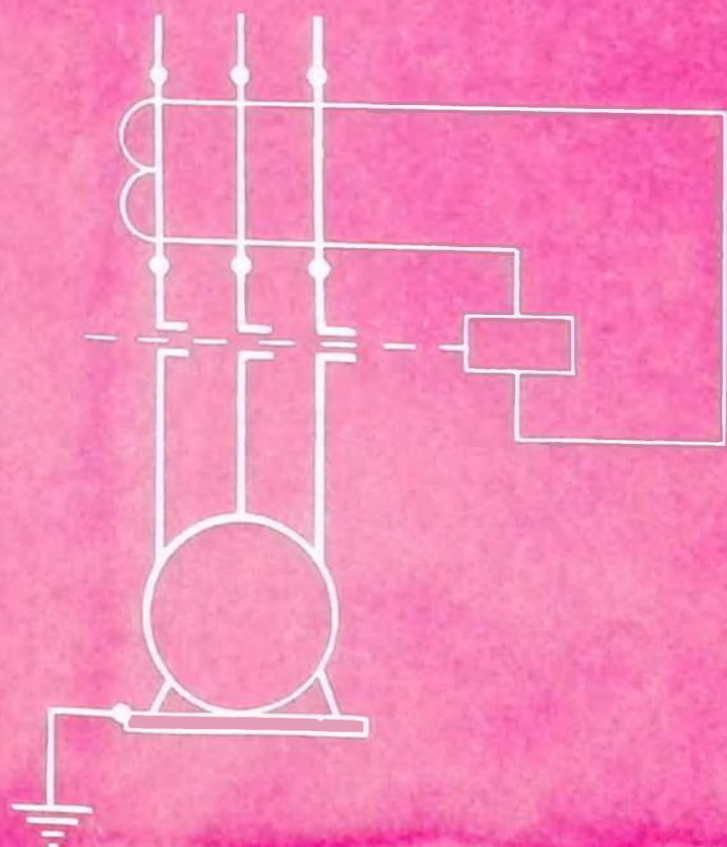


П. М. ТРИГОРАН

ЭЛЕКТРО- БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ БУРОВЫХ И ПРОСТРЕЛОЧНО- ВОЗРЫВНЫХ РАБОТАХ



1975 г.

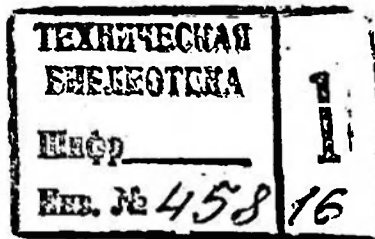
№ 10

20052

622.235
П-83

П. М. ГРИГОРЯН

ЭЛЕКТРО- БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ БУРОВЫХ И ПРОСТРЕЛОЧНО- ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ



МОСКВА "НЕДРА" 1987

УДК 622.235.3 : 621.3.04

Григорян П. М. Электробезопасность при буровых и прострелочно-взрывных работах.— М.: Недра, 1987. 96 с.

Рассмотрены общие вопросы действия электрического тока на организм человека и меры защиты от поражения. Описаны заземляющие устройства и методы их оценки. Особое внимание уделено новому виду автоматической защиты на буровых установках — защитному отключению. Приведена вероятностная характеристика электробезопасности проведения прострелочно-взрывных работ и предложены конкретные мероприятия, предотвращающие преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов при аварийных режимах в электрических сетях.

Для инженерно-технических работников — буровиков, электриков, механиков, геофизиков.

Табл. 2, ил. 20, список лит.— 51 назв.

Рецензент: В. И. Мазуров, инж. (ВНИПИ взрывгеофизика, Министерство геологии СССР)

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Петр Михайлович Григорян

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ БУРОВЫХ И ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Редактор издательства *Н. П. Шерстнев*
Обложка художника *Г. И. Бронниковой*
Художественный редактор *О. Н. Зайцева*
Технический редактор *Е. Л. Закашанская*
Корректор *Л. В. Сметанина*

ИБ № 6858

Сдано в набор 18.02.87. Подписано в печать 20.04.87. Т-11416. Формат 84×108^{1/2}. Бумага офсетная № 2. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,04. Усл.-кр. отт. 10,29. Уч.-изд. л. 5,30. Тираж 8300 экз. Заказ 128/1026-9. Цена 30 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

250200000—242

043(01)—87

—266—87

© Издательство «Недра», 1987

ПРЕДИСЛОВИЕ

В основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года предусмотрено дальнейшее развитие топливно-энергетического комплекса, обеспечивающего ускорение научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства. В частности, предусмотрено увеличить темпы освоения нефтегазовых месторождений, в том числе и на континентальном шельфе, и довести добычу нефти и газового конденсата до 625—640 млн. т и добычу газа до 835—850 млрд. м³. Выполнение поставленных задач невозможно без применения прогрессивных технологических процессов и высокой степени их электрификации.

Быстрый рост потребления электрической энергии и повышение энерговооруженности труда в нефтяной и газовой отраслях промышленности требуют особого внимания к проблеме электробезопасности.

Несмотря на наличие обширной специальной, учебной и справочной литературы по вопросам обеспечения безопасности от поражения электрическим током, немало вопросов в области электробезопасности, которые в течение длительного периода не обобщались и не систематизировались в одном издании. Например, вопросы электробезопасности при освоении и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

Отсутствие литературы, отражающей достигнутый уровень электробезопасности в нефтяной и газовой отраслях, и интерес, проявляемый к этим вопросам на производстве, причем не только лицами электротехнического персонала, послужили основой для выпуска данной книги.

Разработка и внедрение изложенных в книге технических мероприятий и средств осуществлялись под руководством заслуженного рационализатора Азербайджанской ССР, канд. техн. наук В. А. Рувинского, научная и практическая деятельность которого неразрывно связана с обеспечением электробезопасности в нефтяной и газовой отраслях промышленности.

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

1.1. ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Тело человека способно проводить электрический ток, который в зависимости от целого ряда причин может вызвать у пораженного током неприятные ощущения, ожоги, обморок, судороги, прекращение дыхания и даже смерть.

Прохождение тока через тело человека может иметь место вследствие соприкосновения с токоведущими частями электроустановок, или с их металлическими нетоковедущими частями, оказавшимися под напряжением в результате повреждения изоляции.

Реакция организма на электричество и возможные последствия поражения зависят от многих факторов: параметров электроустановок и электрической цепи, пути прохождения тока через тело человека и времени его воздействия, температуры, влажности и давления окружающей среды, индивидуальных особенностей человека. Рассмотрим влияние основных факторов.

Электрическое сопротивление тела человека. Сопротивление тела человека является переменной величиной, имеющей нелинейную зависимость от множества факторов.

Оно зависит от размера поверхности прикосновения к элементам электрической цепи и характера этого прикосновения, от времени протекания тока и величины приложенного к телу напряжения, от окружающей среды, в которой находится человек, и его физического и психологического состояния. Поэтому сопротивление тела человека при различных обстоятельствах может колебаться от 300 (при поврежденном кожном покрове) до нескольких тысяч ом (при малом приложенном напряжении). При этом чем выше сопротивление тела человека, тем поражение током будет менее тяжелым.

Были проведены эксперименты по определению сопротивления тела человека [1, 2]. При числе испытуемых 100 сопротивление, измеренное при напряжении 25 В, со-

ставило: минимальное — 1547 Ом, максимальное — 9118 Ом [2].

Величина напряжения, приложенного к телу человека. Хотя величина приложенного к телу человека напряжения не может служить критерием опасности поражения, но она существенно влияет на величину тока, проходящего через тело человека. При этом рост напряжения приводит к увеличению тока в большей степени.

Эта нелинейная связь между напряжением и током объясняется зависимостью сопротивления тела человека от величины приложенного напряжения, которая может быть выражена формулой [3]

$$z_h = 77/(U_h + 10) + 0,3,$$

где z_h — сопротивление тела человека, кОм; U_h — напряжение, приложенное к телу, В.

Несмотря на то что в практике известны случаи поражения электрическим током со смертельным исходом при напряжении 12 В и случаи поражения, закончившиеся относительно благополучно при напряжении 6—35 кВ, при всех прочих равных условиях с увеличением напряжения поражение током будет более тяжелым.

Частота и род тока, протекающего через тело человека. Постоянный ток напряжением до 500 В действует на организм человека значительно слабее, чем переменный, а при более высоких напряжениях воздействия этих токов уравниваются и даже постоянный ток становится опаснее переменного частотой 50 Гц. Опасность поражения от частоты протекающего тока существенно увеличивается с увеличением частоты до 50 Гц. Дальнейшее повышение частоты сопровождается постепенным снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частоте 500 кГц.

Зависимость опасности поражения от частоты протекающего через тело человека тока в диапазоне от 50 Гц и выше может быть выражена приближенной формулой [3]

$$L = \frac{5,500 - \frac{1}{16}f}{4} 100,$$

где L — опасность поражения, %; f — частота протекающего тока, Гц.

Отмечая более слабое воздействие на организм человека постоянного тока напряжением до 500 В относи-

тельно переменного, следует сказать, что это не распространяется на выпрямленные однополупериодные токи, которые при прочих равных условиях являются наиболее опасными.

Путь и продолжительность протекания тока через тело человека. Длительность и путь прохождения тока через организм человека существенно влияют на исход поражения. Чем продолжительнее действие тока, тем больше вероятность тяжелого или смертельного поражения. Опасность поражения также увеличивается, если на пути прохождения тока оказываются жизненно важные органы: сердце, легкие, головной мозг.

Величина тока, протекающего через тело человека. Несмотря на то что исход поражения зависит от многих факторов и обстоятельств, а также от индивидуальных свойств пострадавшего и его состояния в момент поражения, основным поражающим фактором является ток, протекающий через тело человека.

Причем, как правило, зависимость исхода поражения от различных факторов обусловлена именно тем, что эти факторы влияют на величину протекающего через тело человека тока.

Минимальное значение этого тока, раздражающее действие которого ощущается человеком, называется пороговым ощутимым током, его среднее значение для переменного тока частотой 50 Гц составляет около 1 мА.

Минимальное значение протекающего через тело человека тока, раздражающее действие которого не позволяет пострадавшему самостоятельно освободиться от токоведущих частей, называется пороговым неотпускающим током, его среднее значение для переменного тока частотой 50 Гц составляет 16 мА для мужчин и 11 мА для женщин.

Несмотря на то что пороговый неотпускающий ток условно считается безопасным для человека (поскольку не вызывает мгновенного поражения), исход электротравмы зависит непосредственно от времени нахождения человека под напряжением. При длительном протекании порогового неотпускающего тока и тем более токов, превышающих его значение, случаи поражения заканчиваются смертельным исходом.

В результате многочисленных исследований, выполненных за последние более чем десять лет, были уста-

Таблица 1

Ток	Нормируемая величина	Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия тока t , с											
		0,01—0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	>1
Переменный 50 Гц	U , В	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	36
	I , мА	650	500	250	165	125	100	85	70	65	55	50	6
Переменный 400 Гц	U , В	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	36
	I , мА	650	500	500	330	250	200	170	140	130	110	100	8
Постоянный	U , В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	40
	I , мА	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210	200	15
Выпрямленный двух-полупериодный	$U_{ампл}$, В	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
	$I_{ампл}$, мА	650	500	400	300	270	230	220	210	200	190	180	—
Выпрямленный одно-полупериодный	$U_{ампл}$, В	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—
	$I_{ампл}$, мА	650	500	400	300	250	200	190	180	170	160	150	—

Примечание. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человека при продолжительности воздействия более 1 с, приведенные в табл. 1, соответствуют отпускающим (перемежным) и небольшим (постоянным) токам.

новлены предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, предназначенные для проектирования способов и средств защиты людей [4].

В зависимости от продолжительности воздействия и рода тока предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов при взаимодействии людей с электроустановками производственного назначения напряжением до 1000 В с глухозаземленной или изолированной нейтралью и более 1000 В с изолированной нейтралью не должны превышать значений, указанных в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 величины не могут рассматриваться как обеспечивающие абсолютную безопасность и принимаются лишь в качестве практически приемлемых с достаточно малой вероятностью поражения.

Характер окружающей среды. Среда, в которой находятся электроустановки, может разрушительно действовать на изоляцию оборудования, а также приводить к снижению сопротивления тела человека, создавая тем самым условия, способствующие поражению электрическим током.

С точки зрения опасности поражения людей электрическим током определены три класса помещений: без повышенной опасности, с повышенной опасностью и особо опасные.

К помещениям без повышенной опасности относятся сухие помещения, в которых относительная влажность не превышает 60 %; влажные, в которых относительная влажность длительно не превышает 75 %; с токонепроводящими полами; с токонепроводящей пылью; нежаркие с температурой воздуха не выше +30 °С; без возможного одновременного прикосновения, с одной стороны, к металлическим конструкциям зданий, машин, аппаратов, имеющих хорошее соединение с землей, и, с другой — к корпусам электрооборудования, установок.

К помещениям с повышенной опасностью относятся сырые помещения с относительной влажностью, длительно превышающей 75 %; с токопроводящими полами, токопроводящей пылью, с температурой воздуха, длительно превышающей +30 °С; с возможностью одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологических аппаратов и механизмов, с одной стороны,

и к металлическим корпусам или конструкциям электрооборудования — с другой.

К особо опасным помещениям относятся: сырые, в которых по условиям производства относительная влажность близка к 100 %; с химически активной средой, в которых постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, действующие разрушительно на изоляцию токоведущих частей электрооборудования; в которых одновременно имеются два или больше условий, характеризующие категории помещений повышенной опасности.

Следует отметить, что большая часть производственных помещений на предприятиях относится к помещениям с повышенной опасностью и особо опасным.

1.2. МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Угроза поражения электрическим током характеризуется эффектом внезапности, не позволяя органам чувств человека среагировать на какие-либо признаки опасности, могущие возникнуть при эксплуатации электроустановок.

Поэтому в электроустановках должны предусматриваться такие меры защиты от поражения электрическим током, которые исключали бы возможность возникновения самих условий поражения.

К этим мерам защиты в соответствии с [5] относятся: защитное заземление; зануление; защитное отключение; выравнивание потенциалов; малое напряжение; электрическое разделение сетей; изоляция токоведущих частей; компенсация токов замыкания на землю; оградительные устройства; предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности; средства защиты и предохранительные приспособления.

Ни одна из перечисленных выше мер защиты не является универсальной, поэтому области их применения имеют соответствующие ограничения, определяемые достоинствами и недостатками каждой из мер защиты.

Назначение и область применения известных технических способов и средств защиты, обеспечивающих электробезопасность при эксплуатации электроустановок, достаточно подробно изложены в специальной литературе.

Однако учитывая, что в последующих главах неоднократно придется анализировать эффективность применения в весьма специфичных условиях защитного заземления, зануления и защитного отключения, приведем изложенные в [3, 6] определение, назначение, принцип действия и область применения этих основных средств защиты от поражения электрическим током.

Защитное заземление — это преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановок с землей или ее эквивалентом.

Назначение — устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением.

Принцип действия — снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус, и другими причинами. Область применения — сети с изолированной нейтралью до 1000 В и сети с любым режимом нейтрали более 1000 В.

Зануление — это электрическое соединение металлических частей электроустановок с заземленной точкой источника питания электроэнергией при помощи нулевого защитного проводника. *Назначение* — обеспечение автоматического отключения участка сети, на котором произошло замыкание находящихся под напряжением проводников на металлические части установки. *Принцип действия* — превращение замыкания на корпус в однофазное короткое замыкание с целью вызвать большой ток, способный обеспечить срабатывание защиты и тем самым автоматически отключить поврежденную электроустановку от питающей сети. Область применения — сети с заземленной нейтралью до 1000 В.

Защитное отключение — это быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током. *Назначение* — устранение опасности поражения током при случайном прикосновении непосредственно к токоведущим частям, находящимся под напряжением, а также при прикосновении к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшимся под напряжением. *Принцип действия* — быстрое отключение сети или электрооборудования при изменении одного или нескольких присущих им электрических параметров, вызванное либо аварий-

ными режимами, либо прикосновением к токоведущим частям, при которых напряжение прикосновения и токи через человека превышают предельно допустимые уровни. Область применения — сети любого напряжения и с любым режимом нейтрали.

1.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Все работы в электроустановках по степени опасности разделены на четыре группы: выполняемые при полном снятии напряжения, при частичном снятии напряжения, на токоведущих частях, находящихся под напряжением, или вблизи них; без снятия напряжения вдали от токоведущих частей, находящихся под напряжением.

К первой группе относится работа, которая производится в электроустановках, где со всех токоведущих частей снято напряжение и где нет незапертого входа в соседнюю электроустановку, находящуюся под напряжением.

Ко второй группе относится работа в электроустановке, где напряжение снято только с того присоединения, на котором ведется работа, или оно снято полностью с электроустановки, но открыт доступ в соседнее помещение, где токоведущие части находятся под напряжением.

К третьей группе относится работа, выполняемая непосредственно на токоведущих частях, находящихся под напряжением, или вблизи от них, когда необходимо принятие соответствующих мер безопасности, предотвращающих возможность приближения работающих людей к токоведущим частям на опасное расстояние. Данные работы выполняются только при наличии острой производственной необходимости, а также при выполнении некоторых видов работ (измерение токов нагрузки, измерение сопротивления контактов и т. п.). Работа на токоведущих частях производится с помощью изолирующих средств защиты.

К четвертой группе относится работа в электроустановке, при которой исключено случайное приближение работающих людей и инструмента, которым они пользуются, к токоведущим частям на опасное расстояние.

Для обеспечения безопасности работающих при проведении работ в электроустановках требуется выполнение технических и организационных мероприятий.

— Технические мероприятия осуществляют, как правило, при проведении работ с полным или частичным снятием напряжения.

Целью технических мероприятий является подготовка безопасного рабочего места. Их выполняют в следующем порядке:

отключают необходимые токоведущие части и принимают меры, исключающие ошибочную подачу напряжения к месту работы;

на отключенных коммутационных аппаратах вывешивают запрещающие плакаты: «Не включать — работают люди», «Не включать — работа на линии», при необходимости ограждают неотключенные токоведущие части;

к заземляющему устройству присоединяют зажим переносного заземления;

проверяют, нет ли напряжения на отключенной части установки, если его нет, то немедленно накладывают на обесточенные токоведущие части переносное заземление или включают заземляющие ножи;

рабочее место ограждают переносными ограждениями и вывешивают предостерегающие и напоминающие плакаты: «Стоять — высокое напряжение!», «Работать здесь», «Не влезай — убьет!».

При выполнении технических мероприятий одним из важнейших условий является строгое соблюдение последовательности операций. Нарушение последовательности может стать причиной несчастного случая.

Выполнения технических мероприятий недостаточно для обеспечения безопасности проведения работ в электроустановках. Многие зависят от правильной организации работ и выполнения ряда организационных мероприятий. Из них в первую очередь следует отметить необходимость оформления разрешения для выполнения любых работ в электроустановках.

Предусмотрено три вида разрешения: наряд, распоряжение, проведение работ в порядке текущей эксплуатации.

Наряд — это письменное задание на работу в электроустановках, оформленное на бланке установленного образца. Оно определяет место, объем, время начала

и окончания работ, условия их безопасного проведения, состав бригады и пр.

Распоряжение — это задание на работу в электроустановках, оформленное записью в оперативном журнале лицом, отдавшим распоряжение, либо получившим его в устной форме непосредственно или при помощи средств связи от лица, отдавшего распоряжение.

Проведение работ в порядке текущей эксплуатации — это проведение работ на закрепленном участке в течение одной смены в соответствии с утвержденным перечнем.

Кроме порядка оформления разрешения на выполнение работ в электроустановках, к организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность, относятся: порядок допуска к работе, надзор во время работы, порядок оформления перерывов в работе, перевода на другое рабочее место, окончания работы.

Какими бы достоинствами не обладали известные меры защиты от поражения электрическим током и как бы не были продуманы технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках, многое зависит от квалификации персонала.

Человек, обладающий достаточными знаниями и навыками в обслуживании электроустановок, очувтившись в опасной ситуации, способен быстро проанализировать обстановку и принять меры для освобождения от тока.

Поэтому к электротехническому персоналу предъявляются повышенные требования. Лицам, допущенным к обслуживанию действующих электроустановок, профилактическим испытаниям, ремонтным работам, монтажу и демонтажу электрооборудования, присваивается квалификационная группа (I—V), определяющая круг работ, к которым они могут быть допущены, и выдается установленной формы именное удостоверение.

Кроме электротехнического персонала, квалификационная группа (I) должна устанавливаться также и для производственного персонала, прямо или косвенно связанного в работе с электричеством. Эти лица должны иметь элементарное представление об опасности электрического тока, о мерах безопасности при работе на обслуживаемом участке, а также практическое знакомство с правилами оказания первой помощи.

Следует отметить, что безопасность персонала во мно-

гом зависит также от квалификации лица, ответственного за электрохозяйство. Им может быть специально подготовленный работник электротехнического персонала, знающий электроустановки своего хозяйства настолько, чтобы организовать технически грамотную и безопасную их эксплуатацию. Лицо, ответственное за электрохозяйство, назначается приказом по предприятию. При наличии на предприятии должности главного энергетика ответственность за электрохозяйство возлагается на него. Наряду с главным энергетиком главный инженер предприятия по своему должностному положению несет ответственность за правильную и безопасную эксплуатацию электроустановок.

Ответственность за обеспечение надежной, безопасной и рациональной эксплуатации электроустановок и содержание их в исправном состоянии лежит также и на каждом работнике. Работник, заметивший неисправность электроустановки или защитных средств по технике безопасности, обязан немедленно сообщить об этом своему непосредственному начальнику, а в его отсутствие — вышестоящему руководителю. Если работник обнаружил неисправность в электроустановках, представляющую явную опасность для окружающих людей или самой установки, то он обязан с соблюдением требований безопасности устранить ее и затем известить об этом непосредственного начальника.

1.4. УСЛОВИЯ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ В СЕТЯХ С РАЗЛИЧНЫМ РЕЖИМОМ НЕЙТРАЛИ

Под режимом нейтрали сети понимается схема соединения нейтральной точки питающего трансформатора или генератора с землей или ее эквивалентом.

В сетях с заземленной нейтралью нейтральная точка питающего трансформатора или генератора соединена с землей (заземляющим устройством) непосредственно или через малое сопротивление (например, трансформатор тока), а в сетях с изолированной нейтралью питающая сеть либо изолирована от земли, либо ее нейтральная точка соединена с землей через аппараты, имеющие большое сопротивление (например, трансформаторы напряжения или катушки, компенсирующие емкостный ток в сети).

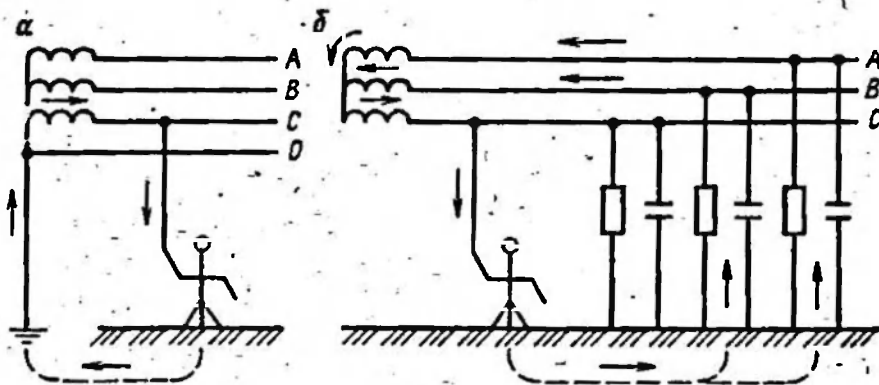


Рис. 1. Схема протекания тока при однофазном прикосновении человека к токоведущим частям.

В связи с тем что режим нейтрали сети существенным образом влияет на безопасность эксплуатации электроустановок, правила [7] требуют выполнения определенной схемы соединения нейтральной точки трансформатора или генератора с землей в зависимости от величины напряжения питающей сети.

В соответствии с данными требованиями, сети напряжением 220, 380 и 660 В могут работать как с изолированной нейтралью, так и с заземленной, а сети напряжением 6, 10 и 35 кВ — только с изолированной нейтралью.

Рассмотрим условия поражения электрическим током в сетях с различным режимом нейтрали при прикосновении к токоведущим и металлическим нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением вследствие повреждения изоляции.

Схема протекания тока при прикосновении человека к токоведущим частям (однофазное прикосновение) в сети с заземленной нейтралью приведена на рис. 1, а, а в сети с изолированной нейтралью — на рис. 1, б.

Из рис. 1, а видно, что в цепи, в которой ток замыкается через тело человека и заземление нейтрали, действует фазное напряжение сети U_{ϕ} .

Так как сопротивление тела человека во много раз больше заземления нейтрали, то величину тока, протекающего через тело человека, можно приближенно определить по следующему выражению

$$I_{ч} \approx U_{\phi} / R_{ч} \quad (1.1)$$

где $R_{ч}$ — сопротивление тела человека.

В реальных условиях величина тока, проходящего через тело человека, существенно зависит также от сопротивления обуви и участка пола, площадь которого равна площади ступней человека, но для сравнительного анализа условий поражения в сетях с различным режимом нейтрали эти сопротивления можно не учитывать, так как они имеют место во всех случаях и включены последовательно с сопротивлением тела человека.

Из рис. 1, б видно, что при прикосновении человека к фазному проводу в сети с изолированной нейтралью образуется цепь, в которой ток замыкается через тело человека и сопротивления изоляции других фазных проводов. Поэтому на ток поражения решающее влияние оказывает сопротивление изоляции сети. Оно имеет активную и емкостную составляющие.

Активное сопротивление зависит от диэлектрических свойств изоляции, а емкостное — от емкости фазных проводов относительно земли. Активное и емкостное сопротивления изоляции сети распределены вдоль проводов, но на схемах условно обозначены сосредоточенными. Если сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли равны между собой, то величину тока, протекающего через тело человека, можно определить по следующему выражению:

$$I_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3U_{\text{ф}}}{3R_{\text{ч}} + z_{\text{из}}}, \quad (1.2)$$

где $z_{\text{из}}$ — полное сопротивление изоляции относительно земли одной фазы.

Сравнивая выражения (1.1) и (1.2), нетрудно определить, что $I_{\text{ч}}^{\text{I}} > I_{\text{ч}}^{\text{II}}$. Однако из этого не следует делать вывод, что во всех случаях прикосновение человека к фазному проводу в сети с изолированной нейтралью менее опасно, чем в сети с заземленной нейтралью. Например, в кабельных и разветвленных воздушных сетях емкость фазных проводов относительно земли весьма значительна.

Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление изоляции. Поэтому ток, проходящий через тело человека, случайно коснувшегося одной из фаз, может достигать величины $\bar{U}_{\text{ф}}/R_{\text{ч}}$, несмотря на то что активное сопротивление изоляции весьма велико. В этом наглядно можно убедиться из следующего:

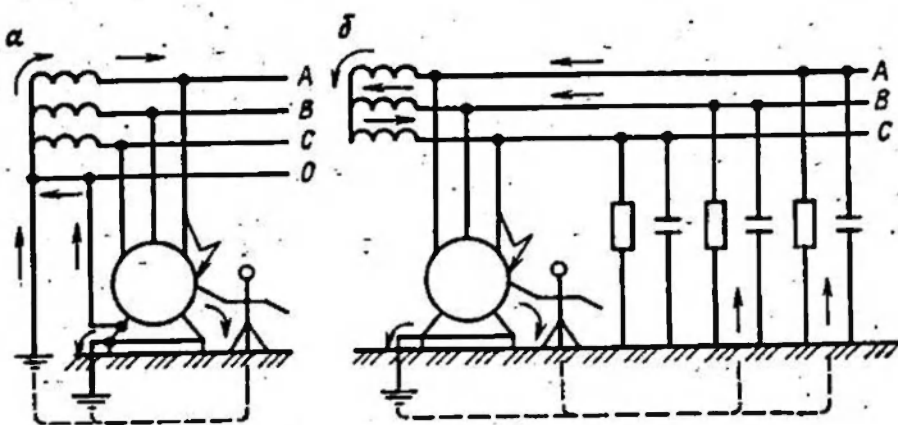


Рис. 2. Схема протекания тока при прикосновении человека к металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением

$$I_{\text{ч}}^{\text{II}} = \frac{3U_{\text{ф}}}{3R_{\text{ч}} + z_{\text{из}}} = \frac{3U_{\text{ф}}}{3R_{\text{ч}} + \frac{1}{R_{\text{из}}^{-1} + j\omega C}}$$

где $R_{\text{из}}^{-1}$, $j\omega C$ — соответственно активная и емкостная проводимости изоляции относительно земли одной фазы; ω — угловая частота, с^{-1} ; $j = \sqrt{-1}$.

Подставив в данное выражение $R_{\text{из}} = \infty$ и $C = \infty$, получим $I_{\text{ч}}^{\text{II}} = U_{\text{ф}}/R_{\text{ч}}$.

Поэтому было бы более правильно записать, что $I_{\text{ч}}^{\text{I}} > I_{\text{ч}}^{\text{II}}$.

Рассмотрим теперь условия поражения электрическим током в сетях с различными режимами нейтрали при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, случайно оказавшимся под напряжением вследствие повреждения электрической изоляции.

Схема протекания тока при прикосновении человека к металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением, в сети с заземленной нейтралью приведена на рис. 2, а, а в сети с изолированной нейтралью — на рис. 2, б.

Из рис. 2, а видно, что напряжение прикосновения, под которым может оказаться человек, касаясь корпуса электрооборудования с поврежденной изоляцией, зависит от соотношения проводимостей фазного и нулевого за-

щитного проводников, а также от соотношения сопротивлений растеканию тока повторного заземлителя и заземления нейтрали.

Если, например, проводимость нулевого защитного проводника составляет 50 % проводимости фазного, то, не учитывая других проводимостей, получим, что падение напряжения в нулевом защитном проводнике составит не более $\frac{2}{3}U_{\phi}$. Это напряжение пропорционально распределится между сопротивлениями повторного заземления и заземления нейтрали. Если эти сопротивления равны друг другу, то напряжение по отношению к земле на корпусе электрооборудования составит $\frac{1}{3}U_{\phi}$.

Так как повторное заземление электрооборудования может отсутствовать, то за максимальную величину напряжения прикосновения следует принять величину $\frac{2}{3}U_{\phi}$, предполагая, что человек, находясь в зоне нулевого потенциала, касается корпуса электрооборудования с поврежденной изоляцией.

При этом ток, протекающий через тело человека, составит

$$I_{\text{ч}}^{\text{III}} = \frac{2U_{\phi}}{3R_{\text{ч}}} \quad (1.3)$$

Из рис. 2, б видно, что человек, прикасаясь к корпусу электрооборудования с поврежденной изоляцией в сети с изолированной нейтралью, оказывается включенным параллельно защитному заземлению.

При этом ток однофазного замыкания на землю распределяется между ними обратно пропорционально сопротивлениям защитного заземления и тела человека. До прикосновения человека к корпусу электрооборудования с поврежденной изоляцией напряжение корпуса относительно земли будет равно

$$U_{\text{с}} = I_{\text{с}}R_{\text{с}} = 3U_{\phi}R_{\text{с}}/(3R_{\text{с}} + z_{\text{нв}}).$$

Если человек касается корпуса электрооборудования с поврежденной изоляцией, находясь в зоне нулевого потенциала, получим, что за максимальную величину напряжения прикосновения можно принять величину напряжения корпуса относительно земли $U_{\text{с}}$.

При этом ток, протекающий через тело человека, составит не более

$$I_{\text{ч}}^{\text{IV}} = 3U_{\text{ф}}R_{\text{в}} / (3R_{\text{в}} + z_{\text{из}})R_{\text{ч}} \quad (1.4)$$

Отметим, что хотя приведенные выражения (1.3) и (1.4) не отличаются особой строгостью в выводах (сопротивление тела человека вносит определенные перераспределения в исследуемые напряжения и токи, несмотря на свою довольно высокую величину), они позволяют проводить сравнения и делать некоторые обобщения.

Сравнивая выражения (1.3) и (1.4), можно записать, что $I_{\text{ч}}^{\text{III}} > I_{\text{ч}}^{\text{IV}}$.

Действительно, при хорошей изоляции сети и малой емкости фазных проводов относительно земли $I_{\text{ч}}^{\text{III}} > I_{\text{ч}}^{\text{IV}}$, так как полное сопротивление изоляции сети $z_{\text{из}}$ существенно ограничивает ток однофазного замыкания на землю. Но если емкость фазных проводов велика, то $z_{\text{из}} \rightarrow 0$, даже если $R_{\text{из}} \rightarrow \infty$. Тогда $I_{\text{ч}}^{\text{IV}} \rightarrow U_{\text{ф}}/R_{\text{ч}}$ и $I_{\text{ч}}^{\text{III}} < I_{\text{ч}}^{\text{IV}}$.

Все вышеизложенное не претендует на полный анализ всех аспектов условий поражения в сетях с заземленной и изолированной нейтралью и сопоставление достоинств и недостатков этих сетей, приведенные в специальной литературе.

Однако главный вывод сделать можно. Опасность поражения в сети с заземленной нейтралью не зависит от сопротивления изоляции фазных проводов относительно земли, а в сети с изолированной нейтралью — опасность поражения уменьшается с увеличением полного сопротивления этой изоляции.

1.5. ТОКИ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ И МЕТОДЫ ИХ ИЗМЕРЕНИЯ

В практике эксплуатации сетей часто приходится производить измерения токов однофазного замыкания на землю, позволяющие найти полную проводимость фаз относительно земли. Эта проводимость, как было показано выше, является одним из основных факторов, определяющих безопасность и надежность эксплуатации электроустановок.

Из существующих методов измерения токов замыкания на землю предпочтение отдают глухому замыканию

ввиду его простоты и точности. Однако в сети с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз на землю напряжения других фаз по отношению к земле повышаются до линейного напряжения, что может привести к возникновению двухфазного замыкания через землю. Этот аварийный режим в сети с изолированной нейтралью является наиболее опасным.

По данным [8], 80 % однофазных замыканий в сетях напряжением 6—10 кВ переходят в двухфазные. Чтобы избежать повышения напряжения фаз по отношению к земле, применяют метод постороннего источника, заключающийся в искусственном смещении нулевой точки сети по отношению к земле [9].

Однако процесс измерения этим методом относительно сложен. Для того чтобы выдержать основные требования при измерении токов однофазного замыкания на землю, к которым относятся точность и безопасность фазных напряжений для изоляции, а следовательно, и нормальный режим эксплуатации сети на период эксперимента, измерения, как правило, проводят косвенным методом: одну из фаз замыкают на землю через подключенную проводимость.

В практике эксплуатации сетей в качестве подключаемой проводимости ранее использовались активное и индуктивное сопротивления [10].

— Однако при определенных соотношениях между проводимостью фаз относительно земли и подключаемой проводимостью фазные напряжения могут превысить линейное напряжение $U_{л}$.

По этой причине эксперименты в сетях 6—10 кВ при использовании в качестве подключаемой проводимости индуктивного сопротивления заканчивались довольно серьезными авариями [8].

Анализ опасности использования в качестве подключаемой проводимости активного сопротивления и оценка возникающей при этом погрешности при незначительной несимметрии в исследуемой сети напряжением выше 1000 В приведены в [11].

В связи с этим при косвенном методе измерения тока однофазного замыкания на землю необходимо учитывать характер проводимости фаз относительно земли в исследуемой сети. Например, в сетях напряжением выше 1000 В, где в полной проводимости фаз относительно земли значительно преобладает емкостная со-

ставляющая, в качестве подключаемой проводимости должна быть использована только емкость (рис. 3).

Напряжения фаз относительно земли в этом случае будут меньше линейного $U_{л}$. Из векторной диаграммы напряжений (рис. 4) видно, что конец вектора напряжения нулевой точки относительно земли \dot{U}_0 при различной величине подключаемой емкости перемещается по дуге окружности, хордой которой является напряжение сети \dot{U}_a , поэтому угол между векторами \dot{U}_0 и \dot{U}_a' остается постоянным и характеризует соотношение между активной g и емкостной b составляющими полной проводимости сети при замыкании фазы A на землю через подключаемую емкость.

При $g > b\sqrt{3}$ этот угол больше 60° и напряжение на фазе C может превысить $U_{л}$.

Так как в сетях 6—10 кВ активная составляющая мала, то угол между векторами близок к нулю, и, следовательно, при любом положении вектора \dot{U}_0 , т. е. при любой величине подключаемой емкости, напряжения на других фазах будут меньше $U_{л}$.

Для определения тока однофазного замыкания на землю первоначально рассчитывают емкость сети по формуле [12]

$$C = \frac{I_C C_{п}}{3(U_{\phi} \omega C_{п} 10^{-6} - I_C)} \quad (1.5)$$

где I_C — ток в цепи подключенной емкости, А; $C_{п}$ — подключаемая емкость, мкФ; U_{ϕ} — фазное напряжение, В.

Искомый ток однофазного замыкания на землю

$$I_{з} = 3U_{\phi} \omega C 10^{-6}.$$

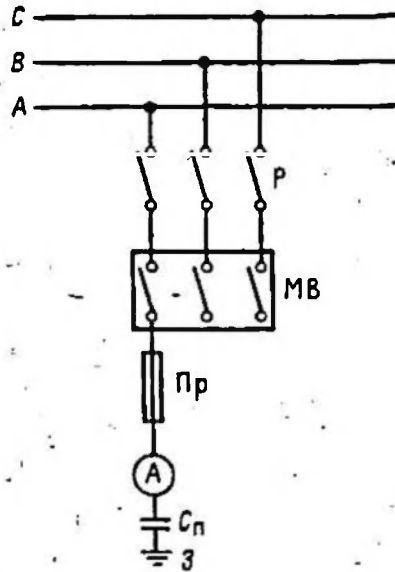


Рис. 3. Схема измерения тока однофазного замыкания на землю с использованием подключаемой к одной из фаз емкости:

P — разъединитель; MB — масляный выключатель; $Пр$ — высоковольтный предохранитель; A — амперметр; $C_{п}$ — подключаемая емкость; $З$ — заземляющее устройство

Формула (1.5) выведена в предположении, что проводимости всех трех фаз на землю одинаковы и параллельно одной из них подключена дополнительная емкость проводимости.

Для наиболее вероятного случая несимметрии, возникающей в воздушных сетях, когда проводимость на землю одной из фаз отличается от проводимости двух других фаз, например $C_A \neq C_B = C_C = C$, при замыкании фазы A через подключаемую емкость аналогично формуле (1.5) получим

$$C = \frac{I_C C_{\Pi}}{3U_{\Phi} \omega C_{\Pi} 10^{-6} - I_C (2 + k_n)} \quad (1.6)$$

где $k_n = C_A / C$ — коэффициент несимметрии.

В соответствии с теорией несимметричных режимов трехфазных цепей можно записать

$$U_{\text{нс}} = U_{\Phi} \frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_A + C_B + C_C}.$$

Но для воздушных линий электропередач напряжение смещения нейтрали при естественной несимметрии составляет менее 1,5% U_{Φ} [11].

Если $U_{\text{нс}} \leq 1,5\% \cdot U_{\Phi}$ и учитывая, что $C_A = k_n C$, а $C_B = C_C = C$, найдем, что $k_n \leq 1,05$.

Подставив значение k_n в формулу (1.6) и решив ее совместно с (1.5), получим

$$C_1 = C_2 \frac{1}{1 + 0,05 \frac{C_2}{C_{\Pi}}}, \quad (1.7)$$

где C_1 и C_2 — емкости сети, полученные по формулам (1.5) и (1.6).

Из выражения (1.7) следует, что относительная погрешность (%), вызванная неучетом естественной несимметрии, зависит от соотношения между емкостью рассматриваемой сети и подключаемой емкостью и может быть определена по выражению

$$\delta = \frac{1}{1 + 20 \frac{C_{\Pi}}{C_2}} \cdot 100.$$

При $C_{\Pi} = 2C_2$ эта погрешность уже составляет 2,5% (рис. 5).

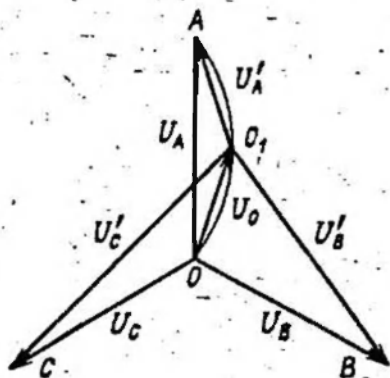


Рис. 4. Векторная диаграмма напряжений при замыкании фазы сети на землю через подключаемую емкость

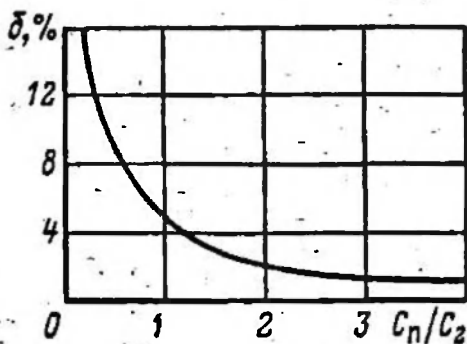


Рис. 5. Зависимость погрешности измерений δ от C_n/C_2

Поэтому для выбора величины подключаемой емкости необходимо знать ориентировочно величину емкости рассматриваемой сети.

Ее можно получить расчетом по известной формуле

$$C_{\text{оп}} = \frac{I_a}{3U_{\phi}\omega} 10^6,$$

где $I_a = U_{\text{л}}(35l_{\text{к}} + l_{\text{в}})/350$; $l_{\text{к}}$ и $l_{\text{в}}$ — суммарная длина соответственно кабельных и воздушных линий, км; $U_{\text{л}}$ — линейное напряжение, кВ.

Изложенный выше метод измерения тока однофазного замыкания на землю был неоднократно экспериментально проверен в нефтепромысловых сетях напряжением 6 кВ в различных районах страны. При этом в качестве подключаемой емкости использовались батареи конденсаторов типа КБГ-МН, причем их нормальное напряжение превышало линейное напряжение сети.

Так как емкость конденсаторов в соответствии с паспортными данными может составлять 80—120 % номинальной, то величину емкости подключаемой батареи необходимо предварительно измерить.

Эксперименты показали, что если величина выбранной подключаемой емкости в 2—3 раза больше предполагаемой емкости рассматриваемой сети и измерена с погрешностью не более $\pm 3\%$, то разница между результатами, полученными этим методом и методом глухого замыкания, не превышает 1—3 %.

Кроме проведенных экспериментов в нефтепромысло-

вых сетях, данный метод был использован при определении сопротивления изоляции в сетях при открытых и подземных работах. Приведенные в [13] результаты измерений в этих сетях также свидетельствуют о достаточной точности косвенного метода.

Следует отметить, что этот метод замыкания фазы на землю через подключенную емкостную проводимость может быть использован не только для определения емкостной, но и активной проводимости фаз относительно земли, а также для измерений в сетях, где потенциал нулевой точки, обусловленный неравенством проводимостей изоляции фаз по отношению к земле, весьма значителен.

Для наглядности обоснования более широкого применения данного метода рассмотрим вначале процесс измерения тока в цепи подключаемой емкости в сети, где проводимость одной из фаз на землю отличается от равных друг другу проводимостей других фаз. В этом случае формула (1.6) для определения проводимости сети включает в себя коэффициент несимметрии k_n .

Если $U_{nc} \leq 1,5\% U_\phi$, то учет естественной несимметрии практически не влияет, как было показано выше, на точность измерения при $C_n > C$. В сетях же, где возможно $U_{nc} > 1,5\% U_\phi$, такое упрощение может привести к значительным погрешностям.

Однако непосредственное определение коэффициента несимметрии в исследуемой сети и использование его для определения проводимости значительно усложняет процесс измерения.

Задача существенно упрощается, если измерения тока в цепи подключаемой емкости осуществлять при двух различных значениях этой емкости и затем вычислять их разность. При этом в расчетном выражении, согласно [14], будут отсутствовать величины, характеризующие наличие естественной несимметрии в сети:

$$\Delta I_C = 9U_\phi \omega \frac{C^2 (C_{n1} - C_{n2}) 10^{-6}}{(C_{n1} + 3C)(C_{n2} + 3C)} \quad (1.8)$$

где ΔI_C — разность токов при двух замерах, А; C_{n1} , C_{n2} — значения подключаемой емкости, мкФ; C — емкость фазы исследуемой сети относительно земли, мкФ.

Справедливость данного выражения легко проверить, если сопоставить результаты вычислений по выражению

ям (1.6) и (1.8) при заранее заданных параметрах C , $C_{п1}$, $C_{п2}$, k_n .

Принимая для упрощения вычислений $0,5C_{п1} = C_{п2} = C_{п}$ и решая выражение (1.8) относительно емкости сети C , получаем

$$C = \frac{3\Delta I_C C_{п} + C_{п} \sqrt{I_C^2 + 8\Delta I_C U_{\phi} \omega C_{п} 10^{-6}}}{6(U_{\phi} \omega C_{п} 10^{-6} - \Delta I_C)} \quad (1.9)$$

Поскольку вывод выражения (1.9) был сделан для сети, где $C_A \neq C_B = C_C = C$, то очевидно, что определение проводимости по этому выражению в общем случае, когда $C_A \neq C_B \neq C_C$, приведет к определенным погрешностям.

Для исключения значительных погрешностей необходимо правильно выбрать фазу сети для осуществления замыкания на землю через подключаемую емкость.

Погрешности будут невелики (менее 5%), если измерения производить на фазе, у которой угол между векторами фазового напряжения и естественного смещения не превышает 30° . Такая фаза определяется простым построением векторной диаграммы напряжений по замерам напряжений фаз относительно земли в исследуемой сети.

Таким образом, метод замыкания фазы сети на землю через подключаемую емкость может быть успешно использован также в сетях при наличии значительного естественного смещения нейтрали.

Если проводимости всех трех фаз на землю практически одинаковы и $U_{нс} \leq 1,5\% U_{\phi}$, то этот метод может быть использован для определения не только емкостной, но и активной проводимости.

Ток в цепи подключаемой емкости при учете активной проводимости определяется выражением

$$I_C = 3U_{\phi} \omega C_{п} \sqrt{\frac{g^2 + b^2}{9g^2 + (3b + \omega C_{п})^2}} \quad (1.10)$$

где g и b — соответственно активная и емкостная проводимости одной фазы сети на землю.

В выражении (1.10) два неизвестных — g и b , поэтому нужно произвести еще одно измерение — при другом значении подключаемой емкости. Тогда получим два уравнения с двумя неизвестными и, следовательно, сможем определить активную и емкостную проводимости сети.

Таким образом, проводимости фаз относительно земли и величины токов однофазного замыкания на землю представляют собой наиболее важные характеристики сети с изолированной нейтралью.

Зная ток однофазного замыкания на землю, можно определить полную проводимость сети относительно земли, допустимое сопротивление растеканию тока защитного заземления электроустановок, необходимую уставку защитного отключения. Зная проводимость фаз относительно земли, можно определять и оценивать безопасность и надежность эксплуатации электроустановок.

Поэтому определению этих характеристик в сетях с изолированной нейтралью должно уделяться постоянное внимание, что гарантирует эксплуатацию этих сетей и электроустановок на более высоком уровне. При этом все измерения в сетях должны проводиться высококвалифицированным электротехническим персоналом в полном соответствии с правилами [15].

2. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ БУРОВЫХ РАБОТАХ

2.1. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ БУРОВЫХ УСТАНОВОК И СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ИХ

Для выполнения работ по строительству и освоению нефтегазовых скважин используют буровые установки, представляющие собой сложный комплекс производственных механизмов. В состав этого комплекса входят подъемная система с индивидуальными приводами для подъема, спуска и подачи инструмента, буровые насосы, ротор, механизмы для приготовления и очистки бурового раствора, погрузочно-разгрузочных работ и пр.

Основные и вспомогательные механизмы буровой установки приводятся в действие от силового привода, характеристики и технико-экономические показатели которого подробно рассмотрены в учебной и специальной литературе [16, 17]. Привод основных производственных механизмов, к которым относятся ротор, буровая лебедка с талевой системой и буровые насосы, может быть автономным — независимым от энергосистемы (дизельный, дизель-электрический, газотурбоэлектрический) и неавтономным — с питанием от сетей энергосистем. При автономном приводе основных механизмов буровой установки вспомогательные механизмы оснащаются индивидуальными электроприводами.

Для электроснабжения буровых установок с электроприводом основных механизмов строятся, как правило, воздушные линии электропередач напряжением 110, 35 и 6 (10) кВ и понижающие трансформаторные подстанции 110/35/6; 110/6 (10); 35/6 (10) кВ.

Для буровых установок, имеющих установленную мощность электрооборудования более 3000 кВт и удаленных более чем на 5—6 км от источника электроэнергии, применяется схема глубокого ввода, т. е. напряжение 110 или 35 кВ подается непосредственно к буровой установке, где сооружается трансформаторная подстанция 110/6 или 35/6 кВ.

Напряжение 6 кВ используется на буровой установке для питания электропривода основных механизмов,

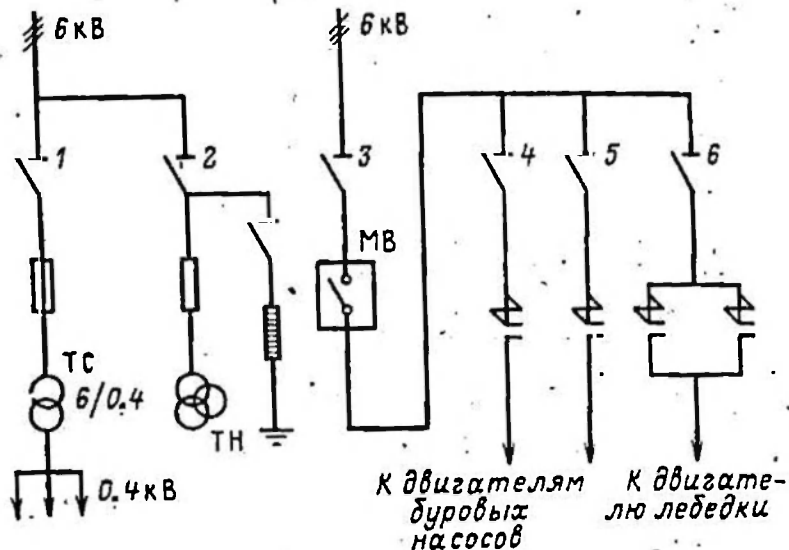


Рис. 6. Схема распределения электроэнергии на буровой установке: МВ — масляный выключатель

а напряжение 380 В через понижающие трансформаторы 6/0,4 кВ — для электропривода вспомогательных механизмов. На некоторых буровых установках электропривод лебедки получает электроэнергию при напряжении 500 В от бурового трансформатора 6/0,525 кВ.

Для распределения электроэнергии на буровых установках с электроприводом основных производственных механизмов используются унифицированные распределительные устройства высокого напряжения. Вариант схемы распределения электроэнергии на буровой установке приведен на рис. 6. От воздушной линии 6 кВ напряжение подводится к распределительному устройству, как правило, через установленный на концевой опоре воздушной линии разъединитель.

В ячейке 1 установлены разъединитель и предохранитель для включения и защиты трансформатора (ТС) питания приводов вспомогательных механизмов установки. В ячейке 2 установлены разъединитель, измерительный трансформатор напряжения (ТН), контрольно-измерительная аппаратура и вентильный разрядник. В ячейке 3 установлены разъединитель и масляный выключатель МВ ввода, через который подается напряжение на шины ячеек 4, 5 и 6 питания двигателей основных механизмов. Ячейки 4 и 5 для включения синхрон-

ных двигателей буровых насосов имеют разъединители, а также неререверсивные вакуумные контакторы напряжением 6 кВ. В ячейке б, предназначенной для включения приводного двигателя буровой лебедки, установлены разъединитель и два вакуумных контактора напряжением 6 кВ, включенные по реверсивной схеме.

На буровых установках, эксплуатируемых в неэлектрифицированных районах, в качестве источника питания трехфазным переменным током электроприводов вспомогательных механизмов, систем освещения и электрообогрева применяют дизель-электрические агрегаты. Такие же агрегаты применяют и на буровых установках в электрифицированных районах в качестве аварийного источника электроснабжения.

Таким образом, на буровых установках могут использоваться одновременно следующие величины напряжений: 6000, 500 и 380 В, или 6000 и 380 В, или только 380 В.

Сети напряжением 6000 и 500 В работают только в режиме с изолированной нейтралью, а сети напряжением 380 В — как правило, в режиме с заземленной нейтралью. В некоторых случаях, когда на буровой установке имеются отдельные трансформаторы для питания освещения, сеть напряжением 380 В работает в режиме с изолированной нейтралью.

Для обеспечения безопасности эксплуатации электрооборудования буровых установок применяют практически все известные меры защиты от поражения электрическим током: защитное заземление, зануление, защитное отключение, выравнивание потенциалов, изоляцию токоведущих частей, блокировки и т. д.

Применение большинства мер защиты на буровых установках аналогично применению их на других установках общепромышленного назначения. Исключение составляют защитное заземление и защитное отключение, применение которых на буровых установках рассмотрим ниже более подробно.

2.2. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ БУРОВЫХ УСТАНОВОК, ПИТАЮЩИХСЯ ОТ ЭЛЕКТРОСЕТИ 6 кВ

Буровая установка с электроприводом основных производственных механизмов включает в себя электрооборудование напряжением до 1000 В и выше, для обеспе-

чения безопасной эксплуатации которого сооружают защитное заземление.

Как известно, защитное действие заземления заключается в том, чтобы уменьшить напряжение, под которым может оказаться человек при пробое изоляции электрооборудования, касаясь металлических частей, нормально не находящихся под напряжением.

Однако это не означает, что напряжение, под которым может оказаться человек, будет меньше длительного допустимого, определяемого физиологическими параметрами электробезопасности (см. табл. 1). Основными факторами, определяющими величину напряжения, приложенного к телу человека, являются напряжение на заземляющем устройстве, форма потенциальной кривой на поверхности земли, переходное сопротивление обуви, сопротивление растеканию тока с ног человека. Учитывая возможность одновременного прикосновения к заземленным частям электрооборудования и деталям технологических устройств (что справедливо для условий особо опасных помещений и наружных установок), можно считать, что напряжение на заземляющем устройстве полностью определяет то максимальное напряжение, под которым может оказаться человек.

В свою очередь, напряжение, появляющееся на заземляющем устройстве при аварийных режимах в электрических сетях или электрооборудовании, определяется произведением $U_3 = I_3 R_3$, где R_3 — сопротивление заземляющего устройства; I_3 — ток замыкания на землю, стекающий с заземляющего устройства.

Так как величины токов замыкания на землю могут быть самыми различными, зависящими от многих факторов, то нормирование сопротивления для заземляющих устройств электроустановок с целью обеспечения электробезопасности имеет определенные недостатки.

Однако такой подход к оценке заземляющих устройств по сопротивлению в абсолютном большинстве случаев вполне оправдан, хотя все же в некоторых случаях, как, например, на буровых установках, он приводит к необоснованному удорожанию заземляющих устройств.

На буровых установках, питающихся от электросети напряжением 6 кВ, экономически более целесообразен метод оценки заземляющего устройства по напряжению прикосновения. Обоснование целесообразности примене-

ния этого метода к оценке защитного заземления буровых установок заключается в следующем.

Анализ аварийных режимов в электрических сетях и электрооборудовании, приводящих к повышению потенциала металлоконструкции буровой установки относительно земли, показал, что с точки зрения поражения электрическим током при прикосновении к металлическим частям, оказавшимся под напряжением в результате пробоя изоляции, наиболее опасен режим однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ [18].

Протекающие по земле токи при аварийных режимах в сетях и электрооборудовании напряжением до 1000 В буровой установки незначительны и не могут вызвать опасных напряжений на заземляющем устройстве ввиду малой протяженности этих сетей, малого напряжения и вследствие того, что все металлические не-токоведущие части установки связаны между собой заземляющей проводкой, связями между технологическими сооружениями и нулевым проводом.

Принимая напряжение на заземлителе равным максимальному значению напряжения прикосновения $U_{\text{пр max}}$, получим, что для обеспечения безопасности необходимо выполнение следующего неравенства:

$$R_3 \leq U_{\text{пр max}}/I_3$$

где I_3 — ток однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ.

Так как правила [15] допускают работу линий электропередач напряжением 6 кВ с заземленной фазой до устранения замыкания, то следует считать, что режим однофазного замыкания на землю в этих сетях может существовать длительно. Поэтому, а также учитывая, что буровая установка относится к установкам особо опасным с точки зрения поражения электрическим током, величину $U_{\text{пр max}}$ необходимо принять равной 12 В. Несмотря на такое, довольно жесткое условие, выполнение неравенства

$$R_3 \leq 12/I_3 \quad (2.1)$$

не только не вызывает затруднений, но и обеспечивает получение определенного экономического эффекта.

Как показали расчеты и многочисленные экспериментальные исследования на буровых установках, значения токов однофазного замыкания на землю в сетях

6 кВ малы и составляют, как правило, доли или единицы ампер. Поэтому величина сопротивления защитного заземления, обеспечивающего безопасность на буровых установках, во многих случаях превышает величину, нормированную без учета величины тока однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ.

Так, сопротивление защитного заземления, удовлетворяющее требованиям, предъявляемым к заземлению электрооборудования буровой установки напряжением до 1000 В и выше, должно быть не более 4 Ом, в то время как для обеспечения безопасности при прикосновении к металлическим частям, оказавшимся под напряжением в результате пробоя изоляции, достаточно обеспечить сопротивление, например, 6 Ом при $I_3=2$ А, или 12 Ом при $I_3=1$ А и т. д.

Следует отметить, что защитное заземление буровой установки, выполненное в соответствии с неравенством (2.1), активно выполняет свою роль только в начальный период бурения с момента подачи напряжения на буровую до спуска и присоединения к заземляющей проводке первой колонны обсадных труб, т. е. практически в течение нескольких дней с начала бурения скважины.

В дальнейшем эффективное снижение напряжения на металлоконструкции буровой установки относительно земли при аварийных режимах обеспечивается использованием таких естественных заземлителей, как шахтовое направление, шурфовая труба, обсадная колонна и других, имеющих малое сопротивление растеканию.

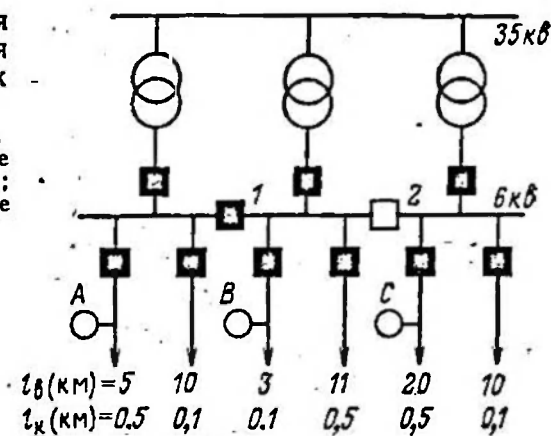
Например, сопротивление растеканию тока шурфовой трубы в грунтах с достаточно высоким удельным сопротивлением не превышает, как правило, 1 Ом, а соответствующее сопротивление обсадной колонны скважины не превосходит 0,1 Ом.

Кратковременное эффективное использование защитного заземления, обеспечивающего до появления естественных заземлителей напряжение на заземляющем устройстве при однофазном замыкании на землю в сети 6 кВ не более 12 В, является одной из специфических особенностей буровой установки, подчеркивающей целесообразность применения для буровых установок метода оценки заземляющих устройств по напряжению прикосновения.

Таким образом, данный метод, обеспечивая безопасность при эксплуатации буровых установок, дает в боль-

Рис. 7. Схема распределения электрической энергии для питания буровых установок при нормальной схеме:

А, В, С — буровые установки; 1 — включенное положение масляного выключателя (МВ); 2 — отключенное положение МВ



шинстве случаев значительную экономию материальных, денежных и трудовых ресурсов. Особенно эффективно применение метода оценки заземляющих устройств по напряжению прикосновения на буровых установках, расположенных в районах с большим удельным сопротивлением грунта. Однако применение вышеизложенного метода ограничено. Он не распространяется на буровые установки, питающиеся от подстанций напряжением 35/6 кВ, расположенных в непосредственной близости от них и имеющих общий контур заземления, а также на установки электробурения, питаемые по системе «два провода — труба», и на установки электровибробурения, питаемые по системе «один провод — труба».

При применении метода оценки заземляющих устройств по напряжению прикосновения необходимо учитывать, что неравенство (2.1), в соответствии с которым определяют допустимое сопротивление защитного заземления для буровых установок, также имеет ограничение.

Так, значение R_z не должно превышать 30 Ом по условию молниезащиты. В то же время не рекомендуется уменьшать сопротивление защитного заземления ниже 4 Ом, даже если это следует из расчета по формуле (2.1).

Приведем пример расчета допустимого сопротивления защитного заземления буровых установок, питающихся от электросети 6 кВ (рис. 7).

1. Расчет сопротивления защитного заземления для буровых установок А и В.

1.1. Общая длина электрически связанных воздушных и кабельных линий (км) соответственно равна

$$\Sigma l_B = 5 + 10 + 3 + 11 = 29; \quad \Sigma l_K = 0,5 + 0,1 + 0,1 + 0,5 = 1,2.$$

1.2. Ток однофазного замыкания (А) на землю в сети 6 кВ определяем по формуле

$$I_3 = U_{л} (\Sigma I_B + 35 \Sigma I_K) / 350 = 6 (29 + 35 \cdot 1,2) / 350 = 1,22.$$

1.3. Допустимое сопротивление защитного заземления (Ом) определяем по формуле (2.1)

$$R_B < 12 / I_3 = 12 / 1,22 = 9,85.$$

Сопротивления защитного заземления для буровых установок А и В рассчитываются одинаково, так как одинаковы токи однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ в точках питания буровых.

2. Расчет сопротивления защитного заземления для буровой установки С.

2.1. Общая длина электрически связанных воздушных и кабельных линий (км) соответственно равна

$$\Sigma L_B = 20 + 10 = 30; \quad \Sigma I_K = 0,5 + 0,1 = 0,6.$$

2.2. Ток однофазного замыкания (А) на землю в сети 6 кВ определяем аналогично п. 1.2

$$I_3 = 6 (30 + 35 \cdot 0,6) / 350 = 0,875.$$

2.3. Допустимое сопротивление защитного заземления (Ом) определяем по формуле (2.1)

$$R_B < \frac{12}{0,875} = 13,7.$$

Если токи замыкания на землю в сети 6 кВ определены экспериментальным путем одним из известных методов, то допустимые сопротивления защитного заземления буровых установок А, В и С определяются непосредственно по формуле (2.1).

2.3. ЗАЗЕМЛЕНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРО- И ВИБРОЭЛЕКТРОБУРЕНИЯ

Установка электробурения осуществляет непосредственный процесс бурения скважин с помощью электробура, включающего в себя погружной двигатель и шпindel с пятами для передачи нагрузки на долото.

Электроэнергия подводится к электробуру от распределительного устройства через трансформатор, станцию управления, токоприемник и двухжильный шланговый резиновый кабель. В качестве третьего провода в системе питания двигателя электробура используются бурильные трубы. Шланговый кабель выполняется из отдельных отрезков (секций), которые автоматически соединяются электрически в одно целое при свинчивании бурильных труб.

По сравнению с трехпроводным токоподводом, токоподвод по системе «два провода — труба» (ДПТ) обладает повышенной надежностью и создает меньшее гидравлическое сопротивление буровому раствору, прокачиваемому через бурильные трубы в затрубное пространство. Однако при этом по колонне бурильных труб даже при нормальном режиме работы электробура протекает значительный по величине ток. Это вызывает падение напряжения на колонне бурильных труб, в результате чего на поверхности земли возникают напряжения прикосновения и шага.

В аварийном режиме при пробое изоляции кабеля и замыкании жилы кабеля на колонну величина тока, протекающего по колонне, возрастает в несколько раз.

Соответственно возрастают падения напряжения на колонне и напряжения прикосновения и шага. Причем падение напряжения на колонне бурильных труб будет максимальным при пробое изоляции кабеля на вводе в электробур.

Поэтому для обеспечения электробезопасности, исключения возможности появления опасных по величине напряжений на металлоконструкции буровой установки относительно земли, необходимо сооружение эффективного защитного заземления.

Исходя из возможности кратковременного протекания рабочего тока в одном из аварийных режимов через защитное заземление электробура, правила [15] требуют обеспечить сопротивление растеканию тока величиной не более 0,6 Ом.

Эта величина исключает опасность поражения током от напряжения прикосновения к металлическим нетоковедущим частям установки при различных аварийных режимах, в том числе и при аварийных режимах, которые могут возникнуть при питании электробура по системе ДПТ в процессе бурения скважины под кондуктор [19]. То есть в период, когда на буровой еще отсутствуют эффективные естественные заземлители.

Следует отметить, что с целью выравнивания потенциалов к защитному заземлению буровой установки должны быть присоединены: стальные трубы и металлические короба, внутри которых проложены кабели питания электробура, роторный стол, лебедка, буровой трансформатор, комплектное устройство управления и защиты электробура, ноги вышки и привышечные сооруже-

ния, шахтовое направление, кондуктор скважины и шурфовые трубы (после их установки), а также корпус токоприемника и вертлюг с помощью гибкого медного провода.

Присоединение заземляющих проводников к защитному заземлению и к заземляемым конструкциям должно быть выполнено сваркой, а присоединение к корпусам оборудования — сварной или резьбовыми соединениями. В резьбовых соединениях, крепящих заземляющие проводники, должны быть приняты меры против возможного ослабления контактов. Места присоединения заземляющих проводников должны быть доступны для осмотра.

Исследования в области повышения эффективности процесса бурения скважин привели к созданию и промышленному применению в последнее время нового вида установок — установок электровибробурения. Установка электровибробурения представляет собой специальное дополнительное устройство для роторного бурения. Назначение этой установки — создавать вибрацию долота в направлении оси колонны труб. Вибрация долота создается стриктором, располагаемым над долотом. Стриктор представляет собой шихтованный сердечник из никелевых пластин с обмоткой.

При пропускании по этой обмотке переменного тока с некоторой частотой линейные размеры сердечника изменяются с той же частотой. Этот эффект и использован для создания вибрации долота.

Питание стриктора производится от генератора переменного тока и генератора постоянного тока, предназначенного для подмагничивания стриктора. Обмотка стриктора питается по системе «один провод — труба» (ОПТ), т. е. здесь так же, как и в установке электробурения, колонна бурильных труб используется в качестве токоподвода значительного по величине тока.

Анализ условий электробезопасности при нормальных и различных аварийных режимах работы установки электровибробурения показал [20], что использование колонны бурильных труб в качестве токоподвода в системе ОПТ не создает дополнительных опасностей поражения электрическим током к выявленным при соответствующем анализе системы ДПТ, применяемой в электробурении.

В связи с этим особых требований к сопротивлению

защитного заземления установки электровибробурения не предъявляется, а за нормируемую величину рекомендуется принимать ту величину сопротивления растеканию тока, которая принята в электробурении, т. е. 0,6 Ом.

2.4. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТИПОВЫХ СХЕМ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Защитное отключение — одна из наиболее эффективных систем защиты, автоматически отключающая аварийный участок или всю сеть при возникновении опасности поражения током. Защитное отключение рекомендуют, как правило, для случаев, когда безопасность не может быть обеспечена заземлением или когда его установка связана с трудностями выполнения или по экономическим соображениям, что наиболее остро ощущается в районах с высоким удельным сопротивлением грунта. Однако несмотря на эффективность автоматической системы защиты и наличие устройств, выпускаемых промышленностью, защитное отключение не получило пока должного распространения. Это вызвано как некоторыми нерешенными вопросами, связанными с применением защитного отключения, так и несовершенством самих схем.

Известные схемы защитного отключения делятся на типы в зависимости от входной величины, на изменение которой реагирует устройство. В соответствии с принципом действия каждый тип защитного отключения имеет свою область применения. Целесообразность же применения конкретной схемы защитного отключения определяется как параметрами электроустановок и видом осуществляемой защиты, так и их специфическими особенностями, которыми, в частности, обладает буровая установка:

В связи с этим представляет определенный интерес обоснование применения на буровой установке наиболее целесообразной типовой схемы защитного отключения, обеспечивающей безопасность при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям оборудования, оказавшимся под напряжением вследствие пробоя изоляции.

К типовым схемам защитного отключения, обеспечивающим этот вид защиты, относятся схемы:

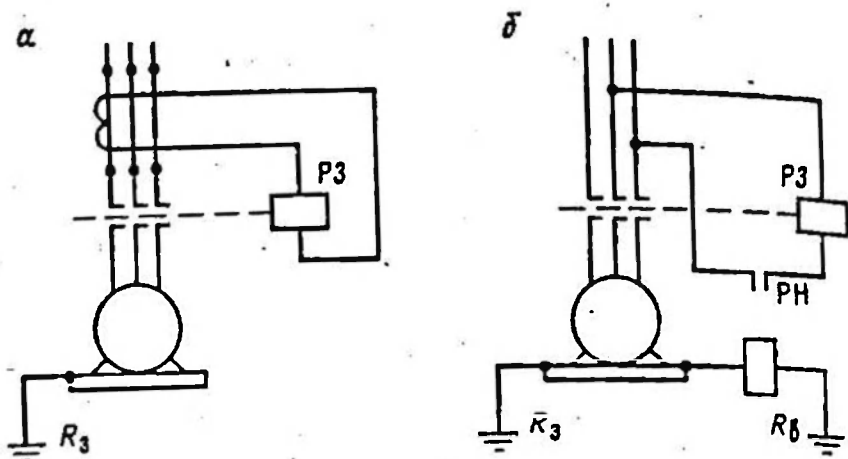


Рис. 8. Схема защитного отключения, реагирующая на:
 а — ток нулевой последовательности; б — напряжение корпуса относительно земли

- 1) реагирующие на ток замыкания на землю;
- 2) реагирующие на напряжение фазы относительно земли;
- 3) реагирующие на напряжение нулевой последовательности;
- 4) реагирующие на несимметрию фазных токов утечки (ток нулевой последовательности);
- 5) реагирующие на напряжение корпуса относительно земли.

Каждая из перечисленных выше схем достаточно подробно описана в [21, 22], поэтому ниже рассмотрим лишь возможность использования их на буровых установках [23].

Схемы, реагирующие на ток замыкания на землю, не могут быть использованы на буровой установке из-за невозможности осуществления связи металлических не-токоведущих частей буровой установки с землей только через катушку реле тока. Также неприменимы на буровой установке схемы, реагирующие на напряжение фазы относительно земли и на напряжение нулевой последовательности, из-за срабатывания схемы при повреждении в любой части гальванически связанных линий.

Две последние схемы, реагирующие на ток нулевой последовательности (рис. 8, а) и на напряжение корпуса относительно земли (рис. 8, б), приемлемы для буровых установок.

Но применение схем на напряжении корпуса относительно земли более целесообразно. Это обусловлено тем, что устройство защитного отключения, предназначенное для обеспечения безопасности при прикосновении к заземленным нетокопроводящим частям установки, оказавшимся под напряжением, может быть эффективно использовано лишь то время после подачи напряжения на буровую установку, пока не будет спущена в пробуренную скважину первая обсадная колонна труб, сопротивление растеканию которой составляет, как правило, менее 0,1 Ом.

Присоединением обсадной колонны к заземляющей проводке буровой исключается появление напряжения на заземленных нетокопроводящих частях выше длительно допустимого.

Таким образом, защитное отключение может быть эффективно использовано лишь в течение нескольких суток, после чего оно может быть демонтировано и использовано при пуске другой буровой установки.

Необходимо отметить, что использование шурфовой трубы в качестве заземлителя буровой установки, которая, как правило, устанавливается раньше, чем начинается бурение основной скважины, и имеет малое сопротивление растеканию тока (< 1 Ом), уменьшает время эффективного использования защитного отключения. На основании этого, несмотря на наличие ряда электроприемников на буровой установке, селективного отключения каждого из них не требуется, т. е. нет необходимости использовать важное преимущество схем на токе нулевой последовательности: возможность установки устройства защитного отключения на каждом электроприемнике.

Это возможно потому, что во время эффективного использования защитного отключения перерыв в электропитании всей буровой установки не приведет к прихвату бурильной колонны труб из-за незначительной глубины скважины.

Использование защитного отключения на токе нулевой последовательности может привести к тому, что такое преимущество этих схем, как независимость действия защиты от удельного сопротивления грунта, станет нежелательным, так как срабатывание защиты будет приводить к отключению всей буровой установки при замыкании на корпус даже тогда, когда напряжение на

заземлителе будет намного ниже длительно допустимого. Такие отключения можно отнести к ложным.

Схемы же на напряжении корпуса относительно земли свободны от этого недостатка, так как реагируют непосредственно на величину напряжения на заземлителе и при напряжениях ниже выбранной уставки они не срабатывают.

Необходимо отметить, что наличие ряда электроприемников на буровой установке может привести к тому, что ток нулевой последовательности, вызывающий срабатывание устройства защитного отключения, может быть каким-то образом распределен между ними и отыскать неисправное оборудование будет сложно. Кроме того, очевидна нецелесообразность сложного монтажа и демонтажа защитного отключения по току нулевой последовательности на очень короткий срок.

Этих недостатков лишены схемы защитного отключения, реагирующие на напряжение корпуса относительно земли. На основании изложенного, а также учитывая простоту конструкции схем на напряжении корпуса относительно земли, целесообразно использовать для защиты на буровой установке именно эти схемы. Кроме буровых установок защитное отключение на напряжении корпуса относительно земли может быть эффективно использовано и для защиты на передвижных установках, независимо от номинального напряжения и режима нейтрали сети.

Однако следует отметить, что эффективность применения этих схем существенно зависит от выполнения ряда условий, которые рассмотрим ниже более подробно.

К одним из основных требований, предъявляемых к устройствам защитного отключения, относится чувствительность, под которой понимается способность устройства реагировать на нарушение нормального, безопасного режима работы электрической сети.

Но при применении защитного отключения на напряжении корпуса относительно земли возможны случаи несрабатывания защиты, в то время как напряжение между корпусом и землей будет равно или выше длительно допустимого.

Причины этого (имеется в виду, что устройство защитного отключения исправно) кроются в принципе действия этих схем.

Как видно из рис. 8, б, реле напряжения РН (датчик,

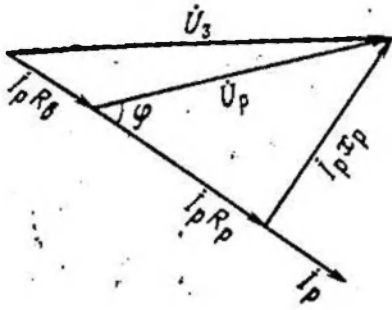


Рис. 9. Векторная диаграмма распределений напряжений между реле РН и вспомогательным электродом R_b .

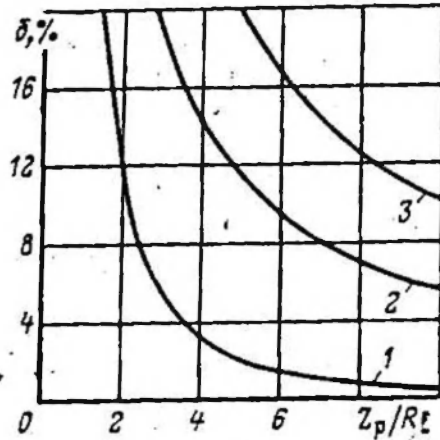


Рис. 10. Зависимость относительного разброса напряжений δ от соотношения сопротивлений реле z_p и вспомогательного электрода R_b :
1, 2 и 3 — соответственно при $\cos \varphi = 0; 0.5$ и 1

реагирующий на наличие разности потенциалов) включено между корпусом защищаемого оборудования и вспомогательным электродом, сопротивление растеканию которого R_b является переменной случайной величиной, зависящей от удельного сопротивления грунта при определенных размерах и расположении электрода.

В то же время величина R_b при заданном внутреннем полном сопротивлении реле z_p определяет, насколько напряжение между корпусом и землей U_s , при котором защита срабатывает, отличается от собственного номинального напряжения срабатывания реле U_p .

Из векторной диаграммы (рис. 9), где показано распределение напряжений между катушкой реле и вспомогательным электродом, следует, что

$$U_s = I_p \sqrt{z_p^2 + R_b^2 + 2R_b z_p \cos \varphi},$$

где I_p — ток срабатывания реле; φ — угол сдвига между током I_p и напряжением U_p .

Относительный разброс (δ) между напряжением U_s и напряжением U_p можно представить как

$$\delta = (U_s - U_p) / U_p.$$

Но так как $U_p = I_p z_p$, то

$$\delta = \frac{\sqrt{z_p^2 + R_B^2 + 2R_B z_p \cos \varphi} - z_p}{z_p} \quad (2.2)$$

Из выражения (2.2) видно, что чем меньше R_B , тем меньше и δ . Однако в реальных условиях трудно рассчитывать на малое сопротивление вспомогательного электрода. Поэтому целесообразно определить то оптимальное соотношение между внутренним сопротивлением реле z_p и R_B , при котором относительный разброс напряжений лежит в практически допустимых пределах.

На рис. 10 показаны зависимости δ от z_p/R_B при трех значениях $\cos \varphi$.

Но реле напряжения с низкой уставкой срабатывания содержит диодный мост, в диагональ которого включена катушка реле, в связи с чем рассмотрим кривую 3 ($\cos \varphi = 1$). При этом если считать допустимым δ порядка 10 %, то необходимо выдержать соотношение $z_p/R_B \geq 10$, обеспечивающее достаточную чувствительность защитного отключения. Нарушение этого соотношения приведет к тому, что напряжение на реле будет меньше напряжения срабатывания, в то время как напряжение между корпусом и землей превысит значение длительно допустимого. Соотношение $z_p/R_B \geq 10$ является весьма жестким условием и требует использования реле напряжения с возможно большим сопротивлением катушки.

Помимо влияния удельного сопротивления грунта, на работу защитного отключения на напряжении корпуса относительно земли оказывают влияние также металлические подземные коммуникации (трубопроводы, оболочки кабелей и т. п.). Оно сказывается в искажении кривой распределения потенциала при стекании тока с заземлителей вносимыми подземными коммуникациями. При этом неудачный выбор места установки вспомогательного электрода приведет к тому, что защитное отключение не сработает ввиду разности потенциалов, меньшей, чем напряжение срабатывания реле, хотя на самом оборудовании будет недопустимо высокий потенциал.

Для решения вопроса о правильном выборе места установки вспомогательного электрода необходимо знать распределение потенциалов на поверхности земли при стекании токов с заземляющих устройств и наличии подземных коммуникаций.

При этом необходимо различать два случая:

1) подземная коммуникация не связана с заземляющим устройством защищаемого оборудования, т. е. не используется в качестве естественного заземлителя и не участвует в стекании тока замыкания; 2) подземная коммуникация имеет металлическую связь с заземляющим устройством защищаемого оборудования.

Аналитические выражения, позволяющие определить характер распределения потенциалов на поверхности земли для данных двух случаев, приведены в [24, 25]. Их анализ и проведенные расчеты показали, что подземные коммуникации, не используемые в качестве естественных заземлителей, не нарушают нормальной работы защитного отключения. Подземные коммуникации, используемые в качестве естественных заземлителей, могут шунтировать датчик защитного отключения (реле) при неправильном выборе места установки вспомогательного электрода. Поэтому направление подземных коммуникаций необходимо учитывать.

Для исключения их влияния на работу защитного отключения вспомогательный электрод должен быть установлен на расстоянии не менее 25—30 м от коммуникаций, имеющих связь с заземляющим устройством защищаемого оборудования.

Таким образом, при проектировании и эксплуатации защитного отключения на напряжении корпуса относительно земли необходимо соблюдать оптимальное соотношение между внутренним сопротивлением реле напряжения и сопротивлением вспомогательного электрода, а также минимально допустимое расстояние между вспомогательным электродом и подземными коммуникациями, используемыми в качестве естественных заземлителей. При этом будут исключены случаи несрабатывания защиты, когда напряжение между корпусом и землей будет равно или выше длительно допустимого.

При применении защитного отключения на буровых установках требования к сопротивлению защитного заземления могут быть значительно снижены [26], что особенно важно при бурении в районах с высоким удельным сопротивлением грунта. Однако при этом защитное отключение должно осуществлять самоконтроль, т. е. отключать буровую установку при повреждении самого устройства защитного отключения, что обеспечивает большую степень безопасности.

2.5. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С САМОКОНТРОЛЕМ ИСПРАВНОСТИ

Анализ эффективности применения типовых схем защитного отключения выявил целесообразность использования на электрифицированных буровых установках схем, реагирующих на напряжение корпуса относительно земли.

Известно несколько принципиальных решений этого типа схем [27, 28, 29], однако наиболее целесообразна для применения схема, включающая в себя протектор 1, стабилитрон 2, конденсатор 3 и поляризованное реле 4 (рис. 11) [30].

Протектор — электрод, выполненный из сплава на алюминиевой или магниевой основе. Они широко используются для защиты подземных металлических сооружений от коррозии.

Данная схема работает следующим образом. Протектор 1, используемый в качестве вспомогательного электрода, является источником постоянного оперативного тока. Разность потенциалов между ним и заземлением защищаемого электрооборудования составляет 0,6—0,8 В (протектор имеет более отрицательный потенциал, чем стальные элементы заземления).

Сопротивление стабилитрона 2 току протектора при таком напряжении очень велико. Поэтому в нормальном режиме, когда переменное напряжение на корпусе защищаемого оборудования относительно земли меньше допустимого или равно нулю, ток протектора проходит через все соединительные провода устройства и приводит к срабатыванию поляризованного реле 4 с нормально открытыми контактами.

При обрыве любого из соединительных проводов катушка реле 4 обесточивается и контакты реле раз-

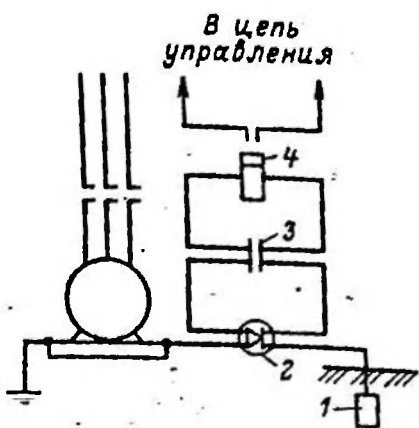


Рис. 11. Схема защитного отключения на напряжении корпуса относительно земли с самоконтролем исправности

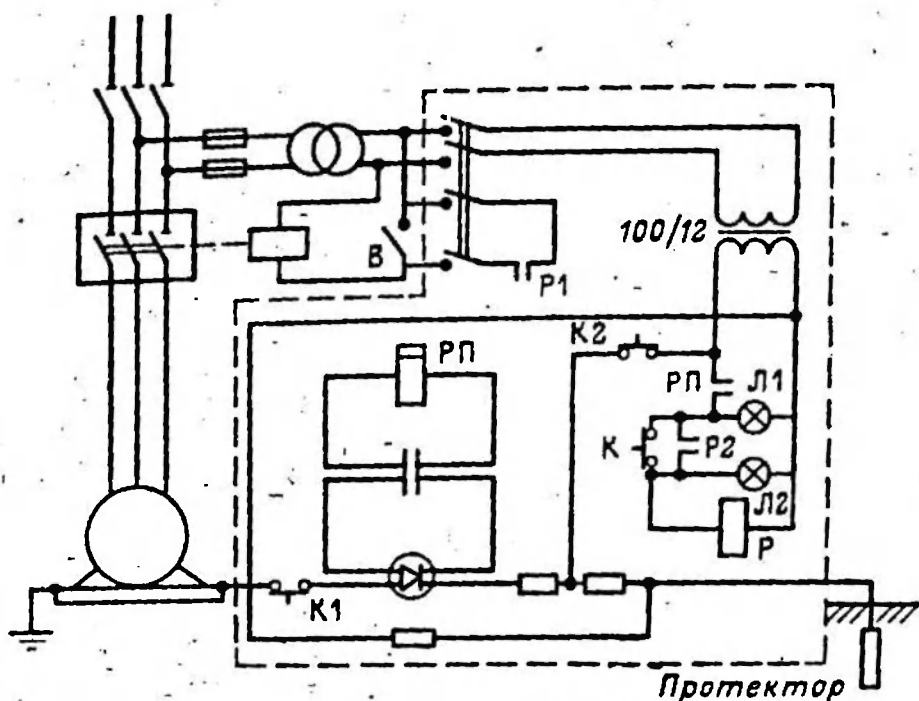


Рис. 12. Принципиальная электрическая схема устройства защитного отключения «ЗОРГ-12»

мыкаются, что приводит к отключению защищаемого оборудования.

При пробое стабилитрона или конденсатора 3 катушка реле шунтируется малым сопротивлением и контакты реле также размыкаются, отключая электроустановку.

В аварийном режиме при наличии переменного напряжения на корпусе защищаемого оборудования выше допустимого (например, при $U_3 \geq 12$ В) ток в реле 4 меняет свое направление на противоположное из-за несимметричной вольт-амперной характеристики стабилитрона. Контакты реле размыкают цепь управления и отключают электроустановку.

Таким образом, данная схема защиты обеспечивает отключение электроустановки при появлении напряжения на корпусе относительно земли и при возникновении неисправности в самом устройстве защитного отключения.

Используя данное техническое решение, отечественной промышленностью было освоено изготовление устройства защитного отключения «ЗОРГ-12» (рис. 12). [31].

Контакты поляризованного реле РП данного устройства коммутируют цепь питания промежуточного реле Р, нормально открытые контакты которого Р1 включены последовательно с нулевой катушкой масляного выключателя.

Так как для питания нулевой катушки масляного выключателя используется вторичное напряжение измерительного трансформатора (100 В), то это же напряжение используется и для питания катушки промежуточного реле. Многополюсным переключателем это напряжение подается на понижающий трансформатор 100/12 В.

При этом если устройство защитного отключения исправно и полностью закончен монтаж (заглублен протектор, осуществлено присоединение к заземляющей проводке буровой установки), то загорается лампа Л1.

Нажатием кнопки К напряжение 12 В подается на катушку промежуточного реле Р и лампу Л2, горение которой свидетельствует о готовности устройства к работе. Кнопка К блокируется нормально открытыми контактами Р2. По лампам Л1 и Л2 можно судить о причине отключения устройством коммутационного аппарата, установленного на вводе.

Так, например, если произошло отключение и погасли обе лампы, то причиной отключения является неисправность устройства защитного отключения или обрыв соединительных проводов устройства с протектором и заземляющей проводкой, но если погасла только лампа Л2, то причина отключения — замыкание на корпус одной из фаз питающей сети и появление на корпусе напряжения относительно земли более 12 В.

Поскольку устройство «ЗОРГ-12» рекомендуется использовать на буровой установке в начальный период (с момента подачи напряжения до появления эффективных естественных заземлителей), то обесточивание всей буровой установки при наличии замыкания на корпус или в результате неисправности самого устройства не вызовет никаких технологических осложнений, которые могут иметь место при бурении скважин в более поздний период.

Оно включает в себя также дискретные цепи контроля исправности. Так, кнопка К1 позволяет имитировать обрыв соединительных проводов, а кнопка К2 — наличие на заземляющем устройстве опасного напряжения ($U_3 \geq \geq 12$ В).

Для того чтобы иметь возможность контролировать работу устройства «ЗОРГ-12», не нарушая при этом питания защищаемого оборудования, можно использовать выключатель В, шунтирующий нормально открытые контакты промежуточного реле Р1. Основные технические данные устройства «ЗОРГ-12» приведены ниже.

Напряжение срабатывания, В	12
Напряжение питания (от измерительного трансформатора 6000/100 В), В	100
Время срабатывания, с, не более	0,05
Сопrotивление проектора, Ом, не более	1000
Потребляемая мощность, Вт	15
Масса, кг	7

Устройство «ЗОРГ-12» обладает определенной зоной действия, которая существенно зависит от схемы распределения электрической энергии.

Зона действия определяется по расположению коммутационного аппарата, на который воздействует защитное отключение, и для обеспечения наибольшей зоны защиты выбираются аппараты, расположенные возможно выше по схеме.

На рис. 6 приведена наиболее распространенная схема распределения электроэнергии на буровой установке.

Здесь электродвигатели насосов и лебедки питаются через контакторы напряжением 6 кВ, на которые воздействует защита от перегрузки. Защита же от короткого замыкания воздействует на масляный выключатель, расположенный выше контакторов и обеспечивающий своей разрывной мощностью безаварийное отключение коротких замыканий. На этот же выключатель должно воздействовать и устройство защитного отключения.

Что касается электроприемников напряжением 525 и 380 В, то здесь следует учесть незначительную величину токов замыкания на землю и практическое отсутствие напряжения на заземлителе буровой установки при однофазных замыканиях этих сетей, работающих в режиме изолированной нейтрали.

Если же сеть 380/220 В работает в режиме заземленной нейтрали, то однофазное замыкание отключается защитой от короткого замыкания. Поэтому защищать сети 525 и 380 В защитным отключением, реагирующим на появление напряжения на корпусе относительно земли, не требуется.

2.6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ НА БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ

Решая вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации электроустановок, может быть вполне оправданным применение дорогостоящих устройств, внедрение которых не дает экономического эффекта, но обеспечивает большую степень безопасности.

Рассматривая же применение защитного отключения с самоконтролем исправности, можно отметить, что оно обходится не дороже, чем сложные заземляющие устройства, и внедрение этой защиты на буровых установках дает немалый экономический эффект.

Суть получаемого эффекта заключается в следующем. Сооружение заземляющего устройства, как известно, требует выполнения значительного объема трудоемких земляных работ и расхода металла. Причем объем земляных работ и расход металла почти пропорционально увеличивается с увеличением удельного сопротивления грунта (например, в северных районах страны, богатых нефтегазовыми запасами, где промерзание грунта приводит к резкому увеличению его удельного сопротивления).

Однако заземляющее устройство, являясь пассивным средством защиты, не исключает вероятность электротравматизма при некоторых аварийных режимах в электрических сетях (например, при двойных замыканиях на землю) и, кроме того, осуществляет свои защитные функции на буровой установке только до спуска в скважину и присоединения к заземляющей проводке первой колонны обсадных труб (кондуктора).

После установки кондуктора, сопротивление растеканию тока которого, как правило, меньше 0,1 Ом, заземляющее устройство перестает играть какую-либо существенную роль в обеспечении безопасности персонала.

Поэтому вполне очевидна нецелесообразность сооружения на такой короткий период (до установки кондуктора) заземляющего устройства, нормированного по величине, взамен которого может быть использовано устройство защитного отключения с самоконтролем, автоматически отключающее буровую установку при возникновении опасности поражения электрическим током или при неисправности самой защиты. Это позволяет значи-

тельно снизить требования к сопротивлению заземляющего устройства буровой установки, а также повысить безопасность обслуживающего персонала.

При этом экономическая эффективность будет обуславливаться сокращением затрат на земляные работы, материалы и долговременным применением устройства защитного отключения с самоконтролем по отношению к заземляющему устройству, нормированному по величине, срок применения которого ограничен временем бурения одной скважины (или куста скважин).

Устройство защитного отключения с самоконтролем может быть использовано на большом количестве скважин за время срока службы, а заземляющее устройство, сопротивление которого не более 4 Ом, должно быть сооружено каждый раз заново при бурении новой скважины (или нового куста скважин).

В соответствии с [32] экономическая эффективность применения защитного отключения на буровой установке может быть определена по формуле

$$\mathcal{E} = \left[Z_1 \frac{B_2}{B_1} \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(I_1' - I_2') + E_n (K_2' - K_1')}{P_2 + E_n} - Z_2 \right] A_2, \quad (2.3)$$

где Z_1 и Z_2 — приведенные затраты единицы заземляющего устройства и устройства защитного отключения, руб; B_1 и B_2 — годовые объемы продукции, производимые при использовании единицы заземляющего устройства и устройства защитного отключения, в натуральных единицах; P_1 и P_2 — доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) заземляющего устройства и устройства защитного отключения (рассчитываются как величины, обратные сроком службы); E_n — нормативный коэффициент эффективности (0,15); K_1' и K_2' — сопутствующие капитальные вложения потребителя без учета стоимости рассматриваемых средств труда; I_1' и I_2' — годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании заземляющего устройства и устройства защитного отключения; A_2 — годовой объем производства устройства защитного отключения в расчетном году, в натуральных единицах.

Так как годовые объемы продукции не изменяются после внедрения устройства защитного отключения, а годовые эксплуатационные издержки до внедрения уст-

ройства защитного отключения и сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании заземляющего устройства и устройства защитного отключения отсутствуют, то

$$B_1 = B_2, \quad H'_1 = 0, \quad K'_1 = K'_2 = 0.$$

Тогда формула (2.3) примет следующий вид:

$$\mathcal{E} = \left(Z_1 \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} - \frac{H'_2}{P_2 + E_H} - Z_2 \right) A_2. \quad (2.4)$$

Затраты, связанные с сооружением заземляющего устройства, можно разбить на затраты, связанные с сооружением вертикальных электродов, и затраты, связанные с необходимостью обвязки всего электрооборудования буровой установки единой заземляющей проводкой.

При использовании защитного отключения, как правило, отсутствует необходимость в сооружении вертикальных электродов заземляющего устройства. Обвязка же всего электрооборудования единой заземляющей проводкой обязательна. Учитывая это, можно считать, что внедрение устройства защитного отключения исключает затраты, связанные с сооружением вертикальных электродов заземления.

Тогда, под обозначением Z_1 будем понимать затраты, связанные с сооружением вертикальных электродов заземления, а под обозначением Z_2 — удельные капитальные вложения в производственные фонды (т. е. стоимость устройства защитного отключения), для приведения которых должны быть использованы нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_H = 0,15$), а также амортизационные отчисления на увеличенную часть основных фондов.

В приведенные затраты до и после внедрения устройства защитного отключения входит зарплата электромонтера, сварщика, вышкомонтажника. Так как эти затраты практически одинаковы, то в расчете экономической эффективности они не учитываются.

Таким образом, затраты Z_1 до внедрения устройства защитного отключения будут складываться из расходов на земляные работы, материалы и их доставку к мест сооружения заземляющего устройства, т. е.

$$Z_1 = T_n + T_1 l + T_2 m,$$

где T — стоимость земляных работ для сооружения одного вертикального электрода; n — число вертикальных электродов; T_1 — стоимость одного метра трубы; l — длина труб; T_2 — стоимость доставки 1 т груза; m — масса труб.

Затраты Z_2 представляют собой приведенные удельные капиталовложения в производственные фонды и амортизационные отчисления, т. е.

$$Z_2 = E_n C_y + R C_y = (E_n + R) C_y,$$

где C_y — стоимость устройства защитного отключения; R — норма амортизации.

Определив теперь P_1 и P_2 как величины, обратные срокам службы соответственно заземляющего устройства и защитного отключения, а также годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании защитного отключения как $I_2' = R_k C_y$, где R_k — норма амортизации на капремонт, получим по формуле (2.4) экономический эффект, достигаемый при внедрении устройства защитного отключения.

При использовании устройства защитного отключения «ЗОРГ-12» на буровых установках можно обеспечить получение экономического эффекта до 1500 руб. в год на одно устройство.

3. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Проведение прострелочно-взрывных работ в скважинах связано с опасностью преждевременного срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА).

Одной из наиболее существенных причин преждевременного срабатывания ПВА является протекание во взрывной цепи посторонних токов, источниками которых могут быть: различные аварийные режимы в электрических сетях; электромагнитные излучения радиостанций; электротяговые блуждающие токи; электростатические заряды; грозовые заряды.

Этот далеко не полный перечень источников посторонних токов свидетельствует об опасности воздействия электрического тока, электромагнитного поля и статического электричества на взрывную цепь.

Защита людей от опасности подобных воздействий электрической энергии может быть обеспечена путем решения широкого круга задач как организационного, так и технического характера, относящихся к области электробезопасности [33].

До недавнего времени обеспечение электробезопасности при прострелочно-взрывных работах (ПВР) заключалось в основном в отключении всех электроустановок в зоне проведения работ (радиусом 50 м), заземлении геофизического подъемника и прекращении работ при приближении грозы.

Однако в настоящее время выполнить одно из главных мероприятий по электробезопасности при ПВР весьма трудно. Речь идет о невозможности полностью обеспечить электроустановки в зоне проведения работ.

Ускорение темпов освоения скважин требует проведения ПВР в темное время суток при наличии включенных электроосветительных установок, что, безусловно, повышает опасность преждевременного срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов. В связи с этим проблема обеспечения электробезопасности при проведении ПВР приобрела особую актуальность. Ее решение зависит прежде всего от выяснения условий, необходимых

для преждевременного срабатывания ПВА, и обоснования мероприятий и параметров технических средств, подлежащих разработке и внедрению в практику проведения прострелочно-взрывных работ.

2.1. ВЛИЯНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НА СРАБАТЫВАНИЕ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ АППАРАТОВ

Аварийные режимы в электрических сетях буровых установок или других электроустановок, расположенных вблизи скважин, сопровождаются рядом явлений, из которых протекание тока по заземляющей проводке и появление напряжения относительно земли на заземленных корпусах электрооборудования представляют наибольшую опасность при проведении прострелочно-взрывных работ [35].

В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В и выше следует отметить два аварийных режима, когда на заземленных металлических корпусах возникает напряжение относительно земли. Это режимы однофазного замыкания на корпус и двойного замыкания на землю.

Величины тока замыкания на землю в этих режимах различны, соответственно различны и напряжения, возникающие на корпусах электрооборудования относительно земли. Наличие этих напряжений может привести к тому, что через соединенный с кабелем электродетонатор будет протекать ток, величина которого превышает значение безопасного тока.

При этом опасность срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов существует даже в том случае, если напряжение относительно земли не превышает нескольких вольт. Аварийные режимы в сетях с заземленной нейтралью до 1000 В также вызывают появление напряжения на заземленных металлоконструкциях относительно земли и протекание тока по заземляющей проводке. Следует отметить следующие аварийные режимы: замыкание фазы сети на корпус и обрыв нулевого провода.

Напряжения относительно земли, которые могут возникнуть на заземленных корпусах электрооборудования при аварийных режимах в сети с заземленной нейтралью, в зависимости от соотношений сопротивлений фазного

и нулевого (включая заземляющий) проводов и сопротивлений растеканию тока заземляющих устройств источника питания и электроприемников также различны. Однако, как было сказано выше, напряжение даже в несколько вольт уже представляет опасность.

Так, если буровая питается от сооруженной вблизи нее подстанции напряжением 35/6 кВ, то их заземляющие устройства, как правило, объединены заземляющей проводкой. По последней может произойти вынос потенциала с заземляющего устройства подстанции при аварийных режимах в сети 35 кВ, несмотря на то что сама буровая будет полностью обесточена.

Особо следует отметить специфичные опасные моменты при проведении прострелочно-взрывных работ при кустовом строительстве скважин, когда на соседних скважинах одновременно ведутся буровые и прострелочно-взрывные работы.

В этом случае радиус опасной зоны, в пределах которой Едиными правилами [34] предусматривается отключение всего электрооборудования, не будет иметь определяющего значения. Это обусловлено тем, что куст скважин представляет собой единую металлоконструкцию, поэтому при аварийных режимах в электрических сетях буровой установки независимо от расстояния на этой металлоконструкции возникает напряжение относительно земли, что может вызвать срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА).

Таким образом, при проведении ПВР не исключена вероятность появления на заземленных металлоконструкциях оборудования напряжения относительно земли. Это напряжение может вызвать протекание во взрывной цепи опасного по величине тока при возникновении утечки в геофизическом кабеле, а также если концы взрывной цепи будут замкнуты между собой на коллекторе лебедки. Поэтому Единые правила [34] запрещают замыкать между собой эти концы.

При прострелочно-взрывных работах очень часто с коллектором лебедки соединяют провода, которые, свисая, могут касаться металлического кузова подъемника или замыкаться между собой. Поэтому, учитывая опасность преждевременного срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов (ПВА), провода от взрывного прибора должны подключаться к коллектору лебедки тогда, когда аппарат будет находиться только в интервале от-

стрела. После срабатывания ПВА провода должны быть отсоединены от коллектора лебедки.

Уменьшить вероятность преждевременного срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов при аварийных режимах в электрических сетях можно также путем правильного заземления подъемника. Единые правила [34] не оговаривают способы заземления, несмотря на существенные различия в условиях безопасности при неправильном его выполнении.

Для заземления подъемника недопустимо использование заземлителей, не имеющих надежной металлической связи с заземляющим устройством буровой или глубиннонасосной установки, на которой проводятся прострелочно-взрывные работы. При отдельном заземлении подъемника при аварийном режиме между заземляющими устройствами скважины и подъемника может возникнуть разность потенциалов, что в свою очередь вызовет протекание тока во взрывной цепи. Поэтому заземлять подъемник необходимо, соединяя его шасси с заземляющей проводкой скважины.

С целью исключения при аварийных режимах в электрических сетях появления разности потенциалов между обсадной колонной (являющейся весьма эффективным естественным заземлителем) и заземленными металлическими частями необходимо до проведения прострелочно-взрывных работ убедиться в наличии между ними металлической связи.

При ее отсутствии во взрывной цепи также возможно протекание опасного по величине тока. Связь между обсадной колонной и заземляющим устройством должна осуществляться двумя заземляющими проводниками сечением не менее 50 мм^2 . При этом места крепления заземляющих проводников к колонне должны быть доступны для осмотра. В случаях опасности выноса потенциала с электроустановок, расположенных вблизи скважины вне опасной зоны, или когда электроустановки, находящиеся в пределах опасной зоны, не могут быть полностью обесточены, повысить безопасность проведения прострелочно-взрывных работ можно путем применения устройств блокировок, исключающих протекание во взрывной цепи посторонних токов при случайном воздействии на нее электрической энергии.

Известны устройства блокировок подобного назначения механического и электрического типов. Для опреде-

ления параметров устройств блокировок электрического типа, предназначенных для исключения преждевременного срабатывания ПВА при аварийных режимах в электрических сетях, представляет значительный интерес методика определения величины напряжения, возникающего между металлоконструкцией скважины и геофизическим подъемником в результате неисправности электроустановок [36].

Рассмотрим один из аварийных режимов в электрических сетях буровой установки, например, режим однофазного замыкания на землю в сети напряжением 6 кВ, представляющий наибольшую опасность при проведении ПВР в связи с возможностью его длительного существования.

Следует также отметить, что из всех аварийных режимов на буровой установке данный аварийный режим приводит к появлению наибольшей величины напряжения на металлоконструкции относительно земли, определяемой током замыкания на землю и сопротивлением растеканию тока в земле, т. е.

$$U_3 = I_3 R_3,$$

где U_3 — напряжение относительно земли, В; I_3 — ток замыкания на землю в сети напряжением 6 кВ, А; R_3 — сопротивление растеканию искусственного и естественных заземлителей буровой установки, Ом.

Геофизический подъемник устанавливают, как правило, на расстоянии не менее 30 м от устья скважины и заземляют, соединяя шасси подъемника с заземляющей проводкой буровой установки. В этом случае при замыкании на землю часть тока замыкания будет ответвляться в сторону подъемника, протекая по заземляющему проводнику и броне геофизического кабеля (рис. 13). Таким образом, напряжение, которое может возникнуть между металлоконструкцией буровой установки и подъемником, будет определяться сопротивлением заземляющего проводника и брони кабеля, а также величиной протекающего по этой цепи тока.

Если принять величину сопротивления изоляции геофизического кабеля равной бесконечности, а величину взаимного сопротивления растеканию тока цепи «заземление буровой — подъемник» — нулю, то эквивалентная схема замещения, необходимая для расчета, будет иметь вид, приведенный на рис. 14.

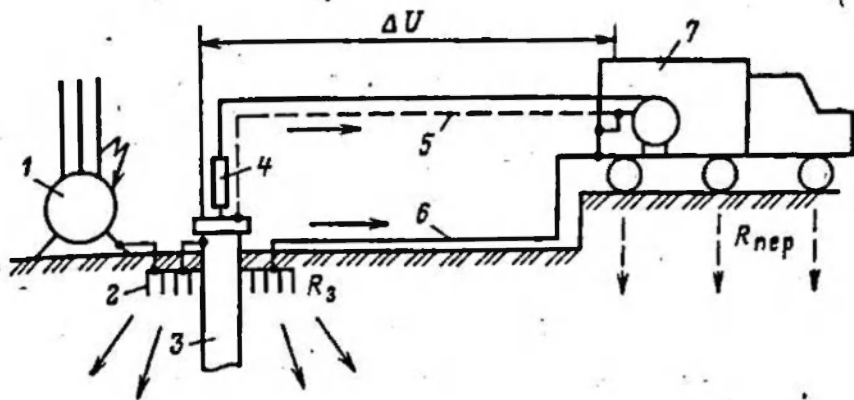
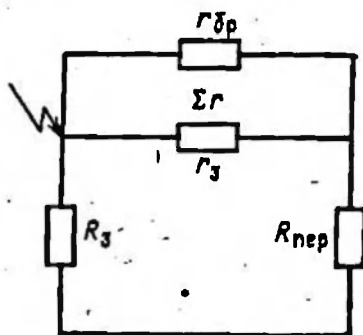


Рис. 13. Схема протекания тока замыкания на землю при проведении прострелочно-взрывных работ:

1 — электроустановка; 2 — заземляющее устройство; 3 — кондуктор; 4 — прострелочно-взрывной аппарат; 5 — броне геофизического кабеля; 6 — заземляющий проводник; 7 — геофизический подъемник

Рис. 14. Эквивалентная схема замещения для расчета напряжений, возникающих на геофизическом кабеле в режиме замыкания на землю



Нетрудно определить, что искомая величина напряжения будет равна

$$\Delta U = U_a \frac{\Sigma r}{\Sigma r + R_{пер}}, \quad (3.1)$$

где ΔU — напряжение между металлоконструкцией буровой установки и подъемником; Σr — эквивалентное сопротивление заземляющего проводника подъемника и брони геофизического кабеля; $R_{пер}$ — сопротивление растеканию тока с подъемника в землю.

Было бы ошибочно считать, что $R_{пер} = \infty$ для подъемника на резиновом ходу, так как реальные условия проведения ПВР на скважинах не исключают соприкосновения металлоконструкции подъемника с землей.

Анализ входящих в выражение (3.1) величин показал, что $\Sigma r \leq 0,1$ Ом, $\Sigma r / R_{пер} < 0,01$.

При этом можно считать, что..

$$\Delta U < 0,01 U_a. \quad (3.2)$$

Выражение (3.2) позволяет оценить максимальные

величины напряжений, которые могут возникнуть между металлоконструкцией буровой установки и подъемником при аварийных режимах в электрических сетях. Так, при однофазных замыканиях на землю в сети 6 кВ на буровой установке величина ΔU не превысит нескольких вольт, а при маловероятных двойных замыканиях на землю, длительность которых ограничена временем срабатывания защиты на отключение одного из мест замыкания на землю, требуемого правилами [7], ΔU не превысит 50 В.

Следует отметить, что величина ΔU существенно зависит от $R_{\text{пер}}$: чем больше $R_{\text{пер}}$, тем меньше ΔU . Следовательно, если место установки подъемника будет специально подготовлено с целью увеличения $R_{\text{пер}}$ (например, осушено, покрыто гравием, щебнем и т. п.), то величины ΔU могут быть снижены в десятки раз.

Приведенные выше максимально возможные величины напряжения, которые могут возникнуть между металлоконструкцией буровой установки и подъемником, могут служить основой для определения параметров устройств блокировки электрического типа, исключающих преждевременное срабатывание ПВА при аварийных режимах в электрических сетях буровой.

Внедрение в практику проведения ПВР устройств блокировок не только исключит преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов при аварийных режимах в электрических сетях на устье скважины, но и исключит случаи срабатывания их в скважине вне интервала отстрела, которые могут быть также вызваны аварийными режимами в электрических сетях.

3.2. О влиянии высоковольтных линий электропередач на геофизический кабель

Вследствие прохождения воздушных высоковольтных линий электропередач (ВЛ) вблизи скважин, на которых проводятся прострелочно-взрывные работы, на геофизическом кабеле могут возникнуть индуцированные напряжения и токи [37]. Это в свою очередь может вызвать преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов.

Данное явление вызывает электромагнитная индукция, определяемая напряжением ВЛ относительно земли (электростатическая индукция) и силой тока в про-

водах ВЛ (магнитная индукция). Вследствие асимметричного расположения проводов ВЛ относительно земли и геофизического кабеля, в последнем индуктируются такие незначительные напряжения и токи, что ими при нормальной работе ВЛ следует пренебречь даже при расположении кабеля в непосредственной близости от них. При аварийных же режимах влияние ВЛ значительно возрастает.

Степень влияния ВЛ, которому может быть подвергнут геофизический кабель, зависит от силы тока, возникающего при несимметричном коротком замыкании в проводах ВЛ, напряжения ВЛ, расстояния между ней и геофизическим кабелем, характера взаимного их расположения и длины геофизического кабеля, подвергнутого индуктивному влиянию.

Для оценки влияния ВЛ при аварийных режимах на геофизический кабель необходимо определить величины индуктированных напряжений и токов при самых неблагоприятных условиях.

Рассмотрим влияние ВЛ на геофизический кабель, обусловленное электростатической индукцией. Наведенный потенциал на изолированном от земли геофизическом кабеле U_A посредством электростатической индукции определим по формуле

$$U_A = \frac{\alpha_A}{\alpha_0 + 2\alpha_m} (\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3) = \frac{3\dot{U}_0 \alpha_A}{\alpha_0 + 2\alpha_m}, \quad (3.3)$$

где α_A , α_0 , α_m — усредненные собственные и взаимные потенциальные коэффициенты фазных проводов и геофизического кабеля, $\alpha_A = (\alpha_{A1} + \alpha_{A2} + \alpha_{A3})/3$, $\alpha_0 = (\alpha_{1.1} + \alpha_{2.2} + \alpha_{3.3})/3$, $\alpha_m = (\alpha_{1.2} + \alpha_{2.3} + \alpha_{1.3})/3$; \dot{U}_1 , \dot{U}_2 , \dot{U}_3 — комплексные напряжения фаз относительно земли, определяемые по системе уравнений Максвелла, записанной для четырех проводов (трех ВЛ и одного геофизического кабеля), $\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3 = 3\dot{U}_0$. \dot{U}_0 — напряжение смещения нейтрали; α_{A1} , α_{A2} , α_{A3} — взаимные потенциальные коэффициенты фазных проводов и геофизического кабеля; $\alpha_{1.1}$, $\alpha_{2.2}$, $\alpha_{3.3}$ — собственные потенциальные коэффициенты фазных проводов; $\alpha_{1.2}$, $\alpha_{2.3}$, $\alpha_{1.3}$ — взаимные потенциальные коэффициенты фазных проводов.

При аварийных режимах в сетях с изолированной и заземленной нейтралью U_0 принимает различные значения: в первом случае оно равно фазному напряжению

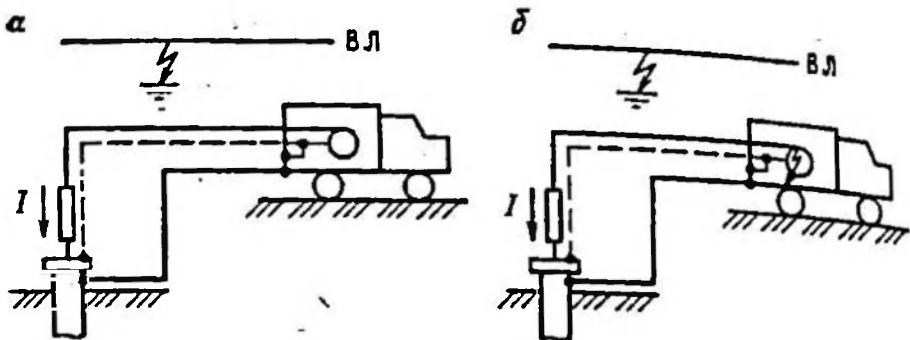


Рис. 15. Иллюстрация электромагнитного влияния высоковольтных линий электропередач на геофизический кабель:
 а — жила имеет связь с землей в одной точке; б — в двух точках

сети при замыканиях на землю, во втором — падению напряжения, которые возникают от тока замыкания на землю на заземляющем устройстве питающего трансформатора. Учитывая это, нетрудно определить, что электростатическое влияние в аварийном режиме ВЛ напряжением 35 кВ на геофизический кабель значительно, чем ВЛ напряжением 110 кВ.

Приняв определенную схему расположения проводов ВЛ и геофизического кабеля и вычислив по известным формулам, приведенным в [38], собственные и взаимные потенциальные коэффициенты, входящие в формулу (3.3), получим, что наибольшее напряжение (при расположении геофизического кабеля на границе охранной зоны ВЛ), индуктированное электростатической индукцией от ВЛ напряжением 35 кВ, в режиме замыкания на землю составит на металлической броне кабеля не более 400 В.

При этом благодаря полному экранированию от внешних электрических полей металлической броней кабеля в цепи электродетонатора при отсутствии электрической связи с землей индуктированный ток протекать не будет.

При наличии же электрической связи с землей с металлической брони геофизического кабеля (рис. 15, а) будет стекать ток электрической индукции, величина которого определяется сопротивлением заземления и емкостью изолированного кабеля относительно земли.

Пренебрегая сопротивлением заземления, можно записать, что

$$I = U_A \omega C_A l, \quad (3.4)$$

где I — индуктированный ток в кабеле; ω — угловая скорость, равная $2\pi f = 314$ при частоте 50 Гц; C_A — емкость единицы длины изолированного кабеля относительно земли; l — длина сближения геофизического кабеля с ВЛ.

Принимая максимальную длину сближения геофизического кабеля и ВЛ (т. е. расстояние между скважиной и подъемником при параллельном следовании кабеля и ВЛ) равной 50 м, расчетную величину емкости относительно земли единицы длины кабеля $C_A = 8,3 \times 10^{-12}$ Ф/м, из формулы (3.4) получим $I \approx 0,05$ мА.

Эта величина тока электростатической индукции, стекающего с металлической брони геофизического кабеля в одной точке, во много раз меньше величины безопасного тока (50 мА) для различных типов электродетонаторов.

При этом, даже если предположить, что весь этот ток протекает через электродетонатор, можно сделать вывод, что опасности срабатывания протрелочно-взрывных аппаратов от электростатического влияния ВЛ в аварийных режимах нет.

Рассматривая влияние ВЛ на геофизический кабель, обусловленное магнитной индукцией, следует отметить, что этому влиянию подвержены как жила, так и металлическая броня геофизического кабеля. Индуктированные токи, протекающие в цепи «броня — земля», влияют на токи в цепи «жила — броня» и «жила — земля» и этим обуславливают экранирующее действие металлической брони геофизического кабеля. Пренебрегая этим защитным действием для получения определенного запаса по безопасности, необходимого в подобном анализе, определим величины индуктированных напряжений и токов.

Продольную эдс, индуктированную магнитной индукцией в геофизическом кабеле, изолированном от земли, можно определить по формуле

$$E = j\omega I_0 M l,$$

(3.5)

где I_0 — влияющий ток ВЛ, например ток однофазного короткого замыкания; M — коэффициент взаимной индукции между ВЛ и геофизическим кабелем; l — длина сближения ВЛ и геофизического кабеля.

Принимая $l = 50$ м, $M = 940 \cdot 10^{-9}$ Гн/м (расчетное значение при параллельном расположении геофизического

кабеля на границе охранной зоны ВЛ) и $I_0 = 11\,000$ А (для ВЛ напряжением 110 кВ), по формуле (3.5) получим $E = 162$ В.

Так как индуктированное напряжение пропорционально силе влияющего тока ВЛ, то влияние ВЛ напряжением 35 кВ на геофизический кабель будет значительно меньше. Поэтому при оценке опасности магнитного влияния ВЛ за расчетную величину будем принимать 162 В, индуктированную ВЛ напряжением 110 кВ для случая наиболее близкого расположения ВЛ и геофизического кабеля, а также при параллельном их следовании.

Для определения индуктированных токов, которые могут протекать через электродетонатор, рассмотрим два различных случая: жила кабеля имеет электрическое соединение с землей в одной точке (см. рис. 15, а) и в двух точках (см. рис. 15, б).

Величину индуктированного тока, протекающего в изолированном от земли кабеле с произвольными нагрузочными сопротивлениями в начале и в конце, в общем случае можно определить, согласно [39], как

$$I_A = kI_0 \left[\operatorname{ch} \gamma x - 1 \frac{\left(z_{\text{кон}} \operatorname{th} \gamma \frac{l}{2} + z_B \right) \left(\frac{z_H}{z_K} \operatorname{sh} \gamma x + \operatorname{ch} \gamma x \right)}{\left(z_H + z_{\text{кон}} \right) \operatorname{cth} \gamma l + \frac{z_H z_{\text{кон}}}{z_B} + z_B} \right], \quad (3.6)$$

где $k = j\omega M/z_K$; γ — постоянная распространения, 1/м; x — переменная координата, м; z_H , $z_{\text{кон}}$ — нагрузочные сопротивления соответственно в начале и в конце кабеля, Ом/м; z_B , z_K — соответственно волновое и полное сопротивление кабеля, Ом/м.

Так как длина сближения геофизического кабеля и ВЛ значительно меньше всей длины геофизического кабеля, то для определения величины индуктированного тока в первом случае необходимо в выражении (3.6) учесть, что $z_H \approx 0$, $z_{\text{кон}} = z_B \operatorname{cth} \gamma l_2$ (l_2 — длина геофизического кабеля, не подверженного влиянию ВЛ, т. е. намотанного на барабан подъемника), а во втором случае — $z_H \approx 0$, $z_{\text{кон}} = z_B \operatorname{th} \gamma l_2$.

При этом выражение (3.6) после соответствующих преобразований и упрощений примет следующий вид:

а) когда жила имеет электрическое соединение с зем-

лей в одной точке (в начале кабеля)

$$|I_A| = \frac{U(1+2l_2)\omega^2 L_K C_K}{\sqrt{R_K^2 + \omega^2 L_K^2} \cdot 2(1 + \omega^2 L_K C_K l_2 l)}; \quad (3.7)$$

б) когда жила имеет электрическое соединение с землей в двух точках (в начале и в конце кабеля)

$$|I_A| = \frac{U(\omega^2 L_K C_K l_2 l + 2)}{\sqrt{R_K^2 + \omega^2 L_K^2} \cdot 2(l_2 + l)}, \quad (3.8)$$

где R_K , L_K , C_K — соответственно активное, индуктивное и емкостное сопротивления геофизического кабеля; l , l_2 — длина кабеля, соответственно подверженного влиянию ВЛ и намотанного на барабан подъемника.

Выполненные расчеты для геофизических кабелей различных типов показали, что при $l=50$ м и $l_2=7300$ м (7300 м — наибольшая емкость барабана подъемника [40]) величины индуктированных токов составляют: при электрической связи с землей в одной точке (в начале кабеля) — менее 1 мА, при электрической связи с землей в начале и в конце кабеля — более 700 мА.

Последняя величина значительно превосходит величину безопасного тока для электродетонатора даже при максимальной длине геофизического кабеля (7300 м). С уменьшением длины геофизического кабеля величина индуктированного тока еще более возрастает.

Таким образом, потенциальная опасность преждевременного срабатывания протрелочно-взрывных аппаратов, вызванная влиянием ВЛ в аварийном режиме на геофизический кабель, возникает, когда жила кабеля будет иметь электрическое соединение с землей (или с металлической броней геофизического кабеля, имеющей связь с землей) в двух точках.

Так как жила геофизического кабеля через электродетонатор, сопротивление которого не превышает нескольких ом, соединена с металлической броней, имеющей связь с землей, то можно считать, что жила кабеля постоянно имеет одну точку соединения с землей.

Вторая точка соединения может появиться либо при возникновении утечки в любом месте протяженного кабеля, либо при замыкании концов взрывной цепи на коллекторе лебедки подъемника.

Эти условия аналогичны условиям, которые могут привести к преждевременному срабатыванию протре-

лочно-взрывных аппаратов от других аварийных режимов в электрических сетях, рассмотренных в разд. 3.1.

Поэтому для уменьшения опасности преждевременного срабатывания ПВА от влияния ВЛ должны выполняться рекомендации, приведенные выше: запрещается замыкать концы взрывной цепи на коллекторе лебедки подъемника, необходимо правильно заземлять подъемник и применять устройства блокировки, исключающие протекание во взрывной цепи посторонних токов.

В заключение отметим, что влияние ВЛ на геофизический кабель можно практически свести к нулю, если трасса его будет перпендикулярна к трассе ВЛ. Поэтому там, где это возможно, необходимо учитывать направление трассы ВЛ при расположении подъемника на территории скважины, где предполагается проведение прострелочно-взрывных работ.

3.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Проведение прострелочно-взрывных работ в морских скважинах характеризуется повышенной опасностью в силу объективных причин, специфичных для морских нефтегазопромысловых сооружений (МНГС), таких как использование электропривода для каротажной лебедки на плавучих буровых установках (ПБУ), одновременное проведение операций по освоению и бурению скважин с морских стационарных платформ (МСП), необходимость продолжения ПВР в темное время суток и т. п.

В связи с этим представляет интерес оценка влияния аварийных режимов в электрических сетях электроустановок МНГС на опасность преждевременного срабатывания ПВА [41].

Поскольку системы электроснабжения на ПБУ, МСП и приэстакадных площадках различны, рассмотрим аварийные режимы в электрических сетях и возникающую при этом опасность при проведении ПВР в каждом конкретном случае отдельно.

На плавучих буровых установках применяется система электроснабжения с изолированной нейтралью напряжением 400 и 600 В переменного тока, а также система постоянного тока напряжением 800 В.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В следует отметить два аварийных режима, при которых по металлоконструкции ПБУ протекают аварийные токи, представляющие непосредственную опасность для проведения ПВР. Это режимы однофазного и двойного замыкания на корпус.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением до 1000 В токи однофазного замыкания на корпус невелики. Они зависят от состояния изоляции, длины сети и даже в разветвленных сетях находятся в пределах нескольких ампер и ниже.

Протекание по металлоконструкции ПБУ токов однофазного замыкания на корпус величиной даже в несколько ампер не приведет к появлению значительной разницы потенциалов между отдельными точками верхней палубы ПБУ и, в частности, между каротажной лебедкой и роторным столом буровой установки.

Возможность срабатывания ПВА существует даже в том случае, если к взрывной цепи будет приложено напряжение в несколько вольт. Например, для 3-километрового геофизического кабеля с сопротивлением взрывной цепи 100 Ом достаточно приложить напряжение более 5 В, чтобы ток через электродетонатор превысил значение безопасной величины в 0,05 А, при котором не исключено преждевременное срабатывание ПВА.

Если отключения поврежденных участков электросети при однофазном замыкании на корпус не произошло (например, при отсутствии или неисправности устройств контроля изоляции, применяемых на ПБУ), то напряжения исправных фаз по отношению к корпусу ПБУ возрастают до линейных, что способствует возникновению второго замыкания на корпус в другой фазе. Этот режим двойного замыкания на корпус в условиях ПБУ представляет собой фактически двухфазное короткое замыкание, отключаемое максимальной защитой. Но в течение времени срабатывания защиты по металлоконструкции ПБУ могут протекать токи, достигающие сотен ампер, что представляет опасность при монтаже взрывной цепи, так как для срабатывания ПВА достаточно воздействия тока величиной в 1 А в течение 3 мс.

Действующими правилами [7] предусмотрено наличие устройств контроля изоляции в сетях с изолированной нейтралью напряжением выше 36 В, которые существенно повышают безопасность проведения прострелоч-

но-взрывных работ с ПБУ. Поэтому непосредственно перед проведением ПВР необходимо проверять наличие на ПБУ этих устройств и их исправность. О проверке должна быть сделана соответствующая запись в акте о готовности скважины к ПВР.

Выводы, сделанные при анализе аварийных режимов в сетях переменного тока ПБУ, практически полностью относятся и к сети постоянного тока. Поскольку эта сеть используется для питания электроприводов только главных технологических механизмов, которые не используются при ПВР, то она должна быть полностью обесточена.

Рассмотрим теперь аварийные режимы в электрических сетях морских стационарных платформ. На МСП, где электрическая энергия вырабатывается собственной электростанцией (дизель-генератором), применяется система с заземленной нейтралью напряжением 0,4 кВ.

Согласно утвержденной инструкции [42], в таких сетях должно быть выполнено зануление, т. е. обеспечена надежная металлическая связь между корпусами электрооборудования и нейтралью источника питания, причем для взрывоопасных объектов для целей зануления необходимо использовать проводники, специально предназначенные для этой цели.

По такой схеме электроснабжения в аварийном режиме при замыкании на корпус возникает ток короткого замыкания, величина которого может достигнуть сотен ампер. Протекание такого тока по нулевому защитному проводнику и металлоконструкции МСП может стимулировать преждевременное срабатывание ПВА. Причем если на ПБУ устройства контроля изоляции практически предотвращают возникновение аварийного режима двухфазного короткого замыкания, сопровождающегося протеканием по металлоконструкции ПБУ значительных токов, то на МСП подобные устройства не применяются, так как для систем с заземленной нейтралью устройства контроля изоляции отсутствуют.

При электроснабжении МСП по высоковольтным линиям электропередач могут возникнуть такие аварийные режимы, как однофазные и двойные замыкания в сети с изолированной нейтралью напряжением 6 кВ.

В случае однофазного замыкания на корпус с металлоконструкции МСП в воду будет стекать ток, величина которого в сетях напряжением выше 1000 В опреде-

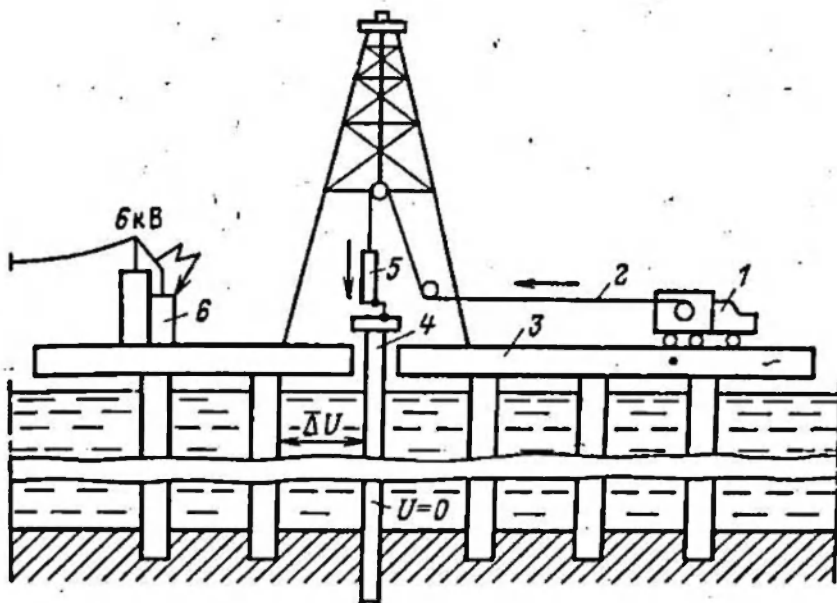


Рис. 16. Иллюстрация опасности преждевременного срабатывания ПВА при однофазном замыкании на корпус в сети 6 кВ на морской стационарной платформе:

1 — геофизический подъемник; 2 — геофизический кабель; 3 — металлоконструкция МСП; 4 — направление; 5 — прострелочно-взрывной аппарат; 6 — электрооборудование

ляется в основном емкостной проводимостью линий электропередач. Как правило, величины этих токов составляют единицы ампер для нефтепромысловых сетей напряжением 6 кВ. Протекание таких токов по металлоконструкции МСП представляет собой гораздо меньшую опасность, чем токов короткого замыкания в сети напряжением 0,4 кВ.

Однако в этом режиме растекание токов в воде приводит к появлению напряжения между металлоконструкцией МСП и нулевой зоной. Это напряжение, определяемое величиной стекающего тока и сопротивлением растеканию тока в воде, может возникнуть и между металлоконструкцией МСП и направлением, что представляет опасность при проведении ПВР (рис. 16).

Аналогично может возникнуть напряжение между металлоконструкцией МСП и направлением при обрыве и падении фазного провода воздушной ЛЭП в воду вблизи МСП.

При двойных замыканиях в сети напряжением 6 кВ значительно возрастают (до сотен ампер) токи замыка-

ния и соответственно напряжение металлоконструкции МСП относительно нулевой зоны, что повышает опасность преждевременного срабатывания ПВА, хотя вероятность совпадения замыкания в двух точках сети с проведением ПВР весьма мала.

Для повышения безопасности проведения ПВР с морских стационарных платформ необходимо обеспечить надежную металлическую связь между направлением скважины и металлоконструкцией МСП двумя стальными проводниками сечением не менее 100 мм².

Рассматривая опасность преждевременного срабатывания ПВА при проведении ПВР с приэстакадных площадок, следует отметить, что аварийные режимы в электрических сетях и возникающие при этом опасности аналогичны рассмотренным на МСП.

Таким образом, проведенный анализ аварийных режимов в электрических сетях ПБУ, МСП и приэстакадных площадок вполне определенно показывает возможность преждевременного срабатывания ПВА при неотключенном электрооборудовании.

Кроме рассмотренных выше аварийных режимов в электрических сетях электроустановок морских нефтегазопромысловых сооружений (МНГС), следует обратить особое внимание на использование на МНГС катодной защиты от коррозии, вызывающей протекание по металлоконструкции значительных по величине токов и повышение потенциала самой металлоконструкции относительно нулевой зоны, а также широкое применение мощных радиопередающих устройств, способных индуцировать в геофизическом кабеле опасные по величине напряжения и токи.

Все вышеизложенное позволяет наметить следующие пути повышения безопасности ПВР на морских скважинах:

внедрение устройств блокировок, исключающих протекание во взрывной цепи посторонних токов;

запрещение проведения ПВР при отсутствии или неисправности устройств контроля изоляции электрооборудования в сетях с изолированной нейтралью;

обеспечение надежного электрического контакта между направлениями скважин и металлоконструкцией МНГС;

отключение катодной защиты от коррозии на МНГС на период проведения ПВР;

запрещение на период проведения ПВР работы радиопередающих устройств, расположенных на МНГС и на объектах вблизи МНГС;

разработка и включение в Единые правила безопасности при взрывных работах специального раздела о проведении ПВР в скважинах, бурящихся с морских нефтегазопромысловых сооружений.

3.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ТЕМНОЕ ВРЕМЯ СУТОК

В связи с резким возрастанием объемов бурения и сокращением сроков сдачи скважин прострелочно-взрывные работы в них должны проводиться не только в светлое, но и в темное время суток.

Последнее связано с дополнительными трудностями, одна из которых — организация освещения рабочих мест и опасной зоны.

В Единых правилах [34] для питания сети освещения предложено применять напряжение 36 В. Трудности по организации освещения на напряжении 36 В (установка специальных светильников на такое напряжение, обеспечение ими требуемых норм освещения) приводят к частым срывам прострелочно-взрывных работ в скважинах или к проведению их с нарушением требований правил безопасности. Это, в свою очередь, создаст предпосылки для возникновения несчастных случаев, среди которых особое место занимают преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов, хотя с этой точки зрения величина напряжения сети освещения не играет определяющей роли.

Важную роль здесь играет правильный выбор источника питания сети освещения и режима его нейтральной точки. А этот вопрос не отражен в Единых правилах [34]. Если в качестве источника питания сети освещения на напряжении 36 В использовать трансформатор, питающийся от сети 0,4 кВ, то при его заземленной вторичной обмотке замыкания на землю в сети освещения приведут к протеканию в ней и по заземляющей проводке значительных токов. При определенных условиях это может вызвать срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов [35].

Таким образом, безопасность работы сети освещения

зависит не только от величины питающего напряжения, но и от правильного решения комплекса вопросов.

Анализируя результаты исследования аварийных режимов в сети освещения при различных источниках питания с точки зрения опасности срабатывания прострелочно-взрывных аппаратов, можно утверждать, что безопасность (при отсутствии устройства блокировки, исключающего протекание во взрывной цепи посторонних токов) обеспечивается при питании сети освещения лишь от автономного источника с изолированной от земли обмоткой. В этом случае ток замыкания на корпус, ограниченный сопротивлением изоляции и емкостью проводов относительно земли, будет настолько мал, что не вызовет опасности срабатывания прострелочно-взрывного аппарата.

Так, ток замыкания на корпус при длине кабельной линии для освещения 200 м и при напряжении источника питания 220 В не превышает 3 мА [43]. Такая величина не может привести к срабатыванию прострелочно-взрывных аппаратов, так как она во много раз меньше безопасного тока электродетонатора (50 мА). При изолированной от земли обмотке источника питания замыкание между жилами питающего кабеля не приводит к протеканию тока по заземляющей проводке, а следовательно, не вызывает опасности и при аварийном режиме.

Таким образом, при изолированной от земли обмотке источника питания безопасность можно обеспечить даже при напряжении 220 В. Учитывая это, а также трудности, связанные с организацией освещения на напряжении 36 В, необходимо пересмотреть вопрос о напряжении питания светильников, тем более что величина напряжения сети освещения не решает вопроса безопасности проведения прострелочно-взрывных работ в темное время суток.

В качестве автономного источника питания сети освещения при прострелочно-взрывных работах могут быть использованы дизель-генераторная станция буровой установки или передвижная электростанция, работающие при напряжении 380/220 В в режиме изолированной нейтрали. Нейтраль надо изолировать от земли и использовать одну фазу и нуль генератора. Две другие фазы генератора должны быть отсоединены от сети. При этом нельзя включать силовую нагрузку, независимо от

того, является ли источником питания сеть или источник питания автономный.

Рекомендуя изолированную нейтраль для питания сети освещения (при отсутствии устройства блокировки для ПВА), согласно [7], необходимо обеспечить контроль изоляции этой сети. Из выпускаемых отечественной промышленностью устройств контроля изоляции наиболее целесообразно применять прибор М-143. Он, как и многие другие, осуществляет постоянный (непрерывный) контроль изоляции.

Однако постоянный контроль изоляции осветительной сети при прострелочно-взрывных работах не желателен по следующим причинам.

Во-первых, включение прибора между токоведущими частями и землей несколько снижает сопротивление между проводами и землей контролируемой сети, и, во-вторых, протекание оперативного постоянного тока через заземляющее устройство, необходимое для непрерывного контроля изоляции, во время прострелочно-взрывных работ крайне нежелательно, несмотря на то что его величина незначительна.

Поэтому прибор контроля изоляции должен включаться только во время непосредственного замера сопротивления изоляции сети до соединения прострелочно-взрывного аппарата с геофизическим кабелем. Следует отметить также, что при монтаже сети освещения должно быть правильно выполнено заземление автономного источника питания.

Он должен быть заземлен путем соединения с заземляющим устройством буровой или глубиннонасосной установки. При этом так же, как и для заземления подъемника, нельзя использовать заземлители, не имеющие надежной металлической связи с заземляющим устройством и обсадной колонной скважины, на которой должны проводиться прострелочно-взрывные работы [35]. Для обеспечения безопасности проведения ПВР особое значение имеет правильная организация освещения на скважинах в темное время. При анализе условий и характера проведения прострелочно-взрывных работ на скважинах было установлено [44], что для безопасного ведения работ в темное время суток необходимо освещать:

территорию скважины;
устье скважины (рабочую площадку);

путь движения геофизического кабеля от подъемника до устья скважины;

путь движения геофизического кабеля от крюка талевого блока, на котором подвешен подвесной ролик блок-баланса, до устья скважины;

опасную зону (пути передвижения персонала по опасной зоне и места установки знаков, ограничивающих опасную зону);

превенторы на буровых установках.

Организация освещения указанных рабочих мест должна отвечать основным требованиям, предъявляемым к рациональному освещению:

обеспечивать нормируемые освещенности;

обеспечивать равномерное освещение рабочих мест; исключить ослепление работающих.

Ввиду того что указать конкретные места установки светильников для освещения рабочих мест при проведении ПВР в скважинах в общем случае невозможно, ниже приведем лишь общие рекомендации по организации освещения, а также предлагаемые нормы освещенностей.

1. Рабочая площадка и путь движения кабеля от устья скважины до высоты подъема подвесного ролика могут освещаться светильниками, стационарно установленными на вышке. Светильники, которые из-за малой высоты оказывают слепящее действие на машиниста подъемника, должны быть оборудованы защитными козырьками. Устье скважины должно освещаться дополнительно устанавливаемым светильником (или двумя светильниками) с целью создания горизонтальной освещенности на роторном столе или устье скважины не менее 75 лк.

2. Трассу (путь движения) геофизического кабеля от подъемника до устья скважины рекомендуется освещать прожекторами или светильниками, установленными на такой высоте, чтобы они не ослепляли машиниста подъемника и рабочих, находящихся на рабочей площадке. Освещенность трассы кабеля в начале и в конце (в пределах 5 м от подъемника и от устья скважины) должна быть не менее 20 лк.

3. Пути передвижения персонала в опасной зоне и места установки знаков, ограничивающих опасную зону, рекомендуется освещать прожекторами, устанавливаемыми на конструкциях буровой вышки, на его рабочей площадке или на земле около основания вышки. Про-

жекторы не должны ослеплять машиниста подъемника и рабочих. Освещенность на уровне земли при этом должна быть не менее 10 лк.

4. Превенторы на буровых установках могут освещаться стационарно установленными светильниками. Освещенность при этом должна быть не менее 25 лк. Правильный выбор мест установки светильников и прожекторов для освещения рабочих мест позволяет обеспечить рациональное освещение при ведении прострелочно-взрывных работ.

Светильники, предназначенные для освещения рабочей площадки и пути движения кабеля от устья скважины до высоты подъема подвесного ролика, а также для освещения превенторов буровых установок, должны быть во взрывозащищенном исполнении, пригодном для наружной установки.

Освещение других рабочих мест можно осуществлять прожекторами и светильниками в общепромышленном исполнении, пригодном для наружной установки.

3.5. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ

Решение проблемы электробезопасности при прострелочно-взрывных работах в скважинах связано с разработкой и внедрением в практику прострелочно-взрывных работ (ПВР) различных мероприятий и технических средств.

Так как даже самая совершенная система электробезопасности практически не может обеспечить абсолютную электробезопасность, то разрабатываемые мероприятия и технические средства, исключаящие преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов, должны обеспечить максимальный уровень безопасности при заданных приведенных затратах. Такой подход к решению проблемы электробезопасности будет иметь большое значение как в социальном, так и в экономическом аспектах.

Рассматривая преждевременное срабатывание ПВА как случайное явление, можно использовать известные методы теории вероятности для определения основных выражений, позволяющих обоснованно сопоставлять уро-

вень электробезопасности при ПВР при внедрении специальных технических мероприятий и средств [36].

Основным количественным показателем уровня электробезопасности при ПВР должна являться вероятность электробезопасного взаимодействия людей с прострелочно-взрывной аппаратурой P (ЭБ) за время T , обычно принимаемое равным году, при проведении ПВР без отключения электроэнергии.

Вероятность преждевременного срабатывания ПВА за время T при случайном воздействии электрической энергии на взрывную цепь будет равна [45]

$$P(ПСр) = 1 - P(ЭБ). \quad (3.9)$$

Преждевременное срабатывание ПВА возможно лишь при совместном появлении двух событий: протекании посторонних токов во взрывной цепи и таких электрических параметров взрывной цепи, когда импульс тока в цепи электродетонатора при протекании посторонних токов будет больше минимально гарантированного для срабатывания ПВА.

В соответствии с теоремой умножения вероятностей вероятность преждевременного срабатывания ПВА равна

$$P(ПСр) = P(ППТ) P(k > k_{\min}/ППТ), \quad (3.10)$$

где $P(ППТ)$ — вероятность протекания во взрывной цепи посторонних токов; k — импульс тока в цепи электродетонатора; $P(k > k_{\min}/ППТ)$ — условная вероятность того, что импульс тока в цепи электродетонатора при протекании посторонних токов будет больше минимально гарантированного.

В свою очередь, вероятность $P(ППТ)$ может быть определена (например, для случая оценки опасности влияния аварийных режимов в электрических сетях на преждевременное срабатывание ПВА) следующим образом в соответствии с теоремой умножения вероятностей:

$$P(ППТ) = P(H) P(ОДЗ/H) P(ОДБ/H) \times P(R_{\text{об}} < R_{\min}/H), \quad (3.11)$$

где $P(H)$ — вероятность появления напряжения между металлоконструкцией скважины и геофизическим подъемником; $P(ОДЗ/H)$ — условная вероятность отказа действия защиты, отключающей аварийный участок сети.

вызвавший появление напряжения между скважиной и подъемником; $P(ОДБ/Н)$ — условная вероятность отказа действия блокировки, исключающей протекание во взрывной цепи посторонних токов; $P(R_{из} < R_{min}/H)$ — условная вероятность снижения сопротивления изоляции кабеля меньше минимально допустимой величины.

Выражения (3.9) — (3.11) являются основными и позволяют решать различные задачи в области электробезопасности при ПВР в рамках вероятностных методов: определять эффективность различных технических мероприятий и средств, обосновывать с точки зрения электробезопасности требования к параметрам элементов взрывной цепи, определять перспективный уровень электробезопасности при ПВР и т. п.

Практическое применение данных выражений на первый взгляд может показаться проблематичным, однако опыт вероятностного подхода при решении некоторых задач в области электробезопасности убеждает в обратном [46]. Достаточно иметь необходимый объем статистических данных о надежности электроустановок, не отключаемых при проведении ПВР, устройств защиты и элементов взрывной цепи, чтобы количественно оценить уровень электробезопасности при ПВР, который должен быть не ниже уровня, принятого для безопасной эксплуатации электроустановок во взрывоопасных зонах.

Во взрывоопасных зонах вследствие неисправности электроустановок возможно воспламенение газопаровоздушной смеси, которое приводит к тяжелым авариям. Поэтому безопасная величина, за которую принята вероятность воспламенения взрывоопасной концентрации газопаровоздушной смеси, равная 10^{-6} [47], должна соответствовать и вероятности $P(ЛСр)$.

Тогда уровень электробезопасности при ПВР в соответствии с выражением (3.9) будет не менее $1-10^{-6}$. Этот уровень должен быть принят за минимально допустимый при разрешении проведения ПВР без отключения электроустановок в зоне проведения работ.

Анализ выражений (3.9) — (3.11) позволяет конкретно определить круг задач, решение которых обеспечит электробезопасность при ПВР на достаточно высоком уровне. Однако основной и главной задачей является разработка и внедрение в практику проведения ПВР устройств блокировок, исключающих протекание во

взрывной цепи посторонних токов при случайном воздействии электрической энергии.

Кроме скорейшего внедрения устройств блокировок в практику проведения ПВР, для обеспечения электробезопасности необходимо, как видно из выражения (3.11), нормировать минимально-допустимую величину сопротивления изоляции геофизического кабеля с точки зрения безопасности проведения работ.

Положение, когда геофизический кабель, непригодный для геофизических исследований в скважине в связи с понижением сопротивления изоляции, применяется на прострелочно-взрывных работах без определенной нормы, должно быть пересмотрено.

Решение изложенных выше задач в области электробезопасности при ПВР позволит исключить случаи травматизма, позволит сократить сроки освоения скважин, что в свою очередь позволит увеличить текущую добычу нефти и газа.

3.6. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Сопротивление изоляции геофизического кабеля является одним из наиболее важных параметров взрывной цепи, так как его снижение может привести к утечке иницирующего импульса и, следовательно, к возникновению отказов, а также создает возможность проникновения во взрывную цепь посторонних токов. Последнее может привести к преждевременному срабатыванию прострелочно-взрывных аппаратов.

В связи с этим задача по определению минимально допустимой величины сопротивления изоляции геофизического кабеля (ГК) с точки зрения надежности и безопасности проведения ПВР в скважинах является весьма актуальной.

Решение этой задачи позволит обосновать нормирование сопротивления изоляции ГК, применяемого для ПВР, и значительно уменьшить случаи отказов или преждевременного срабатывания ПВА.

А. Сопротивление изоляции ГК с точки зрения надежности проведения ПВР

Снижение сопротивления изоляции геофизического кабеля в процессе эксплуатации может происходить равномерно по всей длине кабеля, либо в результате возникновения одной или нескольких сосредоточенных утечек в любом месте ГК.

Независимо от этого, ГК может быть представлен Т-образной схемой замещения, в общем случае — несимметричной, позволяющей проводить необходимые исследования, причем сопротивление в поперечной ветви Т-образной схемы замещения ГК может рассматриваться как сосредоточенная утечка.

Задача по определению минимально допустимой величины сопротивления изоляции ГК с точки зрения надежности проведения ПВР сводится к определению минимальной величины сопротивления сосредоточенной утечки, соответствующей импульсу воспламенения электродетонатора, гарантирующему безотказное срабатывание ПВА [48].

Для определения минимальной величины сопротивления сосредоточенной утечки, которая может возникнуть в любом месте ГК, необходимо определить ток в сопротивлении электродетонатора при посылке импульса от взрывного прибора и импульс тока воспламенения электродетонатора.

Для определения тока воспламенения необходимо представить взрывную цепь в виде схемы замещения, электрические параметры которой должны наиболее достоверно и полно отражать специфику эксплуатации геофизического кабеля в скважине.

Схема замещения взрывной цепи может быть представлена следующим образом: взрывной прибор конденсаторного типа — эквивалентной емкостью, геофизический кабель — Т-образным четырехполюсником, протрелочно-взрывной аппарат с электродетонатором — эквивалентным активным сопротивлением (рис. 17).

Учитывая, что сопротивление электродетонатора R , составляет единицы ом, что неизмеримо меньше емкостного сопротивления изоляции геофизического кабеля, в схеме замещения отсутствует емкость между жилой и броней кабеля.

Параметры Т-образного четырехполюсника определя-

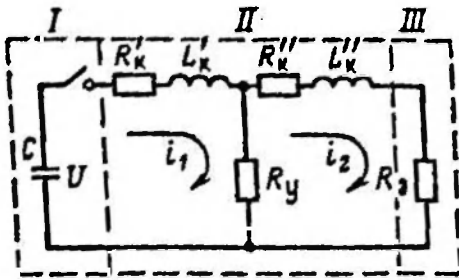


Рис. 17. Схема замещения взрывной цепи:

I — взрывной прибор; II — геофизический кабель; III — протрелочно-взрывной аппарат с электродетонатором

ются условиями эксплуатации кабеля в скважине и характером передаваемого сигнала для срабатывания ПВА.

Рассмотрим методику определения этих параметров, которые при определенных условиях могут значительно отличаться от электрических параметров ГК при эксплуатации его вне скважины.

Поскольку передаваемый по кабелю импульс от взрывного прибора может быть представлен полуволной некоторого сигнала, время протекания которого зависит от времени разряда конденсатора-накопителя взрывного прибора, то частоту этого сигнала получим из выражения

$$f = 1/(2T),$$

где T — время разряда конденсатора-накопителя взрывного прибора, с.

Для взрывного прибора ПИВ-100 частоту передаваемого импульса можно принять за 125 Гц, так как время разряда конденсатора при работе с ГК длиной 5—6 км составляет порядка 4 мс.

Несмотря на то что форма посылаемого во взрывную цепь импульса отличается от формы синусоиды, использование в дальнейшем выражений, полученных для переменного тока синусоидальной формы, значительно упрощает расчет параметров с сохранением, как показали эксперименты, достаточной для практических целей точности.

Как известно [49], полное сопротивление z линии с распределенными параметрами, каким является ГК, определяется для T-образной схемы замещения по формуле

$$z = 2z_в \operatorname{th} \frac{\gamma l}{2},$$

где $z_в$ — волновое сопротивление ГК, Ом; γ — коэффициент распространения, 1/км; l — длина ГК, км.

Ориентировочные расчеты показали, что геофизиче-

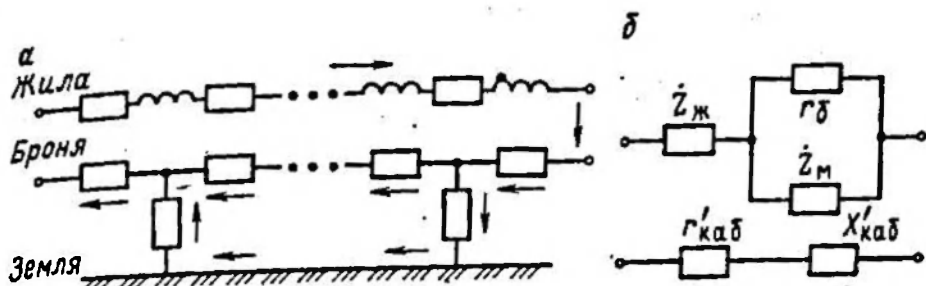


Рис. 18. Схема протекания токов по цепи «жила — броня — земля» (а) и соответствующая ей схема замещения (б)

ский кабель длиной до 7 км с сопротивлением изоляции более 10 кОм·км, практически не проявляет свойств линии с распределенными параметрами при прохождении по нему взрывного импульса, имеющего низкочастотный характер, так как $\text{th}(\gamma l/2) \approx \gamma l/2$.

Учитывая, что $\gamma i = l\sqrt{(r + jx)g}$ и $z_{\text{н}} = \sqrt{(r + jx)/g}$, получим $z = (r + jx)l = R_{\text{к}} + j\omega L_{\text{к}}$, — (3.12)

где r , x и g — соответственно активное и реактивное сопротивление и активная проводимость на единицу длины ГК; $R_{\text{к}} = R_{\text{к}}' + R_{\text{к}}''$ — полное активное сопротивление ГК; $L_{\text{к}} = L_{\text{к}}' + L_{\text{к}}''$ — полная индуктивность ГК.

Таким образом, схема замещения ГК с сосредоточенными параметрами позволяет с достаточной для практических целей точностью исследовать процесс протекания взрывного импульса.

Вследствие недостаточной определенности значений сопротивлений, связывающих металлическую броню ГК с землей (промывочной жидкостью в скважине), параметры, входящие в выражение (3.12), установим, рассмотрев два случая.

В первом примем, что ток, протекающий по жиле кабеля, возвращается по металлической броне и земле, а во втором — только по металлической броне.

Для первого случая схема протекания токов и соответствующая ей расчетная схема приведены на рис. 18.

Из этой схемы, согласно [50], получим выражение для определения сопротивления, оказываемого ГК в скважине протекающему току:

$$\dot{z}_{\text{каб}} = r'_{\text{каб}} + jx'_{\text{каб}} = z_{\text{ж}} + \frac{r_{\text{б}} z_{\text{м}}}{r_{\text{б}} + z_{\text{ж}}}, \quad (3.13)$$

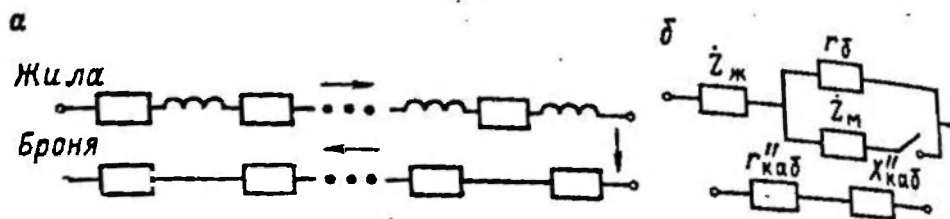


Рис. 19. Схема протекания токов по цепи «жила — броня» (а) и соответствующая ей схема замещения (б)

где $\dot{z}_ж$ — полное (активное и индуктивное) сопротивление жилы ГК, Ом/км; $r_б$ — активное сопротивление металлической брони ГК, Ом/км; $\dot{z}_м$ — сопротивление взаимной индукции двух индуктирующих систем жила и металлической брони ГК, Ом/км.

Здесь следует пояснить причину отсутствия в выражении (3.13) реактивного сопротивления металлической брони ГК. Дело в том, что при протекании тока по броне ГК создается магнитный поток, полностью сцепляющийся с жилой. Так как рассеяние брони по отношению к жиле отсутствует, то в выражении (3.13) отсутствует и сопротивление рассеяния. Согласно [50]

$$\dot{z}_ж = \left(r_ж + j29f10^{-4} \lg \frac{D_{ж-б}}{\rho_{пр}} \right). \quad (3.14)$$

$$\dot{z}_м = \left(\pi^2 f + j29f \lg \frac{\pi}{D_{ж-б}} \right) 10^{-4}, \quad (3.15)$$

где $r_ж$ — активное сопротивление жилы, Ом/км; $D_{ж-б}$ — среднее расстояние между индуктируемыми системами, равное среднему радиусу брони, $D_{ж-б} \approx (\rho_{нар} + \rho_{внутр})/2$; $\rho_{пр}$ — приведенный радиус жилы.

Уменьшение радиуса жилы ρ до приведенного значения позволяет учесть в формуле (3.14) не только внешнюю, но и внутреннюю составляющую индуктивного сопротивления. Для витых проводов можно принять $\rho_{пр} = 0,75\rho$.

Величина D в формуле (3.15) характеризует глубину проникновения тока в землю и зависит от частоты передаваемого сигнала и удельной проводимости земли:

$$D = 2,1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{f \gamma_3} 10^{-9},$$

где D — глубина проникновения тока, м; γ_3 — удельная проводимость земли, 1/Ом·см.

Для второго случая, когда ток, протекающий по жи-

ле кабеля, возвращается только по металлической броне ГК, схема протекания токов и соответствующая ей расчетная схема приведены на рис. 19.

Из этой схемы получим

$$\dot{z}_{\text{каб}} = r_{\text{каб}} + jx_{\text{каб}} = \dot{z}_{\text{ж}} + r_0. \quad (3.16)$$

Для определения Т-образного четырехполюсника по формуле (3.12) ориентировочно следует принять

$$r = (r_{\text{каб}} + r_{\text{каб}})/2; \quad x = (x_{\text{каб}} + x_{\text{каб}})/2. \quad (3.17)$$

Выражение (3.17) является окончательным для определения параметров схемы замещения ГК (см. рис. 17), являющегося одним из элементов взрывной цепи. Анализируя выражения, необходимые для определения параметров схемы замещения взрывной цепи, следует отметить зависимость их от температуры, а также от частоты передаваемого сигнала. Эту зависимость следует учитывать при подстановке числовых величин в выражения (3.13) — (3.16), а также при определении величины сопротивления электродетонатора R_3 .

Например, в выражение (3.14) следует подставлять величину активного сопротивления жилы (Ом/км), вычисленную, согласно [51], по формуле

$$r_{\text{ж}} = \frac{r}{2k_t T_c} [(1 + k_t T_c)^2 - 1],$$

где r — активное сопротивление жилы кабеля при 20 °С и частоте $f = 125$ Гц (при работе с взрывным прибором ПИВ-100), Ом/км; k_t — температурный коэффициент сопротивления; T_c — максимальная температура в скважине, °С.

Активное сопротивление жилы ГК при температуре 20 °С и частоте 125 Гц можно определить по известным выражениям [51], зная сопротивление жилы постоянно-му току.

Что касается влияния давления в скважине на параметры взрывной цепи, то оно весьма существенно сказывается лишь на величине сопротивления изоляции ГК, которое будет учтено после определения минимально допустимой величины сопротивления изоляции с помощью коэффициента, характеризующего уменьшение сопротивления изоляции ГК в скважине. Поэтому в выражениях (3.13) — (3.16) влияние давления не учитывается.

Приведенная выше методика определения параметров взрывной цепи позволит с достаточной для практики точностью учесть условия эксплуатации ГК в скважине при экспериментальных и теоретических исследованиях процесса протекания импульса, посылаемого взрывным прибором во взрывную цепь.

При этом для определения тока в сопротивлении электродетонатора необходимо решить систему дифференциальных уравнений, описывающих переходный процесс во взрывной цепи (см. рис. 17).

Составленная на основании законов Кирхгофа для времени $t \geq 0$, эта система дифференциальных уравнений будет иметь следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_k' i_1 + L_k' \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C} \int i_1 dt + i_1 R_y + i_2 R_k' + \\ + L_k' \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C} \int i_2 dt = 0; \\ R_k' i_1 + L_k' \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C} \int i_1 dt + (R_k' + R_k) i_2 + \\ + (L_k' + L_k) \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C} \int i_2 dt + i_2 R_y = 0. \end{array} \right. \quad (3.18)$$

Решая данную систему уравнений классическим методом, получим выражение для тока в цепи электродетонатора

$$i_2(t) = \frac{R_y U}{L_k' L_k} \left[\frac{e^{p_1 t}}{(p_1 - p_3)(p_2 - p_1)} + \frac{e^{p_2 t}}{(p_3 - p_2)(p_2 - p_1)} + \frac{e^{p_3 t}}{(p_1 - p_3)(p_3 - p_2)} \right], \quad (3.19)$$

где p_1 , p_2 и p_3 — корни характеристического уравнения системы (3.18).

Так как место возникновения сосредоточенной утечки в ГК существенным образом влияет на величину тока в цепи электродетонатора, то с точки зрения рассматриваемого вопроса можно ограничиться определением минимальной величины сопротивления утечки, возникшей в начале ГК у взрывного прибора. При этом, как показывает анализ уравнения (3.19), ток в цепи электродетонатора будет иметь наименьшую величину.

Таким образом, принимая $R_k' = 0$, $R_k'' = R_k$, $L_k' = 0$ и $L_k'' = L_k$, получим следующее выражение для тока в це-

ли электродетонатора при возникновении утечки в начале кабеля:

$$i_3 = i_3(t) = \frac{U}{(p_2 - p_1)L_K} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}), \quad (3.20)$$

$$\text{где } p_{1,2} = -\frac{1}{2} \left(\frac{R_K + R_3}{L_K} + \frac{1}{R_Y C} \right) \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\frac{R_K + R_3}{L_K} + \frac{1}{R_Y C} \right)^2 - \frac{R_K + R_3 + R_Y}{L_K R_Y C}}.$$

Считая известными параметры взрывного прибора (U и C), электродетонатора (R_3) и геофизического кабеля (R_K и L_K), получим зависимость величины тока в цепи электродетонатора от двух переменных R_Y и t , что позволяет проследить влияние изменения R_Y на надежность срабатывания ПВА.

Надежность ПВА определяется импульсом воспламенения, гарантирующим безотказное срабатывание электродетонатора, который для электродетонаторов нормальной чувствительности составляет $3 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$. Зная выражение для тока в цепи электродетонатора, можно определить и импульс тока, идущий па его воспламенение,

$$k_3 = \int_{t_1}^{t_2} i_3^2 dt. \quad (3.21)$$

Пределы интегрирования t_1 и t_2 в выражении (3.21) определяются из уравнения

$$i_3(R_Y; t) = I, \quad (3.22)$$

где I — наименьшее значение безотказного тока срабатывания электродетонатора (для электродетонаторов нормальной чувствительности $I = 1 \text{ А}$).

Выражение (3.21) зависит от одной переменной R_Y и для какой-нибудь определенной величины сопротивления утечки ГК геометрически представляет собой площадь фигуры, ограниченной кривой i_3^2 и прямыми, проведенными через точки t_1 и t_2 параллельно оси ординат (рис. 20).

Поиск минимальной величины R_Y , соответствующей гарантируемому импульсу воспламенения, равному $k_3 = 3 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$, требует выполнения значительного объема вычислений, так как решение уравнения (3.21) относительно R_Y в явном виде не представляется возможным.

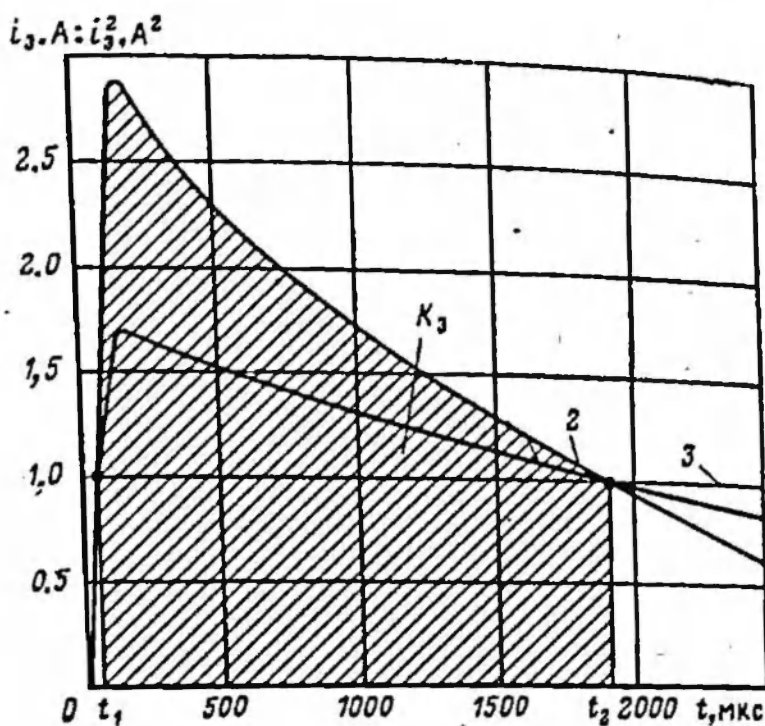


Рис. 20. Геометрическое представление импульса тока, идущего на воспламенение электродетонатора (заштрихованная часть):
 1 — кривая тока в цепи электродетонатора $i_2 = i(t)$ при определенном R_{γ} ;
 2 — кривая квадрата тока $i_2^2 = i_2^2(t)$; 3 — прямая, соответствующая уравнению $i_3(t) = I$, где $I = 1$ А

В связи с этим для решения поставленной задачи была разработана программа для выполнения расчетов на ЭВМ ЕС-1033. За исходные данные для расчета были приняты параметры взрывных приборов ПИВ-100 и КПМ-1А, электродетонаторов, применяемых при ПВР в скважинах, и кабеля типа КПКО-6.

Параметры геофизического кабеля и электродетонаторов были определены с учетом характера передаваемого импульса для срабатывания ПВА и с учетом эксплуатации в скважине глубиной 6000 м. Обоснованием для выбора параметров кабеля КПКО-6 в качестве исходных данных для расчета служат его электрические характеристики, которые с точки зрения рассматриваемого вопроса могут считаться наилучшими.

Так, сопротивление жилы постоянному току кабеля КПКО-6 длиной 6 км составляет почти 290 Ом при максимально допустимой температуре $T_{\max} = 100^\circ\text{C}$, в то время как у других типов кабелей оно значительно меньше;

Таблица 2

R_y , Ом	Значение импульса воспламенения k_2 , А ² ·мс	
	при работе с взрывным прибором ПИВ-100	при работе с взрывным прибором КПМ-1А
100	0,75	1,21
200	1,25	2,12
300	1,61	2,75
400	1,85	3,22
500	2,04	3,57
600	2,21	3,85
700	2,32	4,08
800	2,44	4,26
900	2,51	4,41
1000	2,6	4,55
1100	2,67	4,7
1200	2,7	4,74
1300	2,77	4,85
1400	2,84	4,97
1500	2,86	5,02
1600	2,87	5,05
1700	2,93	5,12
1800	2,95	5,17
1900	2,96	5,2
2000	3,02	5,26
∞	3,51	6,2

например, для кабеля КОБДФ-6 длиной 6 км — 234 Ом при $T_{\max} = 180^\circ\text{C}$.

Зависимость импульса воспламенения k_2 от величины сопротивления сосредоточенной утечки R_y геофизического кабеля приведена в табл. 2.

Анализируя результаты расчета, можно сделать вывод, что минимальная величина сопротивления сосредоточенной утечки геофизического кабеля (ГК), соответствующая гарантированному импульсу воспламенения электродетонатора $k \geq 3 \text{ А}^2 \cdot \text{мс}$, будет равна 2000 Ом при работе с взрывным прибором ПИВ-100 и 350 Ом — с взрывным прибором КПМ-1А.

При этом будет гарантировано исключение отказов срабатывания ПВА по причине утечки инициирующего импульса во взрывной цепи.

Полученные минимальные величины сопротивления сосредоточенной утечки относятся к утечкам, возникшим в начале ГК у взрывного прибора. В любом другом ме-

сте ГК минимальное сопротивление сосредоточенной утечки, гарантирующее срабатывание ПВА, будет иметь меньшую величину. Поэтому за минимально допустимую величину сопротивления изоляции геофизического кабеля, под которой понимается общее интегральное сопротивление изоляции, следует принимать определенные выше величины: 2000 и 350 Ом в зависимости от типа используемого взрывного прибора.

Данные минимально допустимые величины сопротивления изоляции определены для ГК, находящегося в скважине. Вне скважины эти величины должны быть в K раз больше (K — коэффициент, характеризующий уменьшение сопротивления изоляции ГК при нахождении его в скважине).

Максимальное значение K с небольшим запасом можно принять равным 1000, что справедливо, согласно [51], для геофизических кабелей длиной 5—6 км, так как речь идет об определении минимально допустимой величины сопротивления изоляции для ГК любых типов, применяемых при ПВР.

В связи с этим минимально допустимые величины сопротивления изоляции ГК, находящегося вне скважины, должны быть не менее 2 МОм при работе с взрывным прибором ПИВ-100 и 0,35 МОм — с взрывным прибором КПМ-1А, чтобы при спуске в скважину обеспечить соответственно 2000 и 350 Ом, гарантируя безотказное срабатывание ПВА.

Определенные выше величины необходимы, но не достаточны для принятия решения о нормировании минимально допустимой величины сопротивления изоляции ГК.

Для нормирования необходимо рассмотреть также вопросы безопасности проведения ПВР, так как вероятность преждевременного срабатывания ПВА при некоторых видах случайных воздействий электрической энергии на взрывную цепь существенно зависит от сопротивления изоляции ГК.

Б. Сопротивление изоляции ГК с точки зрения безопасности проведения ПВР

Поскольку снижение сопротивления изоляции ГК создает возможность втекания во взрывную цепь посторонних токов, то задача по определению минимально до-

пустимой величины сопротивления изоляции ГК с точки зрения безопасного проведения ПВР сводится к определению минимальной величины сопротивления утечки, исключающей преждевременное срабатывание ПВА.

При этом должны быть учтены максимально возможные величины напряжений, которые могут возникнуть при случайном воздействии электрической энергии между двумя точками взрывной цепи: точкой соединения вывода электродетонатора с корпусом ПВА и точкой возникновения сосредоточенной утечки в ГК.

Сложность данного вопроса заключается в многообразии случайных воздействий электрической энергии на взрывную цепь, а также в возможности возникновения сопротивления утечки в любом месте протяженного (до 6—7 км) ГК.

Поскольку вероятность преждевременного срабатывания ПВА наиболее велика, когда в зоне проведения работ вынужденно остаются включенными электроустановки, то для оценки максимально возможных величин напряжений, которые могут возникнуть на элементах взрывной цепи, следует рассмотреть случайные воздействия электрической энергии на взрывную цепь, вызванные аварийными режимами в электрических сетях бурящейся или эксплуатирующейся скважины.

Но из всех аварийных режимов в электрических сетях в условиях скважины наибольшую опасность представляет режим однофазного замыкания на землю в сети 6 кВ в связи с возможностью его длительного существования и появления при этом режиме наибольшей величины напряжения на металлоконструкции скважины относительно земли.

Эта величина напряжения определяется током замыкания на землю и сопротивлением растеканию тока естественных и искусственных заземлителей скважины.

Так как сопротивление заземляющего устройства, используемого на скважине одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В и выше, не должно быть более $R = 125/I$ (где I — расчетная сила тока замыкания на землю), то за максимальную величину напряжения, которая может возникнуть при аварийном режиме на металлоконструкции скважины относительно земли, следует принять 125 В.

При этом следует отметить, что реально ожидаемые величины напряжений при данном аварийном режиме

значительно меньше за счет использования на скважине эффективных естественных заземлителей. Появление напряжения на металлоконструкции скважины относительно земли приводит к возникновению на элементах взрывной цепи напряжений, величины которых зависят от схемы протекания токов.

При конкретной оценке этих напряжений должно быть многое учтено, например:

как выполнено заземление геофизического подъемника;

имеется ли электрическая связь между заземляющим устройством и обсадной колонной скважины;

какая часть ГК спущена в скважину;

распределение потенциалов по обсадной колонне скважины и т. д.

Поскольку при всем этом многообразии, напряжения, возникающие на элементах взрывной цепи, составляют лишь часть напряжения, возникающего при аварийном режиме на металлоконструкции скважины относительно земли, то с определенным запасом по безопасности следует за исходную расчетную величину принять 125 В.

Другими словами, для решения поставленной задачи примем следующее допущение: так как напряжение, возникающее на элементах взрывной цепи, не может быть больше напряжения металлоконструкции скважины относительно земли, то за максимальную величину напряжения примем величину напряжения, возникающую при аварийном режиме в электрических сетях между металлоконструкцией скважины и зоной нулевого потенциала.

Теперь несложно определить и минимальную величину сопротивления утечки ГК, исключающую преждевременное срабатывание ПВА. Эта величина может быть определена из следующего упрощенного выражения:

$$R_{\text{в}} + R_{\text{к}} + R_{\text{из}} = U/I_0,$$

где $R_{\text{в}}$ — сопротивление мостика электродетонатора, Ом;
 $R_{\text{к}}$ — сопротивление жилы геофизического кабеля от точки возникновения утечки до электродетонатора, Ом;
 $R_{\text{из}}$ — сопротивление сосредоточенной утечки ГК, Ом;
 I_0 — безопасный ток электродетонатора, А ($I_0 = 0,05$ А);
 U — максимальная величина приложенного напряжения, В.

Подставив в вышеприведенное выражение $U = 125$ В,

$I_0 = 0,05$ А и учитывая, что $R_{из} \gg R_э + R_к$, получим $R_{из} \approx 2500$ Ом.

Так как сосредоточенная утечка может возникнуть в любом месте ГК при любом его положении относительно скважины, то следует считать, что полученная величина определена для ГК, находящегося в скважине. Вне скважины эта величина должна быть в K раз больше.

Принимая, как и ранее при рассмотрении сопротивления изоляции ГК с точки зрения надежности проведения ПВР, $K = 1000$, получим, что минимально допустимая величина сопротивления изоляции ГК, находящегося вне скважины, должна быть не менее 2,5 МОм, гарантируя исключения преждевременного срабатывания ПВА при аварийных режимах в электрических сетях при любом положении ГК относительно скважины.

В. О нормировании величины сопротивления изоляции ГК для прострелочно-взрывных работ

Сравнивая минимально допустимые величины сопротивления изоляции ГК, обеспечивающие надежность и безопасность проведения ПВР, можно определить величину сопротивления изоляции ГК, который может быть допущен к проведению ПВР в скважинах.

Так как величина сопротивления изоляции ГК, обеспечивающая безопасность работ, больше величин, обеспечивающих надежность срабатывания ПВА, то в качестве нормы для ГК, расположенного вне скважины, следует принять величину 2,5 МОм.

При использовании устройства блокировки для ПВА, исключающего протекание во взрывной цепи посторонних токов, вызванных случайным воздействием электрической энергии на взрывную цепь, сопротивление изоляции ГК, пригодного для ПВР, определяется только по условиям надежности срабатывания ПВА в скважине.

3.7. УСТРОЙСТВО БЛОКИРОВКИ ДЛЯ ПРОСТРЕЛОЧНО-ВЗРЫВНЫХ АППАРАТОВ

Обеспечение электробезопасности при прострелочно-взрывных работах в скважинах в современных условиях, когда эти работы нередко ведутся вынужденно без от-

ключения электроустановок в зоне проведения работ, зависит от решения широкого круга задач.

Рассмотрев решение проблемы электробезопасности при ПВР в рамках теории вероятностей (см. разд. 3.5), были сформулированы конкретные задачи, обеспечивающие исключение преждевременного срабатывания ПВА при случайном воздействии электрической энергии на взрывную цепь.

Главной из этих задач является внедрение надежных устройств блокировок для прострелочно-взрывных аппаратов. В практике ПВР известно применение различных видов данных устройств, однако наилучшими техническими и эксплуатационными показателями обладает устройство блокировки для прострелочно-взрывных аппаратов типа УБМ. Оно предназначено для повышения безопасности проведения ПВР в скважине путем исключения протекания во взрывной цепи посторонних токов, вызванных случайным воздействием электрической энергии на взрывную цепь. Устройство УБМ состоит из двух блоков: электронного и реле давления.

Электронный блок представляет собой пороговое устройство, сопротивление которого в закрытом состоянии составляет не менее 50 кОм, а в открытом — доли ома. Раскрытие блока происходит при посылке от взрывного прибора во взрывную цепь импульса любой полярности.

Величина защитного порога по напряжению электронного блока превышает возможные величины напряжений, которые могут возникнуть во взрывной цепи при проведении ПВР без отключения электроустановок на скважине.

Реле давления представляет собой гидростатическое реле, обеспечивающее механический разрыв взрывной цепи при нахождении прострелочно-взрывного аппарата на земной поверхности и восстановление ее при достижении заданной величины гидростатического давления в процессе спуска ПВА в скважину.

Устройство УБМ включается во взрывную цепь последовательно между геофизическим кабелем и прострелочно-взрывным аппаратом. При этом предотвращается преждевременное срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов при воздействии на взрывную цепь:

аварийных режимов в электрическом оборудовании или сетях;

остаточного емкостного заряда геофизического кабеля после проверки величины сопротивления его изоляции или подачи импульса от взрывного прибора при наличии обрыва в цепи;

блуждающих токов, вызванных работой сварочного оборудования, электрифицированного транспорта, катодной защиты от коррозии;

токов, индуктированных атмосферными разрядами; радиоволн и других электромагнитных излучений.

Кроме вышеизложенного, благодаря наличию реле давления, устройство УБМ исключает срабатывание ПВА при случайной подаче импульса во взрывную цепь от взрывного прибора как на земной поверхности, так и в скважине до интервала с гидростатическим давлением не менее 2 МПа.

Устройство УБМ выпускается двух типоразмеров: УБМ-38 (габаритный диаметр 38 мм) и УБМ-60 (габаритный диаметр 60 мм).

УБМ-38 предназначено для применения с прострелочно-взрывным аппаратом диаметром до 60 мм и кабельным наконечником НКБ-36, а УБМ-60 с прострелочно-взрывным аппаратом диаметром от 60 мм и выше и кабельным наконечником НКБ-60.

Основные параметры устройства УБМ, не зависящие от типоразмера, следующие:

Защитный порог электронного блока при температуре окружающей среды до 80 °С (В) не менее:	
для переменного тока (действующее значение)	250
для постоянного тока	350
Порог срабатывания реле давления, МПа	2—10
Электрическое сопротивление цепи, кОм:	
при разомкнутом контакте реле давления	∞
при замкнутом контакте реле давления в прямом направлении	50
при замкнутом контакте реле давления в обратном направлении, не менее	500
Температура окружающей среды, °С, не более	120
Давление окружающей среды, МПа, не более	120

Наличие в устройстве УБМ двойной блокировки (электронной и механической), обеспечивающей надежную защиту людей от преждевременного срабатывания ПВА на поверхности в результате случайного воздействия на взрывную цепь электрической энергии, а также высокие эксплуатационные показатели устройства УБМ впервые в отечественной практике обеспечили возмож-

ность проведения ПВР без отключения электроустановок в зоне проведения работ.

При этом помимо социального эффекта, заключающегося в обеспечении безопасности людей и улучшении условий их труда (освещение, обогрев в холодное время и т. п.), применение устройства УБМ позволяет получить значительный экономический эффект за счет исключения при ПВР перерывов в добыче нефти и простоя бурового оборудования на кустовых скважинах, а также за счет проведения ПВР в темное время суток, ускоряющих освоение и ввод скважин в эксплуатацию.

В заключение отметим, что решение главной задачи проблемы электробезопасности при ПВР с помощью разработки и внедрения устройства УБМ позволило совершенно по-новому рассмотреть технологический процесс проведения ПВР в скважинах с точки зрения обеспечения его техническими средствами, особенно для глубоких и сверхглубоких скважин. При этом наиболее актуальным следует признать разработку устройства контроля взрывной цепи в процессе спуска ПВА в скважину, устройства контроля срабатывания ПВА, устройства контроля интервала перфорации, устройства ориентирования и прижима ПВА к стенке скважины. Разработка данных технических средств ведется с учетом наличия во взрывной цепи устройства блокировки УБМ, что позволит в ближайшее время существенно повысить эффективность прострелочно-взрывных работ в скважинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуцкий В. И., Сидоров А. И., Ситчихин Ю. В. О длительно допустимых токах и напряжениях прикосновения.— Изв. вузов. Горный журнал, 1979, № 6, с. 99—101.

2. Бигельмеер Г. Полное сопротивление организма живого человека переменному току 50 Гц. РЖ. «Электротехника и электроэнергетика», сводный том, 1981.

3. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках. М., Энергия, 1979.

4. ГОСТ 12.1.038—82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. М., Изд-во стандартов, 1982.

5. ГОСТ 12.1.019—79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования. М., Изд-во стандартов, 1984.

6. ГОСТ 12.1.030—81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. М., Изд-во стандартов, 1984.

7. Правила устройства электроустановок. М., Энергоатомиздат, 1985.

8. Лихачев Ф. А. Аварии при измерениях емкостных токов в сетях.— Электрические станции, 1961, № 3, с. 60—66.

9. Меньшов Б. Г., Шадинский В. К. Измерение проводимости и токов замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью.— Электричество, 1969, № 4, с. 77—79.

10. Ломоносов М. А. Измерение токов замыкания на землю в сетях 6—10 кВ с незаземленной нейтралью.— Электрические станции, 1950, № 5, с. 55.

11. Лихачев Ф. А. Измерение емкостных токов и токов замыкания на землю в сетях с изолированными нейтралью и дугогасящими катушками.— Электрические станции, 1955, № 3, с. 32—37.

12. Григорян П. М., Мартиросян К. А. Измерение токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью напряжением 6—10 кВ.— Промышленная энергетика, 1972, № 11, с. 11—13.

13. Шуцкий В. И., Гуцин Н. Я. Исследование состояния изоляции электрических сетей напряжением выше 1000 В открытых и подземных работ.— Изв. вузов. Горный журнал, 1973, № 10, с. 150—155.

14. Григорян П. М. Измерение проводимости и токов замыкания на землю в сетях напряжением 6—10 кВ.— Промышленная энергетика, 1983, № 8, с. 49—50.

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М., Энергоатомиздат, 1986.

16. Меньшов Б. Г., Суд Н. И. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1984.

17. Моцохейн Б. И., Парфенов Б. М. Электропривод буровых лебедок. М., Недра, 1978.

18. Рувинский В. А., Григорян П. М., Мартиросян К. А. Метод оценки заземляющих устройств для буровых установок.— Промышленная энергетика, 1977, № 3, с. 38—39.

19. Рувинский В. А., Акоюн Г. В. Меры электробезопасности при использовании бурильной колонны в качестве токоподвода элек-

тробура.— В кн.: Техника безопасности в нефтяной промышленности. М., Недра, 1970, с. 71—80.

20. Рувинский В. А., Григорян П. М. Вопросы электробезопасности при работе электровибробура.— В кн.: Техника безопасности в нефтяной промышленности. Баку, АзНИПИнефть, 1977, с. 96—101.

21. Шилунов Н. В. Защитное отключение. М., Энергия, 1968.

22. Найфельд М. Р. Заземления, защитные меры электробезопасности. М., Энергия, 1971.

23. Рувинский В. А., Григорян П. М. Применение защитного отключения на электрифицированных буровых установках.— Нефтяное хозяйство, 1973, № 12, с. 45—47.

24. Григорян П. М. Искажение распределения потенциала олюночного электрода углубленным металлическим цилиндром.— Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 4, с. 168—171.

25. Григорян П. М. Влияние подземных коммуникаций на работу защитного отключения по напряжению.— В кн.: Повышение электробезопасности и надежности электроснабжения. ВНИИОЭНГ, М., 1973, с. 37—43.

26. Григорян П. М. Применение устройств защитного отключения взамен заземления.— Безопасность труда в промышленности, 1977, № 5, с. 40.

27. Равикович И. Д. Техника безопасности в передвижных электроустановках. М., Энергия, 1971.

28. А. с. 855823 [СССР]. Устройство для защиты передвижного электроприемника в сети переменного тока при появлении опасного напряжения между корпусом электроприемника и землей/Авт. изобрет. Г. А. Винник, Г. Ф. Кобриков, Н. Л. Норовило— Заявл. 02.07.79. Оpubл. в Б. И., 1981, № 30.

29. А. с. 496632 [СССР]. Устройство для защитного отключения электроустановок/Авт. изобрет. В. А. Рувинский, П. М. Григорян.— Заявл. 24.10.72. Оpubл. в Б. И., 1975, № 47.

30. А. с. 619223 [СССР]. Устройство для защитного отключения электроустановок с заземленным корпусом «ЗОРГ»/Авт. изобрет. В. А. Рувинский, П. М. Григорян.— Заявл. 17.02.75. Оpubл. в Б. И., 1978, № 21.

31. Рувинский В. А., Григорян П. М. Устройство защитного отключения для электрифицированных буровых установок.— Промышленная энергетика, 1979, № 6, с. 9—10.

32. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, утвержденная постановлением Госкомитета Совета Министров СССР по науке и технике № 48/16/13/3 от 24.02.77. М., ЦНИИПИ Госкомизобретений, 1978.

33. ГОСТ 12.1.009—76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения. М., Изд-во стандартов, 1976.

34. Единые правила безопасности при взрывных работах. М., Недра, 1976.

35. Рувинский В. А., Григорян П. М., Акопов Н. Б., Аколян Ю. В. Влияние аварийных режимов в электрических сетях на срабатывание пррстрелочно-взрывных аппаратов.— Нефтяное хозяйство, 1978, № 12, с. 29—30.

36. Григорян П. М. Электробезопасность при пррстрелочно-взрывных работах.— Безопасность труда в промышленности, 1982, № 6, с. 41—43.

37. Рувинский В. А., Григорян П. М., Аколян Ю. В. О влиянии

высоковольтных линий электропередач на каротажный кабель.— Нефтяное хозяйство, 1979, № 8, с. 50—53.

38. Методы расчета электростатических полей/Н. Н. Миролюбов, М. В. Костенко, М. Л. Левинштейн, Н. М. Тиходеев. М., Высшая школа, 1963.

39. Михайлов М. И., Разумов Л. Д. Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. М., Связь, 1967.

40. Краткий справочник по прострелочно-взрывным работам в скважинах. М., Недра. 1970.

41. Григорян П. М. Обеспечить безопасность прострелочно-взрывных работ.— Газовая промышленность, 1982, № 2, с. 39—41.

42. Инструкция по устройству сетей заземления и зануления в электроустановках. СН 102—76. М., Стройиздат, 1977.

43. Рувинский В. А., Григорян П. М., Акопов Н. Б., Акопян Ю. В. Безопасность труда при организации прострелочно-взрывных работ в темное время суток.— Нефтяное хозяйство, 1980, № 11, с. 47—48.

44. Рувинский В. А., Акопов Н. Б., Григорян П. М., Акопян Ю. В., Фигаров А. А. Организация освещения прострелочно-взрывных работ на скважинах.— В кн.: Средства техники безопасности и охрана труда в нефтяной промышленности. М., ВНИИОЭНГ, 1980, с. 66—70.

45. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., Наука, 1969.

46. Якобс А. И. Обоснование новых требований, ПУЭ к защитным мерам электробезопасности.— Промышленная энергетика, 1979, № 10, с. 49—53.

47. ГОСТ 12.1.010—76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования. М., Изд-во стандартов, 1976.

48. Григорян П. М., Исмаилова А. Т. Минимально допустимая величина сопротивления изоляции геофизического кабеля.— Безопасность труда в промышленности, 1984, № 4, с. 40—41.

49. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники, часть I. М., Энергия, 1964.

50. Марголин Н. Ф. Токи в земле. М., Госэнергонздат, 1947.

51. Горбенко Л. А., Месенжниц Я. З. Кабели и провода для геофизических работ. М., Энергия, 1977.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Общие вопросы электробезопасности	
1.1. Действие электрического тока на организм человека	4
1.2. Меры защиты от поражения электрическим током	9
1.3. Основные технические и организационные мероприятия, обеспечивающие безопасность работ в электроустановках	11
1.4. Условия поражения электрическим током в сетях с различным режимом нейтрали	14
1.5 Токи однофазного замыкания на землю и методы их измерения	19
2. Электробезопасность при буровых работах	
2.1. Электрооборудование буровых установок и системы питания их	27
2.2. Защитное заземление буровых установок, питающихся от электросети 6 кВ	29
2.3. Заземление установок электро- и виброэлектробурения	34
2.4. Анализ эффективности применения типовых схем защитного отключения для буровых установок	37
2.5. Устройство защитного отключения для электрифицированных буровых установок с самоконтролем исправности	44
2.6. Техничко-экономическая оценка целесообразности применения защитного отключения на буровых установках	48
3. Электробезопасность при прострелочно-взрывных работах	52
3.1. Влияние аварийных режимов в электрических сетях на срабатывание прострелочно-взрывных аппаратов	53
3.2. О влиянии высоковольтных линий электропередач на геофизический кабель	58
3.3. Обеспечение безопасности при проведении прострелочно-взрывных работ на морских нефтегазопромысловых сооружениях	64
3.4. Обеспечение безопасности при проведении прострелочно-взрывных работ в темное время суток	69
3.5. Вероятностная характеристика электробезопасности при прострелочно-взрывных работах	73
3.6. Сопротивление изоляции геофизического кабеля с точки зрения надежности и безопасности проведения прострелочно-взрывных работ	76
3.7. Устройство блокировки для прострелочно-взрывных аппаратов	89
Список литературы	93