

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ САМОЗАПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ

Нефтеперекачивающие станции (НПС) магистральных нефтепроводов оснащены трехфазными синхронными (СД) и асинхронными (АД) электродвигателями напряжением 6 или 10 кВ единичной мощностью от 1 до 12,5 МВт и относятся к потребителям первой категории. Прекращение электроснабжения даже на короткое время (1,5–3,5 с) приводит к остановке насосных агрегатов и нарушению режима перекачки нефти. При этом снижается давление в трубопроводе и технологическими защитами отключаются агрегаты смежных НПС. Кратковременное нарушение работы одной из НПС может привести к расстройству технологического процесса всего участка нефтепровода. Для восстановления режима перекачки требуется 40–60 мин. В это время производительность нефтепровода падает, что приводит к недоотпуску нефти. Кроме того, дополнительные отключения и пуски двигателей увеличивают расход электроэнергии и износ оборудования.

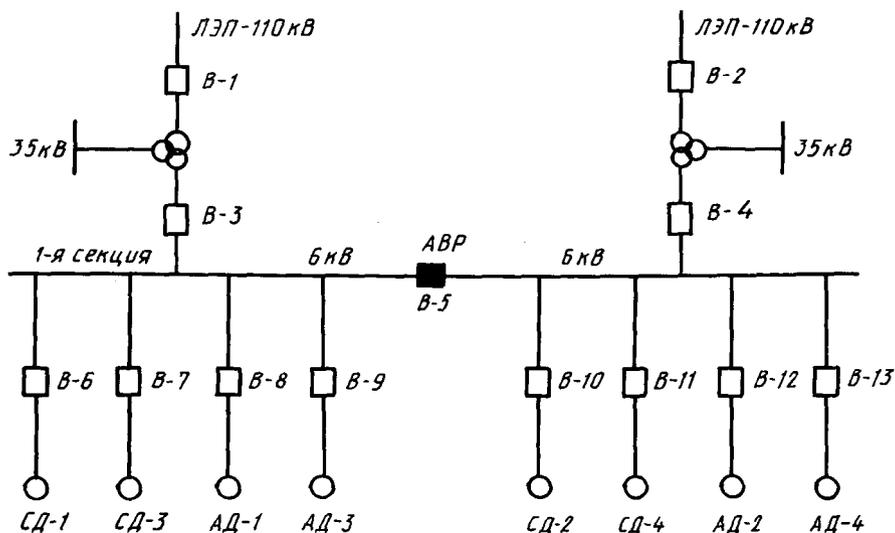


Рис. 1. Схема электроснабжения линейной НПС.

Учитывая требования к надежности электроснабжения, НПС питаются от двухтрансформаторных подстанций с двумя-четырьмя секциями шин напряжением 6 или 10 кВ. Типовая схема электроснабжения линейной НПС представлена на рис. 1. Промежуточные НПС работают по следующей схеме: 4 СД и

4 АД питаются от секционированной системы шин 6 кВ подстанции. Непрерывно действуют два СД и два АД, остальные находятся в резерве. Комбинации работающих и резервных агрегатов задаются технологическим диспетчером и могут быть различными. Подстанция НПС питается от двух или более линий электропередачи напряжением 110 кВ, а секционные выключатели на стороне 6 кВ оснащены устройством автоматического ввода резерва (АВР).

Практика показывает, что большинство НПС имеет остановки агрегатов вследствие кратковременных исчезновений или глубоких понижений напряжения. В летний период число остановок резко увеличивается из-за грозových отключений питающих линий электропередачи. Так, например, при отключении выключателем В-2 ЛЭП-110 кВ обесточивается секция 2 подстанции и через 2,0–3,0 с устройством АВР включается секционный выключатель В5. При этом во избежание несинхронного включения вращающихся двигателей их отключают от сети защитой минимального напряжения до момента подачи возобновления питания секции шин устройством АВР.

Таким образом, при двух независимых источниках питания любые кратковременные исчезновения напряжения приводят к полной остановке оборудования НПС.

Одной из мер повышения надежности работы НПС является самозапуск электродвигателей, под которым понимают процесс автоматического восстановления их работы после кратковременного исчезновения напряжения.

После исчезновения напряжения на секции шин 6 кВ и последующих действий АПВ или АВР на секцию повторно подается питание. В этом случае, если защиту минимального напряжения выполнить с выдержкой 5–10 с, двигатели секции запустятся повторно. Однако расчеты, проведенные для НПС нефтепровода "Дружба", показали, что одновременный групповой самозапуск двигателей НПС осуществить невозможно по ряду причин:

- из-за большого значения суммарного пускового тока запускаемых двигателей происходит недопустимо большое снижение напряжения на шинах подстанции, вследствие чего не обеспечиваются достаточные для запуска под нагрузкой вращающиеся моменты;

- при групповом выбеге синхронных и асинхронных машин за время прерыва питания может не произойти гашения поля до необходимого значения, что при несинхронном включении приведет к опасным динамическим воздействиям на двигатель;

- технология нефтетранспортировки не допускает повторного включения в работу насосных агрегатов по истечении 10 с с момента исчезновения напряжения, так как в противном случае возникает "волна" на трассе нефтепровода.

После внезапного отключения питающей линии или трансформатора теряется питание соответствующая секция шин. Двигатели этой секции начинают затормаживаться под действием моментов сопротивления механизмов и переходят в режим генератора. На секции имеется напряжение, которое постепенно снижается по мере уменьшения эдс двигателей вследствие их торможения. Темп торможения и уменьшения напряжений зависит от параметров двигателей, соотношения мощностей двигателей и остальной (безынерционной) нагрузки на шинах (рис. 2). Цифрами обозначены здесь характеристики изменения напряжения.

Данные опытов показывают, что в первый момент после отключения от се-

ти напряжение на зажимах АД снижается до $0,90-0,95 U_{\text{ном}}$. Дальнейшее затухание эдс происходит с постоянной времени, зависящей от параметров ротора и сопротивления цепи намагничивания двигателя. Эдс АД затухает сравнительно быстро. Так, при групповом выбеге двух АД типа АРП-2500 и одном СТД-5000 в течение 0,85 с и дальнейшем выбеге только асинхронных машин

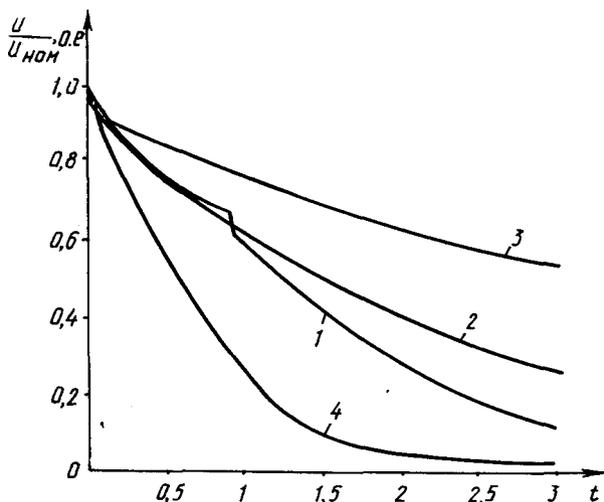


Рис. 2. Изменение остаточного напряжения при выбеге электродвигателей:

1 — совместный выбег на отключенную секцию шин двух АД типа АРП-2500 и одного СД СТД-5000. Через 0,85 с момента начала перерыва питания произошло отключение СД от секции шин защитой минимального напряжения; 2 — свободный выбег одного СТД-5000, оснащенного возбуждением устройством серии БВУ при отключении собственным выключателем; 3 — выбег на секцию шин одного АД типа ДКФе-1429 мощностью 3000 кВт при параллельно подключенной батарее статических конденсаторов, $Q = 900$ квар; 4 — выбег одного СД типа ДС-188 мощностью 800 кВт с возбуждением агрегатом ГЕ8 при отключении секции выключателем ввода.

$U_{\text{ост}}$ через 2 с с момента начала перерыва питания составило $0,27 U_{\text{ном}}$. При одиночном выбеге эдс АД затухает еще быстрее в течение 1,0–1,5 с. Зависимость 3 на рис. 2 свидетельствует о том, что наличие конденсаторных батарей замедляет процесс снижения напряжения.

Исследовались синхронные двигатели СТД-2000, СТД-2500, СТД-5000, ДС-118, оснащенные бесщеточными или тиристорными системами возбуждения с устройствами гашения поля ротора двигателей. Гашение поля с помощью бесщеточных возбужденных устройств серии БВУ достигается замыканием обмотки возбуждения на резистор, эдс двигателя СТД-5000 до значения $0,3U_{\text{ном}}$ снижается за 2,2 с. Гашение поля в схемах тиристорного возбуждения осуществляется переводом выпрямителя (возбужденные агрегаты

ТЕ8) в инверторный режим с форсированным напряжением. Согласно [1] расчетное время гашения поля до $U_{ост} = 0,6 U_{ном}$ составляет 0,16–0,2 с, т.е. тиристорное возбуждение по сравнению с БВУ обеспечивает более высокое быстродействие при гашении поля. Сигнал на гашение подается при отключении выключателя двигателя. Однако при самозапуске, который осуществляется путем подачи напряжения секционным выключателем без отключения двигателя от сети, инвертирование отсутствует. При этом обмотка возбуждения оказывается замкнутой (без гасительного резистора) на тиристоры выпрямительно-го моста, что приводит к замедленному гашению поля (рис. 2).

Следует отметить, что вопрос снижения остаточного напряжения на секции шин имеет важное значение для обеспечения самозапуска двигателя. Расчеты допустимости несинхронного включения, выполненные по методике, изложенной в [2], показали, что несинхронное включение (НВ) синхронных двигателей недопустимо без гашения поля. Причем допустимость НВ определяется как индивидуальными параметрами каждого отдельного двигателя и его мощностью, так и характеристиками питающей энергосистемы. Показатель эдс, до которого следует гасить поле синхронных машин по расчетам для отдельных электродвигателей разных НПС составляет 0,18–0,40 $U_{ном}$. С учетом этого на основании результатов расчетов и экспериментальных исследований предложена и практически реализована схема трехступенчатого самозапуска двигателей НПС. В этой схеме на первой ступени самозапускаются асинхронные двигатели, на второй и третьей ступенях – мощные синхронные двигатели. При успешном действии АПВ ЛЭП 110 кВ, либо после АВР секционного выключателя к секции 6 кВ остаются подключенными один или два асинхронных двигателя, которые при подаче напряжения запускаются. Один или два отключенных синхронных двигателя поочередно включаются по команде устройства автоматизации самозапуска после выхода асинхронных двигателей на нормальный режим.

В ходе экспериментов на НПС проводились опыты пуска и ступенчатого самозапуска электродвигателей с первоочередным пуском АД. Данные обработки осциллограмм приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают допустимость ступенчатого управления самозапуском электродвигателей и позволяют анализировать режимы работы электродвигателей и подстанций в процессе пуска и самозапуска. Параметры переходных процессов являются удовлетворительными с точки зрения требования к технологии нефтетранспортировки и работе электрооборудования.

Так, максимальное снижение напряжения при групповом самозапуске двух мощных АД составляет 0,74 $U_{ном}$. При этом обеспечиваются достаточные для успешного разворота двигателей значения вращающихся моментов.

При практическом внедрении самозапуска на НПС возникли трудности согласования предложенных схем самозапуска со схемой релейной защиты подстанции [3]. В качестве пускового органа защиты минимального напряжения (ЗМН) и АВР секционного выключателя применяются реле напряжения. При этом ЗМН выполняется с двумя ступенями. По первой ступени с выдержкой 0,5 с отключаются синхронные электродвигатели, а по второй через 3,5–4 с – асинхронные электродвигатели. Учитывая выбег электродвигателей, были проведены измерения времени срабатывания ЗМН и АВР на подстанции, питающей четыре СД типа СТД-5000 и четыре АД типа АРП-2500. Эксперименты по-

Параметры режимов самозапуска (пуска)
электродвигателей

Двигатель	U_{\min} о.е.	$I_{\Sigma \text{ном}}$ А	$U_{\text{ост}}$ о.е.	$t_{\text{п}}$ с	$I_{\text{п}}^{\text{ост}}$ А	$t_{\text{р}}$ с	$I_{\text{с}}$ А	I_{∞} А	Ступень самоза- пуска
2хАПП-2500	0,742	556	0,22	2,85	1300	3,25	2400	450	1
1хСТД-500	0,74	1109	—	7,2	2500	6,5	2800	770	2
2хАПП-2500*									
DKFe-1429	0,75	332	—	—	1700	2,5	1700	240	+ пуск
СТД-2000	0,83	221	0,02	6,4	1040	3,9	1040	120	1
ДС-118	0,92	80,5	0,02	4,0	365	4,4	365	75	1

Примечание: U_{\min} — максимальное снижение напряжения в режиме самозапуска (пуска); $I_{\Sigma \text{ном}}$ — номинальный ток двигателей, участвующих в переходном процессе; $U_{\text{ост}}$ — остаточное напряжение на староре двигателя в момент повторного включения; $I_{\text{п}}^{\text{ост}}$ — ток пуска (самозапуска) одного двигателя; $I_{\text{с}}$ — ток секции шин; I_{∞} — установившийся ток; $t_{\text{п}}$ — время перерыва питания; $t_{\text{р}}$ — время разворота до номинальной (подсинхронной) скорости.

казали, что в наихудшем режиме для двух СТД-5000 время срабатывания первой ступени ЗМН возрастает с 0,5 с до 2,5–3 с. Аналогично увеличивается и время АВР. При этом отключение синхронных электродвигателей происходит либо одновременно с подачей напряжения по АПВ линии 110 кВ, либо несколько позже. Это приводит к несогласованному действию АПВ, АВР и второй ступени ЗМН. Кроме этого, возможны ситуации неотключения от сети синхронных двигателей. Самозапуск электродвигателей в таких условиях оказывался невозможным.

Для устранения отмеченных недостатков типовой схемы релейной защиты в схему ЗМН и АВР в качестве ускоряющего элемента было дополнительно введено реле частоты. Скорость изменения частоты и напряжения электродвигателя в режиме выбега примерно одинаковы. Но поскольку реле частоты обладает большей избирательностью, то с его помощью через каждые 0,2–0,3 с можно определять момент исчезновения напряжения.

В результате изложенного можно сделать следующие выводы.

Групповой самозапуск всех двигателей НПС невозможен из-за больших снижений напряжения на шинах подстанции.

Для электродвигателей и подстанций линейных НПС предлагается трехступенчатая схема самозапуска. На первой ступени включаются асинхронные, на 2-й и 3-й ступенях — синхронные двигатели.

Обеспечение успешного самозапуска осуществляется ускорением действия защиты минимального напряжения и АВР подстанции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щ и г е л ь П.М. Ресинхронизация синхронных двигателей с тиристорным возбуждением. — Промышленная энергетика, 1976, № 11, с. 21–22. 2. С л о д а р ж М.И. Режимы

работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. — М., 1977, с. 216.
3. Ускорение действия защиты максимального напряжения и АВР на нефтеперекачивающих станциях/В.М.Кочан, В.В.Курганов, В.В.Прокопчик, А.Е.Хоптинец. — В кн.: Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. М., 1983, № 11, с. 13—14.

УДК 621.311

Н.А.ИВАНИЦКАЯ (БО "Энергосетьпроект")

МЕТОДЫ УЧЕТА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ НА КОРОНУ ПРИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ И РАСЧЕТАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Рост протяженности электрических сетей в энергосистемах напряжением 220 кВ и выше делает актуальной задачу правильного учета потерь мощности и энергии на коронирование проводов линий электропередач при их технико-экономическом анализе и расчетах. Так, например, по данным Энергосетьпроекта среднегодовые потери энергии на корону в линиях электропередачи составляют 18—24 тыс. кВт·ч/км при напряжении линии 220 кВ, а при напряжении 500 кВ — 70—140 тыс. кВт·ч/км.

В ряде технико-экономических задач желательно иметь аналитические выражения для потерь мощности и энергии на корону. Учет потерь на корону несколько затруднен из-за несовершенства ее современной теории. При проектировании наиболее надежно пользоваться экспериментальными данными, полученными в различных метеорологических условиях на действующих линиях.

Среднегодовые потери мощности на корону можно представить выражением [1]

$$\Delta P_K = A/S, \quad (1)$$

где коэффициент A зависит от метеорологических условий, типа проводов и напряжения линии; S — суммарное значение сечения провода в фазе.

Выражение (1) получено на основе аппроксимации экспериментальных кривых, выражающих зависимости среднегодовых потерь мощности на 1 км линии различных напряжений и типов проводов от сечений проводов.

Выражение дает возможность записать приведенные затраты линии электропередачи с учетом потерь энергии на коронирование проводов в виде

$$Z = (p + E_n)K + \Delta P_n \tau c + \Delta P_K t c, \quad (2)$$

где p — отчисления на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание линии; E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; ΔP_n — потери мощности на нагрев проводов; τ — время потерь; t — время работы линии; c — стоимость 1 кВт·ч потерянной энергии.

Зависимость вида (2) позволяет определять экономическое сечение проводов по минимуму приведенных затрат.

При нахождении сечения провода по методу экономических интервалов можно использовать непосредственные экспериментальные данные о потерях на проводах [2]. Расчеты, проведенные на ЭВМ [3], показали, что учет по-