляции масляных трансформаторов в некоторых районах СССР.

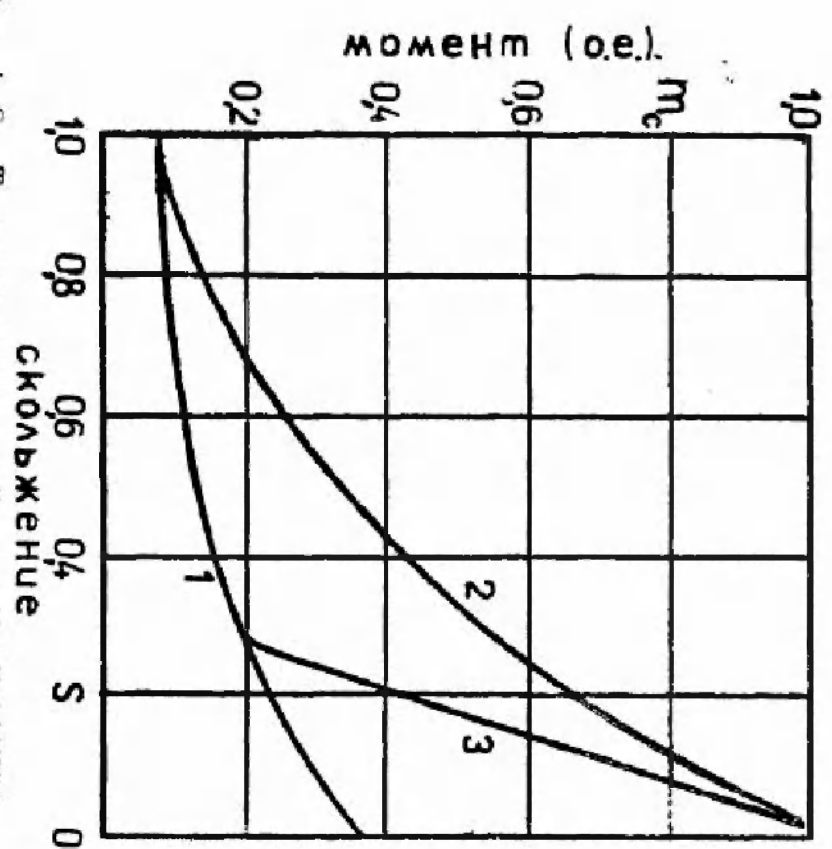
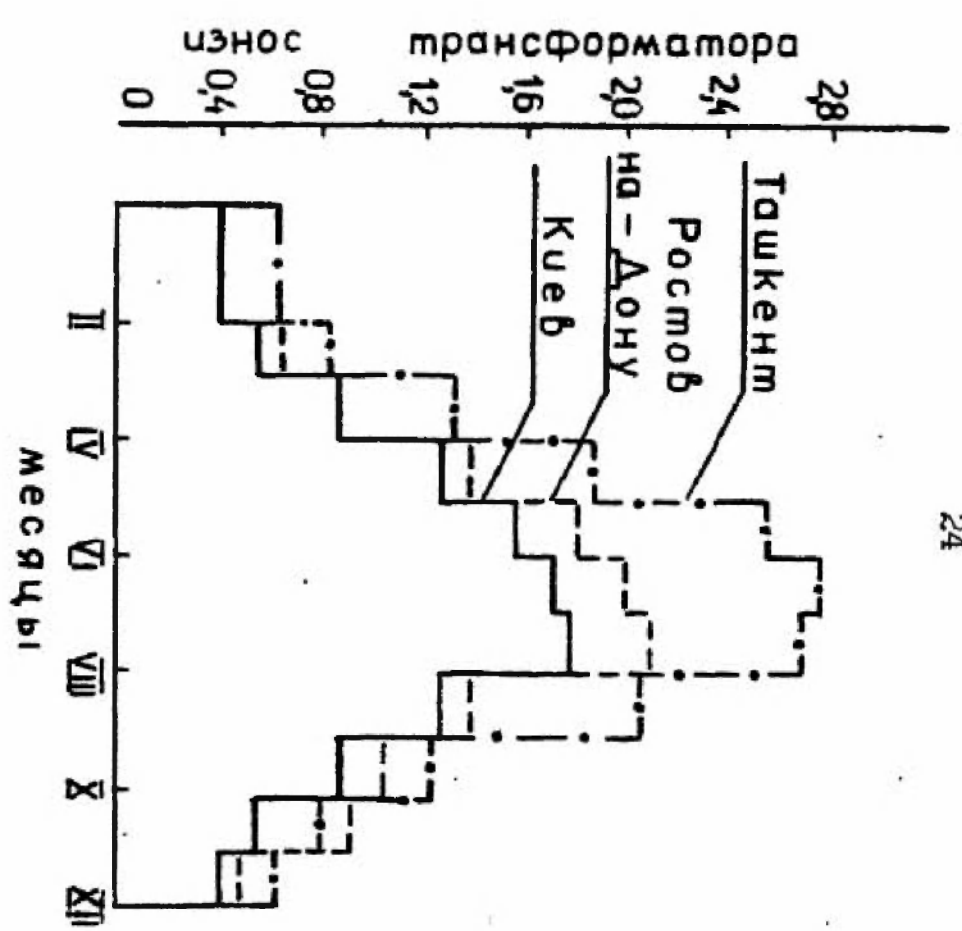


Рис. 1.3. Три возможных типа механических характеристик насосов при пуске.



Для определения эквивалентной температуры обмоток при установленной мощности трансформатора больше расчетной Л.М.Шницер предложил выражение (I.3):

$$\vartheta_{\text{э}} = 95 - 80 \left(\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{р}}} - 1 \right), \quad (\text{I.3})$$

где $S_{\text{н}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА;

$S_{\text{р}}$ - расчетная мощность трансформатора, кВА.

Выражение (I.3) резервирует 20% относительного износа на случай неизбежных в эксплуатации аварийных перегрузок, но не учитывает пусковые перегрузки.

При пусках асинхронных двигателей в условиях соизмеримости их мощностей и трансформатора, последний подвергается интенсивному нагреву и, следовательно, дополнительному тепловому износу изоляции.

Особенностями, отличающими пусковые перегрузки трансформаторов оросительных насосных станций от нормальных (связанных с графиком нагрузки) и от перегрузок в аварийных условиях являются:

1. Продолжительность пусковых перегрузок определяется длительностью разгона электропривода насосного агрегата (до 40... 50 с). Она может складываться из продолжительностей следующих один за другим нескольких пусков с кратковременными перерывами между ними.

2. По величине пусковые перегрузки больше нормальных и определяются значением коэффициента соизмеримости мощности пускаемого двигателя. При кратности пускового тока двигателя 5...7 они могут достигать 400...600%.

3. Пусковые перегрузки являются систематическими с частотой, определяемой технологией поливов сельскохозяйственных культур.