

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Электрические системы”

Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине

«Монтаж электрических сетей»

для студентов I ступени получения высшего образования
специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические
системы и сети»

Учебное электронное издание

Минск БНТУ 2021

Составители: М.А. Короткевич, Ю.С. Жмуренков,
Д.Г. Ковзова, С.С. Соловьев

Рецензенты:

В.М. Збродыга, заведующий кафедрой «Электроснабжение» «Белорусского государственного аграрного технического университета», кандидат технических наук, доцент

Г.И. Селиверстов, доцент «Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого», кандидат технических наук, доцент

В данном электронном учебно-методическом комплексе по учебной дисциплине «Монтаж электрических сетей», составленном на основе изданного в 2016 году учебно-методического пособия к практическим занятиям по дисциплине «Монтаж электрических сетей» (автор Короткевич М.А.), содержится 16 практических заданий, которые направлены на углубленное изучение студентами специфики монтажа воздушных и кабельных линий электропередачи.

Работы охватывают широкий круг важнейших вопросов, связанных с раскаткой проводов, определению усилий, действующих на анкерные опоры, на провода и тросы при их опускании, разбивкой котлованов для установки опор, определением наведенного напряжения на проводах отключенных линий, находящихся в зоне влияния других линий, составлением программы испытаний железобетонной опоры на прочность, жесткость и трещиностойкость.

Комплекс работ предназначен для учебного процесса ВУЗа по специальности: 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети".

Белорусский национальный технический университет
Пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 232-77-52 факс (017) 232-91-37
E-mail:elsyst@bntu.by <http://www.bntu.by>
Регистрационный № _____

©Короткевич М.А., Жмуренков Ю.С. 2021
©Соловьев С.С., Ковзова Д.Г., 2021
©БНТУ, 2021

Оглавление

Теоретический раздел.....	4
Практический раздел.....	13
1 Составление карты развозки барабанов с проводом	13
2 Разбивка котлованов для установки одностоечных и двухстоечных железобетонных и металлических промежуточных и анкерно-угловых опор ...	16
3 Определение усилий, возникающих в такелажных приспособлениях, при подъеме опоры с помощью падающей стрелы	22
4 Выбор целесообразного способа подъема опор воздушных линий электропередачи	27
5 Выбор целесообразного способа раскатки проводов и грозозащитных тросов.....	33
6 Определение усилий, действующих на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов	35
7 Определение усилий в проводах и тросах при опускании их с опор	38
8 Определение усилий тяжения за оболочку и жилы кабеля при их раскатке	39
9 Построение монтажных кривых для визируемых пролетов	43
10 Расчет переходов через инженерные сооружения и водные преграды ..	48
11 Проектирование заземляющих устройств опор воздушных линий электропередачи	52
12 Оценка площади отчуждаемой территории для размещения опор воздушной линии электропередачи	57
13 Эффективность замены проводов на воздушных линиях электропередачи	63
14 Определение наведенного напряжения на проводах отключенных воздушных линий электропередачи, находящихся вблизи других действующих линий.....	66
15 Оценка значения длительно допустимого тока нагрузки для силовых электрических кабелей, проложенных в земле, воздухе, туннелях, воде, блоках	71
16 Составление программы испытаний железобетонной стойки опоры на прочность и трещиностойкость	75
Вспомогательный раздел	79
Раздел контроля знаний	98
Список использованной литературы	99

Теоретический раздел

Комплекс работ по сооружению линии электропередачи состоит из четырех этапов, выполняемых последовательно:

— подготовительных работ (разбивка центров опор и оси ВЛ — производственный пикетаж, вырубка просек и расчистка трассы, переустройство инженерных сооружений на трассе ВЛ, строительство необходимых временных сооружений и развозка материалов по трассе);

— строительных работ (разбивка или разметка котлованов, земляные работы, устройство фундаментов и заземляющих устройств, сборка, установка, выверка и закрепление опор);

— монтажных работ (раскатка и соединение проводов и тросов, подъем их на опоры, натягивание и закрепление на опорах, установка гасителей вибрации и дистанционных распорок, монтаж петель и грозозащитных устройств);

— пусконаладочных работ и сдачи ВЛ в эксплуатацию.

Общее количество опор N для сооружения линии длиной L ориентировочно может быть определено как

$$N = \frac{L}{0,9\ell_{\text{габ}}} + 1,$$

где $\ell_{\text{габ}}$ — длина габаритного пролета.

Котлованы под установку одностоечных и двухстоечных железобетонных или деревянных опор разрабатывают, как правило, с помощью бурильных машин. Центрами котлованов для установки одностоечных опор служат центры пикетов, которые устанавливаются до начала строительства в процессе так называемого производственного пикетажа, обеспечивающего перенесение мест установки опор с продольного профиля трассы линии в натуру, т.е. на местность. Теодолит устанавливают в центре пикета и рейки над центром смежных опор, здесь определяется и закрепляется на местности ось трассы линии и оси поперек оси трассы.

При разбивке котлованов для установки двухстоечных промежуточных опор далее по оси траверс в обе стороны от центра пикета откладываются расстояния, равные половине расстояния между центрами нижней части стоек двустоечной опоры и забиваются колышки, являющиеся центрами котлованов для стоек двухстоечной опоры

В углах поворота трассы линии устанавливаются анкерно-угловые опоры. Особенность установки отмеченных опор состоит в том, что ось траверс располагается по биссектрисе внутреннего угла поворота линии, определяемого как

$$\beta = 180^\circ - \alpha, \text{ град,}$$

где α - угол поворота трассы линии, град.

Решетчатая четырехгранная металлическая опора своей прямоугольной или квадратной базой опирается на четыре подножника, которые необходимо разместить относительно центра опоры, т.е. пикета.

В состав работ по монтажу железобетонных опор входит: выкладка стоек, сборка опоры, установка, выверка и закрепление опоры.

До начала производства работ по сборке и установке опор подготавливается площадка: она очищается от пней и кустарников, снега, от нее отводится (если она там имеется) вода, либо сооружаются настилы для рабочих, производится планировка на косогорах горизонтальной площадки для установки грузоподъемного механизма. Размер площадок зависит от способа монтажа опор.

Опору на прямых участках линии выкладывают у пикета вдоль оси линии, на косогорах вершиной (траверсами) в сторону подъема косогора.

Вблизи пересекаемых объектов опоры выкладывают вершиной к пересечению, если от него до пикета расстояние не меньше 1,5 высоты опоры. В противном случае, схема выкладки опоры определяется проектом.

Сборку и установку типовых опор выполняют по типовым технологическим картам.

Установка опор состоит из подготовительных работ, подъема, выверки, закрепления опор и демонтажа вспомогательного оборудования и приспособлений.

Способы установки железобетонных опор воздушных линий электропередачи:

- с помощью грузоподъемного крана;
- с помощью специального крана установщика опор воздушных линий электропередачи (КВЛ);
- с помощью грузоподъемного крана и тракторов (методом поворота вокруг шарнира) – одностоечные анкерно-угловые железобетонные опоры на оттяжках;
- с помощью падающей стрелы и тяговых тракторов;
- с помощью вертолета.

Металлические опоры, имеющие более высокую стоимость по сравнению с железобетонными и деревянными, относятся к универсальным опорам, которые можно сконструировать любой высоты и на любые внешние нагрузки.

На линиях электропередачи применяются металлические опоры следующих конструкций:

- болтовые опоры со сварными тросостойками;
- опоры, собираемые на трассе линии до нижних траверс из отдельных элементов с помощью болтовых соединений, а от нижних траверс и выше – из сварных секций;
- опоры, собираемые из заранее сваренных крупных секций.

Установка металлических опор может выполняться следующими способами: методом поворота собранных в горизонтальном положении опор, методом вертикального наращивания, с помощью вертолетов.

Одностоечные свободностоящие опоры массой до 5 т и высотой до 15 м поднимаются краном, массой 5-10 т и высотой до 22 м – краном и трактором; более 10 т и порталные опоры – с помощью падающей стрелы и тракторов.

Метод поворота предполагает поворот поднимаемой опоры вокруг оси, находящейся на фундаменте.

Промежуточные (массой 3,5 т) и анкерно-угловые (массой 6,5 т) одноцепные и двухцепные опоры линий напряжением 110 кВ могут быть подняты из горизонтального в вертикальное положение методом поворота с помощью механизмов соответствующей грузоподъемности, а именно:

- падающей стрелы и двух тракторов;
- грузоподъемного крана и одного или двух тракторов.

Провод поставляется с заводов-изготовителей намотанным на шейки деревянных барабанов, закрытых обшивкой, выполненной в виде сплошного ряда досок, обтянутых по краям стальной упаковочной лентой или скрепленных проволокой. Барабаны имеют номера от 5 до 30.

Разгрузка барабанов на трассе линии может быть выполнена с помощью кранов или с использованием простых приспособлений в виде наклонных балок или лафетных досок (покатов), по которым барабаны плавно спускают с платформ автомашин на землю с помощью блоков или ручных лебедок.

Барабаны при перевозке размещаются в вертикальном положении и раскрепляются тросовыми растяжками и клиньями.

Для перевозки барабанов по дорогам могут быть использованы специальные прицепы и полуприцепы – трейлеры, а по бездорожью – тягачи на гусеничном ходу, позволяющие также производить и раскатку проводов.

Небольшие партии изоляторов упаковывают и перевозят в деревянных ящиках, которые в кузовах автомашин раскрепляются.

Перевозка большого количества изоляторов осуществляется в разборных металлических из стального уголка контейнерах, в которые укладываются деревянные решетки с изоляторами. При этом решетки сделаны так, чтобы юбки изоляторов одной гирлянды размещались в промежутках между юбками изоляторов другой гирлянды.

Перед развозкой барабанов на трассу линии составляется карта развозки барабанов, цель которой состоит в расположении их на трассе таким образом, чтобы обеспечивалось удобство транспортировки барабанов, рациональная раскатка проводов и тросов, исключалось соединение проводов в таких местах, где установка соединителей не допускается или нежелательна (в пролетах пересечений с инженерными сооружениями и водными преградами, над оврагами, непосредственно у поддерживающих зажимов и т.п.).

Работы по монтажу проводов и грозозащитных тросов, являющиеся заключительными при сооружении линий электропередачи, выполняются в следующей последовательности:

- раскатка грозозащитных тросов;
- раскатка проводов;

- соединение проводов и грозозащитных тросов;
- натягивание и визирование по рассчитанным монтажным кривым грозозащитных тросов, проводов и закрепление их к опорам;
- перекладка тросов и проводов из раскаточных роликов в поддерживающие зажимы;
- соединение проводов и тросов в шлейфах анкерных опор;
- установка гасителей вибрации, дистанционных распорок, защитных колец.

Началу выполнения перечисленных работ непосредственно по монтажу проводов и тросов предшествуют подготовительные работы, включающие в себя:

- осмотр трассы воздушной линии электропередачи;
- составление карты развозки барабанов;
- комплектование изоляторов и линейной арматуры;
- подготовка монтажных приспособлений, такелажа и механизмов;
- организация связи между бригадами и звеньями одной бригады.

Возможны следующие способы раскатки проводов и тросов:

- с помощью передвижных наземных машин;
- с козел волочением по земле и раскаточным роликам;
- под тяжением;
- с помощью одного или двух вертолетов.

При пересечении воздушными линиями водных пространств, улиц, воздушных линий электропередачи, кабельных линий связи, автомобильных дорог, троллейбусных и трамвайных линий, надземных и подземных трубопроводов, а также канатных дорог, угол пересечения не нормируется.

Угол пересечения воздушными линиями электрифицированных железных дорог должен быть не менее 40° , а по возможности ближе к 90° . Угол пресечения воздушными линиями линий связи, выполненных неизолированными проводами, надземных и наземных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов следует принимать близким к 90° . Угол пересечения воздушными линиями напряжением 110 кВ газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов должен быть не менее 60° .

Место пересечения воздушных линий между собой и с неизолированными проводами линий связи должно выбираться возможно ближе к опоре верхней пересекающей линии; при этом горизонтальное расстояние от этой опоры до проводов нижней пересекаемой линии должно быть не менее 6 м (7 м – до проводов линии связи), а от опор пересекаемой линии до проводов верхней пересекающей линии – не менее 5 м (от опор линий связи до проекции ближайшего провода пересекающей линии – не менее 15 м).

Воздушные линии электропередачи оказывают негативное влияние на окружающую среду и, в частности, на ее экологические, социальные и экономические системы. Для сооружения линий электропередачи требуется отводы земель под опоры и вырубка просек при прохождении трассы линии по лесному массиву. Последствия отвода земель и вырубки леса выражаются:

– в разрушении ценных сельскохозяйственных земель, а именно: в порче посевов, верхних плодородных слоев земли при строительстве линий и, следовательно, снижении объемов производства сельскохозяйственной продукции;

– в снижении водоохраных, водорегулирующих, противозерозионных, климаторегулирующих, почвозащитных, полезащитных функций леса; изменение среды обитания животных и птиц и их генофонда (площадь вырубки леса для прокладки одного километра линии напряжением до 10 кВ, а также линий напряжением 35; 110; 220; 330 и 750 кВ составляет 0,7; 3,4; 3,2; 3,7; 5,6; 8,5 га/км при ширине просеки 7; 34; 37; 56 и 85 м).

Введенная в эксплуатацию воздушная линия электропередачи изменяют рельеф местности и оказывает влияние на условия жизни населения вблизи линии, а именно, создает дискомфорт, вызванный акустическим шумом, исходящим от линии, воздействием на телевидение, связь, радио, необходимостью соблюдения безопасности и продолжительности пребывания в зоне отчуждения линии из-за высокой напряженности электрического поля и повышенной концентрации озона и окислов азота.

Линии создают препятствия на путях миграции животных и птиц, а также оказывают электромагнитное влияние на параллельные им воздушные линии электропередачи.

Однако в целом воздушные линии электропередачи не представляют значительной угрозы окружающей среде, так как не загрязняют воздух, воду и землю.

Изъятие земли для сооружения воздушной линии электропередачи осуществляется под постоянное (площадки под опоры и фундаменты) и временное (на период строительства) пользование.

Временное изъятие земли на период строительства линии необходимо:

- для прокладки временных дорог к пикетам;
- для размещения складов и жилых помещений для строительного монтажного персонала;
- для организации площадок для сборки и последующей установки опор;
- для организации раскатки и монтажа проводов и грозозащитных тросов.

Ширина отчуждаемого участка трассы для сооружения линии напряжением 10 – 35 кВ составляет от 21 до 33 м.

Силовые электрические кабели напряжением до 1 кВ изготавливаются двух-, трех-, четырех- и пятижильными, а напряжением 6 – 10 кВ – одножильными (кабели с полиэтиленовой изоляцией напряжением 10 кВ) и трехжильными (кабели с бумажной изоляцией на напряжение 6. ... 10 кВ и полиэтиленовой изоляцией на напряжение 6 кВ); напряжением 110 кВ и выше – только одножильными.

Силовой электрический многожильный кабель с бумажно-масляной изоляцией состоит из медных или алюминиевых одно- или многопроволочных токопроводящих жил, покрытых бумажно-масляной фазной и поясной изоляцией и защитными покровами.

Токопроводящие алюминиевые или медные жилы могут изготавливаться однопроволочными соответственно поперечного сечения до 240 мм² и до 50 мм² или многопроволочными (алюминиевые с площадью поперечного сечения 70 ... 240 мм²; медные – с площадью поперечного сечения до 240 мм²) круглой, сегментной или секторной форм.

Токопроводящие жилы для однофазных маслонаполненных кабелей на напряжение 110 кВ и выше изготавливаются только медными. Медная токопроводящая жила для маслонаполненных силовых кабелей низкого давления на напряжение 110 ... 220 кВ состоит из двух повивов: первый повив выполнен из z образных проволок, соединение которых между собой в замок образует маслопроводящий канал диаметром 12 ... 14 мм; второй повив выполняется из сегментных проволок. Многопроволочная медная жила для маслонаполненного кабеля высокого давления на напряжение 330 кВ выполняется из проволок круглой формы.

Кабели с бумажно-масляной изоляцией на напряжение 10 кВ имеют:

фазную и поясную бумажную изоляцию, пропитанную маслоканифольным составом;

герметичную свинцовую или алюминиевую оболочки, предохраняющие изоляцию от проникновения в нее влаги и обеспечивающие защиту от механических повреждений;

защитный покров, состоящий из подушки, брони и наружного покрова, и предназначенный для защиты от коррозии и механических повреждений металлических оболочек.

Подушка у кабелей с бумажной изоляцией, состоящая из пяти чередующихся слоев “битум-крепированная бумага”, предназначена для защиты металлической оболочки кабеля от почвенной коррозии и от механических повреждений при наложении на кабель брони. Подушка может также включать вязкий подклеивающий состав, полиэтилентерефталатную ленту, выпрессованный полиэтиленовый или поливинилхлоридный шланг.

Для защиты кабелей от механических повреждений применяется стальная броня, содержащая, как правило, две ленты толщиной 0,5 ... 0,8 мм или стальные оцинкованные плоские или круглые проволоки толщиной 1,4 ... 6 мм.

Наружный покров, состоящих из чередующихся слоев битума, пропитанной кабельной пряжи, битума и мелового покрытия (предохраняющего витки кабеля от слипания на барабане), предназначен для защиты стальной брони от коррозии.

У кабельных линий, проложенных кабелями с полиэтиленовой изоляцией имеются следующие преимущества перед традиционными кабельными линиями, выполненными трехжильными кабелями с бумажно-масляной изоляцией:

– более высокая пропускная способность за счет более высокой допустимой температуры нагрева жил (90°С вместо 70°С);

– более высокий ток термической стойкости (допустимая температура нагрева жил кабеля токами короткого замыкания 250°С вместо 200°С – для традиционного кабеля);

– более высокое сопротивление изоляции при рабочей температуре жил и, следовательно, меньшие диэлектрические потери;

– меньшая масса (в 1,2...1,4 раза с учетом массы барабанов);

– значительно меньшая повреждаемость (на один-два порядка);

– неограниченная разность уровней прокладки;

– возможность изготовления кабелей с площадью поперечного сечения жил 800 мм² (вместо 240 мм² для трехжильных кабелей с комбинированной изоляцией);

– возможность прокладка кабеля при температуре наружного воздуха до минус 20 °С без его предварительного подогрева;

– меньший допустимый радиус изгиба кабеля (15 значений наружного диаметра) при его прокладки по сравнению с многожильными кабелями с алюминиевой оболочкой (25 значений наружного диаметра кабеля).

Кабельной линией электропередачи называется устройство для передачи электрической энергии по одному или нескольким параллельным кабелям с соединительными, концевыми и стопорными муфтами, а также подпитывающими аппаратами.

Кабельные линии могут прокладываться в грунте, в земляных траншеях, воде или в кабельных сооружениях (в воздухе).

Кабельное сооружение предназначено специально для размещения в ней кабелей и представляет собой кабельные туннели, каналы, блоки, этажи, двойные полы, кабельные эстакады, галереи, камеры, подпитывающие пункты (необходимые для маслонаполненных кабелей).

Кабельные каналы – это закрытое и частично или полностью заглубленное в грунт, пол либо перекрытие непроходное сооружение, предназначенное для размещения в нем кабелей. Наибольший размер сечения кабельного канала 1200 × 1200 мм, к его стенкам крепятся полки или подвески, на которые в один ряд укладываются кабели. При этом силовые кабели напряжением выше 1 кВ укладываются вдоль одной стенки на верхних полках. Заглубление каналов в грунте осуществляется на 300...700 мм.

Частично заглубленные кабельные каналы, называемые полуподземными, выступают на 150...350 мм над планировочными отметками. Укладку, осмотр и ремонт кабелей возможно проводить только при снятом перекрытии канала.

При количестве кабелей, прокладываемых параллельно, более 20, применяется их прокладка в туннелях.

Кабельные туннели – это закрытое сооружение с расположенными в нем вдоль стен опорными конструкциями для размещения на них кабелей и кабельных муфт, со свободным проходом по всей длине (размер прямоугольного сечения туннеля 1500 × 2100 мм), позволяющим производить прокладку кабелей, их осмотр и ремонт.

Силовые кабели напряжением свыше 1 кВ укладываются вдоль обеих стенок туннеля на верхних полках.

Кабельные туннели относятся к более дорогим способам прокладки кабеля, так как в них должны быть предусмотрены деления на отсеки с независимой вентиляцией, люки для пожаротушения и т.д.

В то же время в кабельных каналах и туннелях худшие условия охлаждения кабелей по сравнению с прокладкой в земле.

Коллекторы – инженерное сооружение, предназначенное для прокладки не только электрических кабелей, но и трубопроводов, теплопроводов, водопроводов, труб канализации.

При нескольких параллельных кабельных линиях и значительной вероятности их механических повреждений (особенно при прокладке на небольшой глубине) применяются прокладку кабелей в блоках.

Кабельный блок – сооружение с трубами (каналами) для прокладки в них кабелей с относящимися к нему колодцами.

Для сооружения кабельных блоков используют одноканальные гончарные, асбестоцементные либо бетонные трубы, которые укладывают в один или несколько рядов в траншею на бетонное основание; после стыковки трубы скрепляют бетоном в общий блок. В местах соединений и ответвлений кабелей, а также на прямых участках длинных кабельных линий (более 150 м) для обеспечения протяжки кабелей через каналы блоков сооружаются колодцы, в которые входят трубы блока. Трубы в блоках укладывают с небольшим уклоном (0,3%) к колодцам, куда стекает случайно попавшая в них вода.

Кабельный колодец – это кабельная камера, имеющая люк для входа в нее. Кабельная камера – подземное сооружение, закрытое объемной бетонной плитой, предназначенное для укладки кабельных муфт или для протяжки кабелей в блоки. По форме кабельные колодцы бывают прямыми, угловыми, Т-образными и крестообразными.

Прокладка кабелей в каналах, туннелях, блоках обеспечивает хорошую их защиту от механических повреждений и облегчает ремонт, который при данных видах прокладки производят без земляных работ, не нарушая движение транспорта и людей. Однако стоимость прокладки указанных видов значительна. Поэтому они применяются только для особо ответственных линий с большим количеством параллельных кабелей.

При высоких концентрированных нагрузках и химически агрессивной почве, наличии блуждающих токов применяют прокладку кабелей на эстакадах. Кабельная эстакада – это наземное или надземное открытое горизонтальное или наклонное протяженное кабельное сооружение. Надземная кабельная эстакада, применяемая в основном на промышленных предприятиях, представляет собой конструкцию, состоящую из опор, на которых размещаются полки для укладки кабелей. Кабели на эстакадах подлежат защите от воздействия солнечной радиации. При эстакадной прокладке кабеля обеспечивается удобство монтажа и эксплуатации, малая вероятность механических повреждений.

Закрытая полностью или частично проходная кабельная эстакада представляет собой кабельную галерею.

На электростанциях и крупных промышленных предприятиях кабели могут прокладываться в кабельных этажах или под двойным полом. Кабельный этаж – часть здания с расстоянием между полом и перекрытиями не менее 1,8 м. Двойной пол – это полость, ограниченная стенами помещения, междуэтажным перекрытием и полом помещения со съемными плитами. Прокладка кабелей в полу и междуэтажных перекрытиях производится в трубах или каналах.

Подпитывающий пункт, обеспечивающий подпитку маслом каналов маслонаполненных кабелей низкого давления (до 0,3 МПа), включает баки питания, баки давления и подпитывающие агрегаты. Он выполняется в виде наземного, надземного или подземного сооружения.

В городах кабельные линии прокладываются, как правило, в земле по непроезжей части улиц, под тротуарами, по дворам и техническим полосам в виде газонов или кустарниковых посадок. По улицам и площадям, насыщенным подземными коммуникациями, кабельные линии необходимо прокладывать в туннелях. При пересечении улиц и площадей кабельные линии монтируются в блоках или трубах.

Для кабельных линий, прокладываемых в земле и воде, должны применяться бронированные кабели. При прокладке в каналах, туннелях, кабельных помещениях (кабельный этаж, двойной пол, кабельная галерея) допускается использование небронированных кабелей. Для линий, прокладываемых в блоках, используются небронированные кабели в усиленной свинцовой оболочке. Подводные кабельные линии сооружаются кабелями в свинцовой оболочке с броней из круглой проволоки, имеющие водоблокирующую ленту, без соединительных муфт.

Практический раздел

1 Составление карты развозки барабанов с проводом

Задача. Составить карту развозки барабанов с проводами на трассу линии для последующего их монтажа в анкерном пролете длиной 5 км. Длина пролета и строительная длина провода на барабане указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Длина пролета и строительная длина провода на барабане

Номер варианта	Марка провода	Длина пролета $l, м$	Строительная длина провода на барабане $l_{СТР}, м$	Номер варианта	Марка провода	Длина пролета $l, м$	Строительная длина провода на барабане, $l_{СТР}, м$
1	АС 70/11	120	3000	14	АС 400/51	380	1500
2	АС 95/16	150	1500	15	АС 120/27	185	2000
3	АС 95/16	140	1500	16	АС 150/34	200	2000
4	АС 120/19	160	2000	17	АС 185/43	210	2000
5	АС 150/24	200	2000	18	АС 240/56	220	2000
6	АС 240/39	210	2000	19	АС 300/66	250	2000
7	АС 300/48	300	1500	20	АС 400/93	280	1500
8	АС 400/64	320	2000	21	АС 185/128	230	4000
9	АС 150/19	250	2000	22	АС 300/204	310	3500
10	АС 185/24	280	2000	23	АС 70/72	190	4000
11	АС 240/32	230	2000	24	АС 95/141	200	4000
12	АС 300/39	350	2000	25	АС 330/27	340	2000
13	АС 330/43	370	2000	26	АС 400/22	350	1500

Методические указания

Определяем количество опор на трассе линии:

$$n_{\text{оп}} = \frac{5000}{l} + 1, \quad (1.1)$$

из них концевых анкерных опор - две, промежуточных - $(n_{\text{оп}} - 2)$.

Количество барабанов с проводом для сооружения линии длиной 5 км определим по формуле

$$m_B = \frac{3 \cdot 5000}{l_{\text{СТР}}}. \quad (1.2)$$

Количество барабанов с проводящим грозозащитным тросом АС 70/11

$$m_B^T = \frac{5000}{l_{\text{СТР}}}. \quad (1.3)$$

Пронумеруем опоры на трассе линии (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема расстановки опор на трассе линии

Карта развозки барабанов имеет вид таблицы 1.2.

Таблица 1.2 - Карта развозки барабанов на трассу линии

Номер провода или троса	Номер опоры и расстояние между опорами										
		350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
	$\overrightarrow{A1}$	$\overrightarrow{П1}$	$\overrightarrow{П2}$	$\overrightarrow{П3}$	$\overrightarrow{П4}$	$\overrightarrow{П5}$	$\overrightarrow{П6}$	$\overrightarrow{П7}$	$\overrightarrow{П8}$	$\overrightarrow{П9}$	$\overrightarrow{П10}$
Провод 1	2000 → 30					1720 → 280					
Провод 2	2000 → 30					1720 → 280					
Провод 3	2000 → 30					1720 → 280					
Грозозащитный трос	3000 → 30								2770 → 230		

Пусть имеем m_B барабанов с проводами длиной 2000 м и m_B^T барабанов с тросом длиной 3000 м. Первую партию из трех барабанов с проводом и одним барабаном с тросом располагаем для удобства раскатки дальше анкерной опоры А1 на 30 м вдоль трассы линии. Стрелка у числа 30 указывает, в каком направлении от опоры А1 необходимо расположить барабаны. Стрелка у буквы П (промежуточная опора) указывает направление раскатки проводов и тросов. Длина проводов достаточна для раскатки до опоры П5, а троса – до опоры П8. Поэтому следующую партию барабанов с проводом необходимо завезти дальше опоры П5 на 280 м, а барабан с тросом – дальше опоры П8 на 230 м. Здесь концы проводов с барабанов первой группы должны оказаться около барабанов второй группы. Составленная карта определит работу транспорта по вывозке барабанов на трассу линии [4, с.5-6].

Пример

Таблица 1.3 – Исходные данные

Номер варианта	Марка провода	Длина пролета $l, м$	Строительная длина провода на барабане, $l_{СТР}, м$
26	АС 400/22	350	1500

Определяем количество опор на трассе линии:

$$n_{оп} = \frac{5000}{350} + 1 = 15,29$$

Количество барабанов с проводом для сооружения линии длиной 5 км определим по формуле

$$m_{Б} = \frac{3 \cdot 5000}{1500} = 10$$

Количество барабанов с проводящим грозозащитным тросом АС 70/11

$$m_{Б}^T = \frac{5000}{3000} = 1,67$$

Пронумеруем опоры на трассе линии (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема расстановки опор на трассе линии

Таблица 1.4 - Карта развозки барабанов на трассу линии

Номер провода или троса	Номер опоры и расстояние между опорами											
		350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	
	$\overrightarrow{A1}$	$\overrightarrow{П1}$	$\overrightarrow{П2}$	$\overrightarrow{П3}$	$\overrightarrow{П4}$	$\overrightarrow{П5}$	$\overrightarrow{П6}$	$\overrightarrow{П7}$	$\overrightarrow{П8}$	$\overrightarrow{П9}$	$\overrightarrow{П10}$	
Провод 1	1500				1430				1330			1230
	\rightarrow 30				\rightarrow 70				\rightarrow 170			\rightarrow 270
Провод 2	1500				1430				1330			1230
	\rightarrow 30				\rightarrow 70				\rightarrow 170			\rightarrow 270
Провод 3	1500				1430				1330			1230
	\rightarrow 30				\rightarrow 70				\rightarrow 170			\rightarrow 270
Грозозащитный трос	3000								2770			
	\rightarrow 30								\rightarrow 230			

2 Разбивка котлованов для установки одностоечных и двухстоечных железобетонных и металлических промежуточных и анкерно-угловых опор

Задача. Известен центр пикета, где будут установлены:

- железобетонная одностоечная или двухстоечная промежуточная опора;
- одностоечная анкерно-угловая железобетонная опора;
- металлическая решетчатая промежуточная и анкерно-угловая опора.

Требуется разбить котлованы для установки указанных опор, если известны следующие данные (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Исходные данные для разбивки котлованов для установки опор

Номер варианта	Расстояние между центрами двухстоечных опор, м	Размер базы металлической опоры	Угол поворота трассы, градус
1	4,0	1,8 x 1,8	15
2	7,0	2,5 x 2,5	20
3	4,0	2,8 x 2,5	25
4	7,0	2,4 x 1,8	30
5	11,6	3,3 x 2,4	35
6	4,0	3,5 x 2,5	40
7	7,0	4,1 x 4,1	45
8	11,6	4,4 x 4,4	50
9	7,0	5,0 x 5,0	55
10	7,0	4,8 x 4,8	60
11	11,6	6,0 x 6,0	5
12	15,0	5,0 x 4,8	10
13	7,0	4,8 x 3,5	15
14	15,4	6,0 x 5,0	20
15	4,0	2,8 x 2,1	25
16	7,0	5,2 x 4,0	30
17	11,6	2,5 x 2,5	35
18	7,0	4,2 x 4,2	40
19	4,9	2,8 x 2,8	45
20	7,0	4,8 x 4,8	50
21	8,4	7,0 x 6,0	55
22	8,4	6,2 x 5,0	60
23	8,4	5,4 x 5,4	5
24	15,4	6,2 x 6,2	10

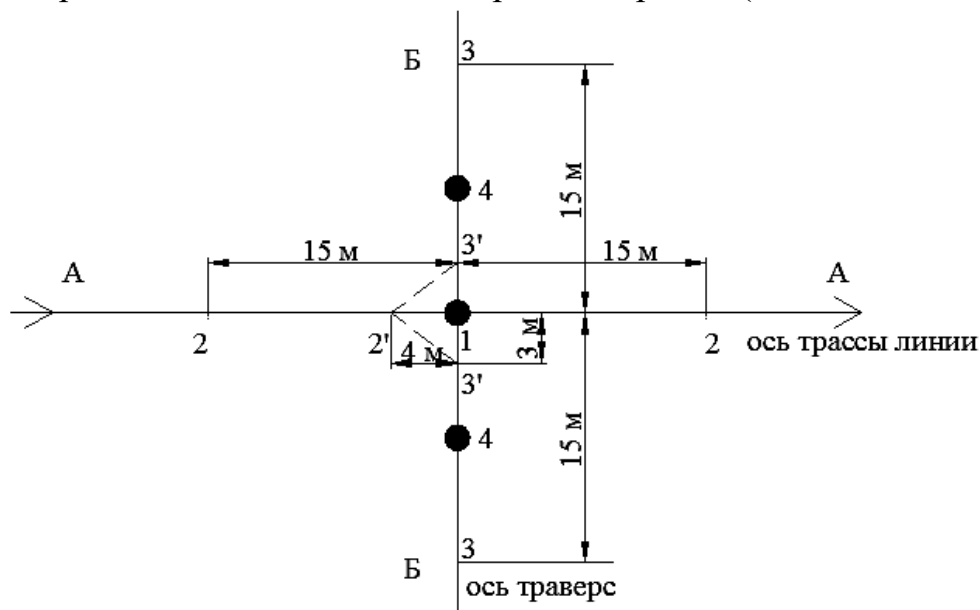
Методические указания

Котлованы под установку одностоечных и двухстоечных железобетонных или деревянных опор разрабатывают с помощью бурильных машин глубиной 3 (для стоек длиной 22,6 м) и 3,3 м (для стоек длиной 26 м), на пучинистых грунтах – глубиной 3,5 м. Центрами котлованов для установки одностоечных опор служат центры пикетов, которые устанавливаются до начала

строительства в процессе так называемого производственного пикетажа, обеспечивающего перенесение мест установки опор с продольного профиля трассы линии в натуру, т. е. на местность.

Для установки одностоечных железобетонных и деревянных опор с точки зрения разработки котлованов наличие указанных пикетов и закрепленной на местности трассы воздушной линии электропередачи оказывается достаточным. Однако установка в пробуренные котлованы собранных на земле опор требует закрепления на местности оси, перпендикулярной оси линии, по которой должны располагаться оси траверс опор.

Для этого теодолит устанавливают в центре пикета (рисунок 2.1) и рейки – над центром смежных опор. Здесь определяется и закрепляется на местности ось AA трассы линии и оси BB поперек оси трассы (вешки 2-2 и 3-3).



1 – пикет центра опоры; 2 – вешки вдоль трассы линии; 3 – вешки поперек трассы линии; 4 – центры котлованов для двухстоечной опоры; AA – ось трассы линии; BB – ось, перпендикулярная к оси трассы линии

Рисунок 2.1 - Схемы разбивки котлованов для установки промежуточных одно- и двухстоечных железобетонных и деревянных опор

При отсутствии теодолита определение оси траверс можно выполнить с помощью стальной рулетки. Для этого вдоль оси линии (в направлении ближайшего пикета, оснащенного вешкой) откладывается из точки 1 расстояние, равное 4 м (точка 2', рисунок 2.1). В точке 2' устанавливается колышек. По предполагаемому направлению оси траверс BB в обе стороны от пикета 1 откладываются расстояния, равные 3 м (точки 3'), и забиваются временные колышки. Точки 3' окажутся на оси траверс BB в том случае, если расстояния 2'-3' будут равны 5 м.

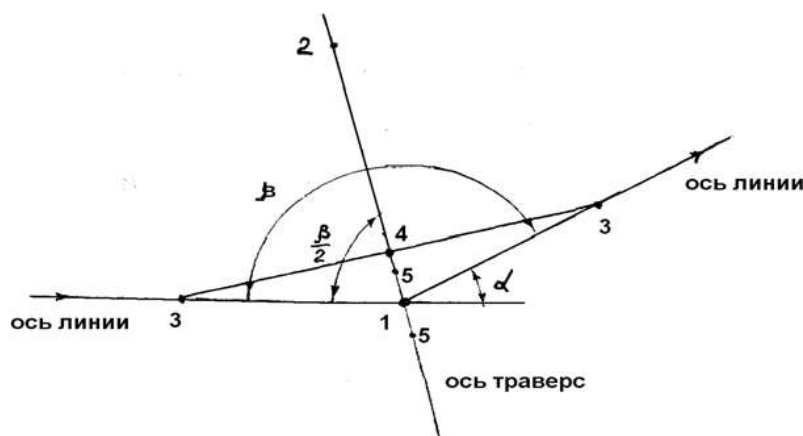
Разбивка котлованов для установки двухстоечных промежуточных опор начинается с установления и закрепления на местности оси трассы линии и оси, перпендикулярной оси трассы линии, т. е. оси траверс. Далее по оси траверс в обе стороны от центра пикета 1 откладываются расстояния, равные половине расстояния между центрами нижней части стоек двухстоечной опоры и

забиваются колышки 4, являющиеся центрами котлованов для стоек двухстоечной опоры.

В углах поворота трассы линии устанавливаются анкерно-угловые опоры. Особенность установки отмеченных опор состоит в том, что ось траверс располагается по биссектрисе внутреннего угла поворота линии β (рисунок 2.2), определяемого как

$$\beta = 180^\circ - \alpha, \text{градус}, \quad (2.1)$$

где α - угол поворота трассы линии, градус.



α – угол поворота трассы линии; β – внутренний угол поворота трассы линии

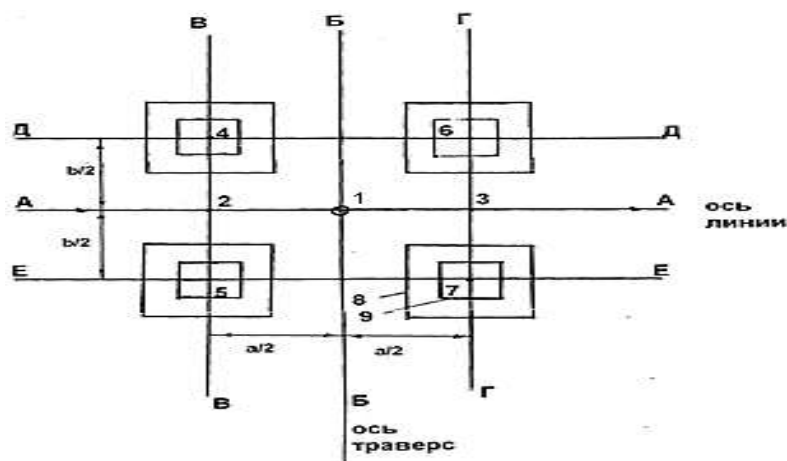
Рисунок 2.2 - Схема разбивки котлованов для установки анкерно-угловых одно- и двухстоечных железобетонных или деревянных опор

Установить направление биссектрисы внутреннего угла поворота трассы линии с помощью теодолита не представляет сложности. Для этого, ориентируясь на установленные вешки вдоль трассы линии до и после ее поворота, из центра пикета 1 измеряют внутренний угол поворота линии β , и далее он делится пополам. Линия, соединяющая точку 2 и центр пикета 1, представляет собой прямую, лежащую на биссектрисе внутреннего угла поворота линии, т. е. ось траверс.

Ось траверс можно построить также с помощью мерной ленты. Для этого от центра пикета 1 в обе стороны вдоль трассы на одинаковом расстоянии откладываются линии, например, 10 м (точки 3, рисунок 2.2). Далее измеряется расстояние 3–3 и делится пополам (точки 4). Прямая, соединяющая точку 4 с центром пикета 1, и будет осью траверс.

Пикет 1 является центром котлована для установки одностоечной анкерно-угловой опоры. Центрами котлованов для установки двухстоечной анкерно-угловой опоры служат точки 5, получаемые в результате нанесения и закрепления колышками на оси траверс в обе стороны от центра пикета 1 на расстоянии, равном половине длины между центрами нижней части стоек двухстоечной опоры.

Решетчатая четырехгранная металлическая опора своей прямоугольной или квадратной базой опирается на четыре подножника, которые необходимо разместить относительно центра опоры, т. е. пикета (рисунок 2.3).



1 – пикет центра опоры; 4–7 – центры котлованов для установки подножников; 8 – внешний контур котлована; 9 – внутренний контур котлована

Рисунок 2.3 - Схема разбивки котлованов для установки подножников под промежуточные металлические опоры

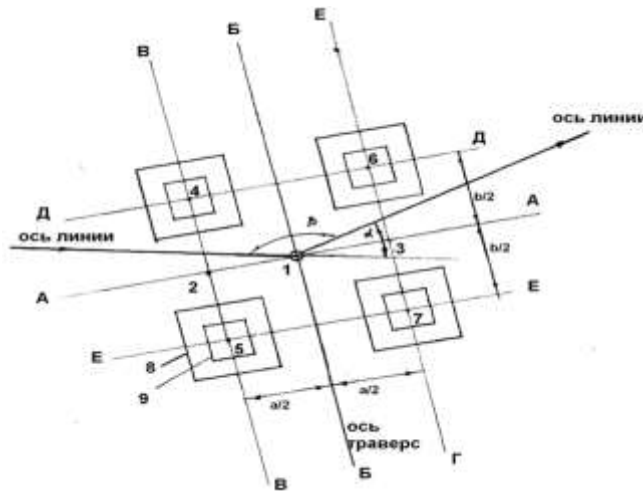
Разбивка котлованов под подножники требует большей точности, чем разбивка котлованов для одностоечных или двухстоечных железобетонных опор. Следовательно, данная работа выполняется с помощью теодолита, который вначале устанавливают в центре опоры, т. е. в центре пикета 1, разбивают и закрепляют на местности оси линии AA вдоль трассы линии и BB – поперек трассы линии (рисунок 2.3). На оси AA откладывают от центра опоры по половине проектного расстояния между центрами подножников по оси трассы линии, т. е. $a/2$, и в полученных точках забивают колышки 2 и 3. Далее теодолит переносят в точку 2, закрепляют ось BB, перпендикулярную к оси линии и параллельную оси BB, и по ней в каждую сторону от точки 2 откладывают по половине проектного расстояния между центрами подножников поперек оси линии, т. е. $b/2$. В центрах подножников 4 и 5 забивают колышки. Теодолит устанавливают в точке 3, закрепляют ось ГГ, перпендикулярную оси линии и параллельную осям BB и ВВ, и по ней в каждую сторону от точки 3 откладывают по половине проектного расстояния между центрами подножников, т. е. $b/2$. В центрах подножников забивают колышки 6 и 7.

По колышкам 4–6 и 5–7 закрепляют оси DD и EE.

Размечают внешние и внутренние размеры котлованов, которые необходимо разрабатывать в точках 4, 5, 6, 7.

Разбивку котлованов под угловые опоры (рисунок 2.4) производят с помощью теодолита и начинают с построения и закрепления оси траверс так, как это показано на рисунке 2.3 (линия BB). После этого перпендикулярно оси траверс строится и закрепляется линия AA. В обе стороны от пикета 1 по линии AA откладываются с помощью мерной стальной ленты расстояния $a/2$, равные половине проектного расстояния между центрами подножников по оси трассы линии (точки 2 и 3). Далее все операции производят так же, как и при разбивке котлованов для установки подножников под промежуточные металлические опоры, а именно, строятся и закрепляются оси ВВ, ГГ, параллельные оси

траверс, и оси ДД и ЕЕ, соединяющие центры подножников и расположенные параллельно оси АА.



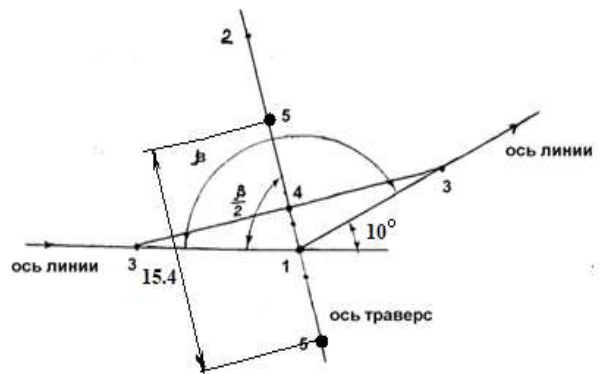
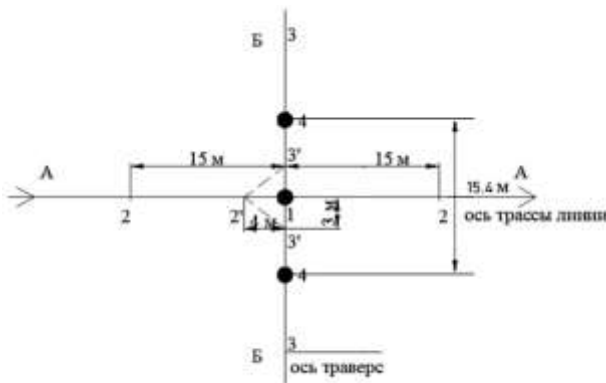
1 – пикет центра опоры; 4–7 – центры котлованов для установки подножников; 8 – внешний контур котлована; 9 – внутренний контур котлована; β – угол поворота линии; α – внутренний угол поворота линии; ББ – ось траверс; АА – ось, перпендикулярная к оси траверс; a – расстояние между подножниками вдоль оси, перпендикулярной биссектрисе внутреннего угла поворота линии; b – расстояние между подножниками вдоль оси траверс

Рисунок 2.4 - Схема разбивки котлованов для установки подножников под анкерно-угловые металлические опоры

Пример

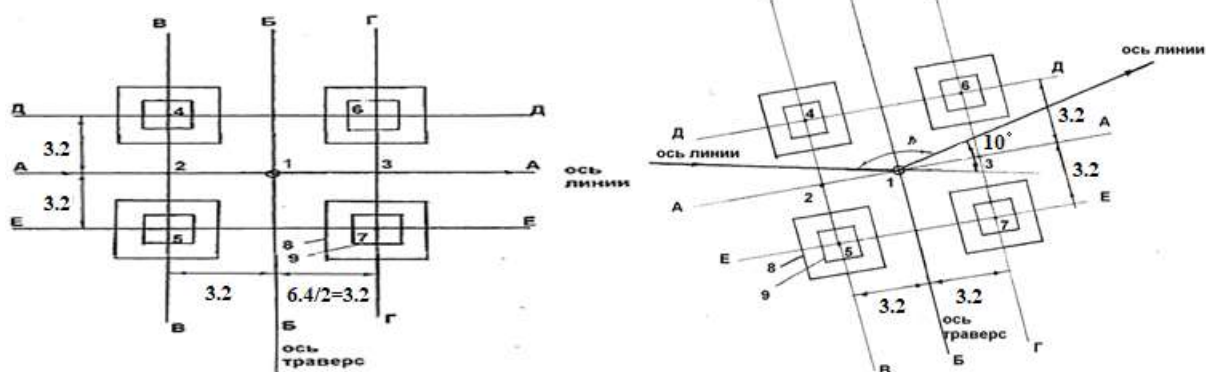
Таблица 2.2 - Исходные данные

Номер варианта	Расстояние между центрами двухстоечных опор, м	Размер базы металлической опоры	Угол поворота трассы, градус
24	15,4	6,2 x 6,2	10



1 – пикет центра опоры; 2 – вешки вдоль трассы линии; 3 – вешки поперек трассы линии; 4 – центры котлованов для двухстоечной опоры; АА – ось трассы линии; ББ – ось, перпендикулярная к оси трассы линии

Рисунок 2.1-2.2 - Схема разбивки котлованов для установки промежуточных и анкерно-угловых одно- и двухстоечных железобетонных или деревянных опор

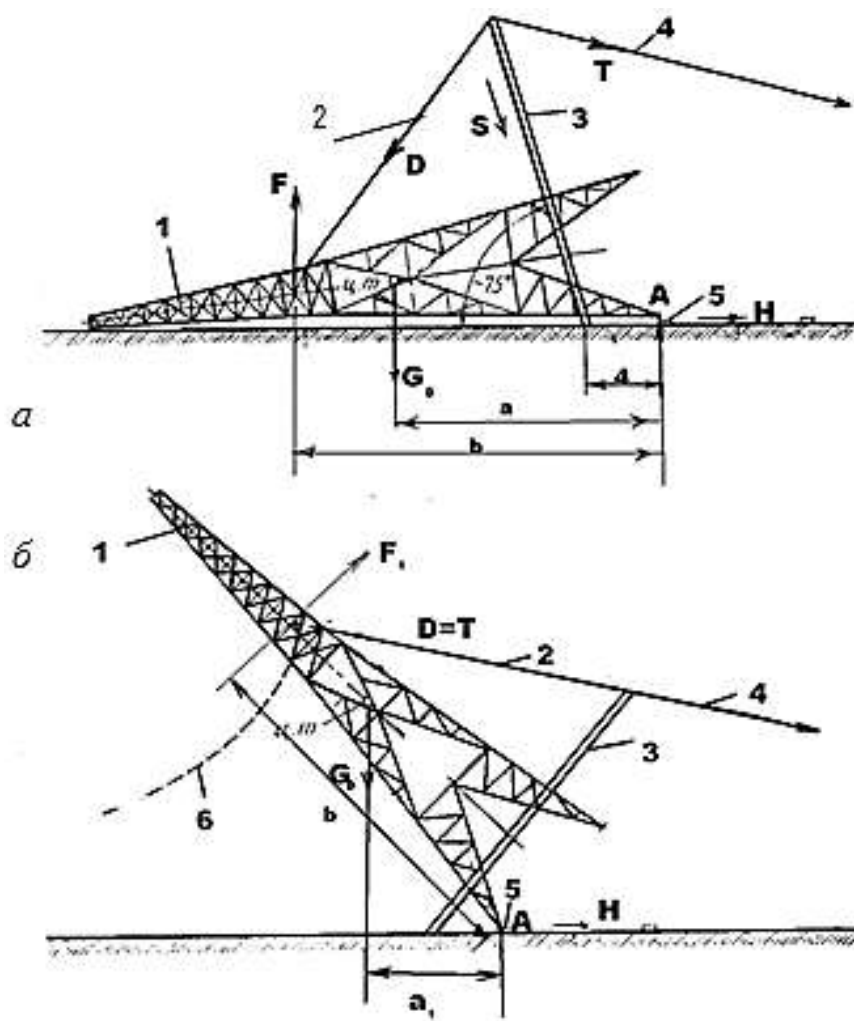


1 – пикет центра опоры; 4–7 – центры котлованов для установки подножников; 8 – внешний контур котлована; 9 – внутренний контур котлована; β – угол поворота линии; α – внутренний угол поворота линии; ББ – ось траверс; АА – ось, перпендикулярная к оси траверс; a – расстояние между подножниками вдоль оси, перпендикулярной биссектрисе внутреннего угла поворота линии; b – расстояние между подножниками вдоль оси траверс

Рисунок 2.3-2.4 - Схема разбивки котлованов для установки подножников под промежуточные анкерно-угловые металлические опоры

3 Определение усилий, возникающих в такелажных приспособлениях, при подъеме опоры с помощью падающей стрелы

Задача. Определить: усилия, возникающие в подъемном (D) и тяговом (T) тросах; усилия, воспринимаемые падающей стрелой (S) и подножником (горизонтальное усилие H), при подъеме металлической опоры с помощью падающей стрелы (рисунок 3.1).



а – начальный момент подъема; б – положение опоры при выходе стрелы из работы; ц. т. – центр тяжести опоры; 1 – опора; 2 – подъемный трос; 3 – падающая стрела; 4 – тяговый трос; 5 – подножник; 6 – тормозной трос

Рисунок 3.1 - Подъем опоры с помощью падающей стрелы

Масса и размер поднимаемой металлической опоры приведены в таблице.

Таблица 3.1 – Масса и длина поднимаемой металлической опоры

Номер варианта	Масса опоры, кг	Длина опоры $l, м$	Номер варианта	Масса опоры, кг	Длина опоры $l, м$	Номер варианта	Масса опоры, кг	Длина опоры $l, м$
1	1529	19,0	10	3309	27,0	19	6307	28,1
2	1869	21,0	11	3856	27,0	20	4603	33,2

Продолжение таблицы 3.1

3	3046	14,0	12	5149	31,0	21	10275	36,5
4	4954	17,5	13	8108	18,5	22	13159	17,7
5	1951	23,0	14	3748	32,0	23	10644	19,3
6	2646	23,0	15	4853	35,5	24	23016	24,2
7	2673	25,0	16	6321	32,0	25	15723	32,0
8	2746	26,0	17	8812	10,5	26	13592	32,0
9	2731	27,0	18	14794	22,0	27	23412	40,0

Примечания:

1. Расстояние a от центра тяжести опоры до оси вращения (подножника) принять равным 0,33 от длины опоры.

2. Расстояние от места прикрепления подъемного троса к опоре до оси вращения (подножника) принять равным 0,9 от длины опоры.

Методические указания

Для выбора или проверки такелажных средств (тросов и канатов, блоков и полиспастов, шарниров, падающих стрел) необходимо знать усилия, возникающие в них при подъеме опор. Эти усилия непостоянны и изменяются в процессе подъема опоры.

При установке опор падающей стрелой максимальное усилие в тяговом тросе возникает в начальный момент подъема. Затем оно постепенно уменьшается и, когда опора принимает вертикальное положение, исчезает. Аналогично изменяется усилие в падающей стреле и подъемном тросе – «вожжах», соединяющих ее со стволом опоры. Это является достоинством способа установки опор падающей стрелой, так как выявленные в начале подъема неисправности такелажа могут быть легко устранены.

Нагрузки, действующие на шарнир и фундаменты при подъеме опоры, могут увеличиваться и достигать максимальных значений при углах ее наклона 30–50°.

Определить усилия D, T, S (рисунок 3.1), возникающие в такелажных приспособлениях (подъемном и тяговом тросах, падающей стреле), а также горизонтальные усилия H , действующие на подножник опоры и стремящиеся его сдвинуть, наиболее удобно графическим методом, рассматривая падающую стрелу как рычаг второго рода (когда все усилия расположены по одну сторону от оси вращения), обеспечивающего меньшее значение подъемной силы по сравнению с собственным весом опоры $G_{\text{оп}}$.

Требуемое значение вертикальной составляющей подъемной силы F находится из условия равновесия сил, приложенных к опоре (рисунок 3.1, а):

$$Fb = G_{\text{оп}}a \quad (3.1)$$

и

$$F = G_{\text{оп}} \frac{a}{b}, H, \quad (3.2)$$

где a - расстояние от центра тяжести опоры до оси вращения (подножника), м;

b - расстояние от места прикрепления подъемного троса к опоре до оси вращения (подножника), м.

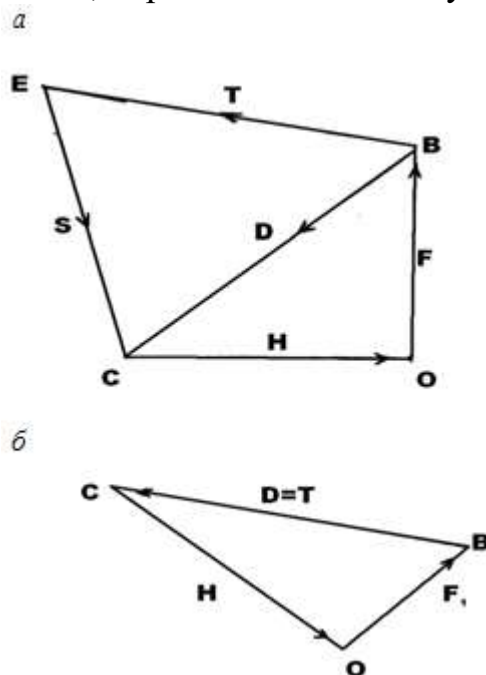
Так как $a < b$, то $F < G_{OP}$.

Снижения подъемной силы F можно достичь увеличением расстояния b .

Нахождение усилий в такелажных приспособлениях, падающей стреле, подножнике производится следующим образом (рисунок 3.2).

Рассмотрим начальный момент подъема опоры (рисунок 3.2, а). В этот момент в тросах и падающей стреле возникают максимальные усилия. Требуемое значение подъемной силы F откладываем в масштабе от точки O по ее направлению. Из конца вектора F (точка B) проводим прямую, параллельную подъемному тросу, до пересечения в точке C с горизонтальной прямой, проведенной через точку O .

Векторы \vec{OC} и \vec{CB} представляют собой силы H и D , действующие соответственно на фундамент и на подъемный трос. Из точки C проводим прямую CE , параллельную падающей стреле, до пересечения в точке E с прямой, проведенной из точки B , параллельно тяговому тросу.



а – в начальный момент подъема; б – при выходе падающей стрелы из работы

Рисунок 3.2 - Усилия на такелажные приспособления и падающую стрелу

В момент выхода падающей стрелы из работы (рисунок 3.2, б) усилие на саму стрелу равно нулю. Усилия в подъемном и тяговых тросах находятся следующим образом:

$$F_1 = G_{OP} \frac{a_1}{b}, \quad (3.3)$$

где a_1 - проекция на горизонтальную ось расстояния от центра тяжести опоры до оси вращения.

Так как $a_1 < a$, то и подъемная сила $F_1 < F$; $a_1 = 0,707a$, т. е. считается, что опора поднята на угол 45° .

Усилие F_1 в масштабе откладываем по ее направлению. Из конца вектора F_1 (точка B) проводим прямую, параллельную подъемному и тяговому тросам,

направление которых в рассматриваемый момент совпадает, до пересечения в точке С с прямой ОС, проведенной параллельно положению продольной оси опоры. Векторы \vec{OC} и \vec{BC} представляют собой силы H и $T = D$ соответственно, действующие на фундамент и такелажный трос. Из рисунка 3.2 следует, что $F_1 < F$, а усилия H и T остаются примерно одинаковыми.

Определенные значения усилий умножаются на коэффициенты динамичности, учитывающие возможные рывки тяговых механизмов, и принимаемые равными: 1,1; 1,2 – при подъеме опоры лебедкой через полиспаст или напрямую соответственно; 1,3; 1,4 – при подъеме опоры тяговым механизмом (трактором или автомашиной) через полиспаст или напрямую соответственно.

Пример

Таблица 3.2 – Исходные данные

Номер варианта	Масса опоры, кг	Длина опоры, м
27	23412	40,0

$$F = 234.12 \cdot \frac{0.33 \cdot 40}{0.9 \cdot 40} = 85.844, \text{ кН}$$

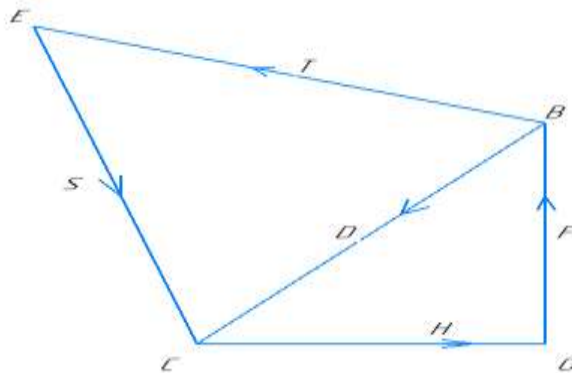


Рисунок 3.3 - Усилия на такелажные приспособления и падающую стрелу

Исходя из рисунка с учётом масштаба получаем:

$$D = 112 \text{ кН} \quad H = 72.2 \text{ кН} \quad S = 127.3 \text{ кН} \quad T = 112.3 \text{ кН}$$

После падения стрелы:

$$F_1 = 234.12 \cdot \frac{0.33 \cdot 0.707 \cdot 40}{0.9 \cdot 40} = 60.692, \text{ кН}$$

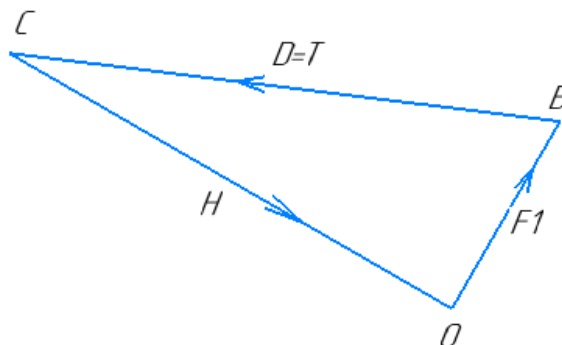


Рисунок 3.4 - Усилия на такелажные приспособления

Исходя из рисунка с учётом масштаба получаем:

$$D = T = 133 \text{ кН} \quad H = 118.4 \text{ кН}$$

По полученным значениям усилий D и T выбирают сечение троса.

4 Выбор целесообразного способа подъема опор воздушных линий электропередачи

Задача. На основе метода многоцелевой оптимизации выбрать целесообразный способ подъема металлических опор воздушных линий электропередачи при обеспечении:

- минимальных затрат денежных средств на установку опоры (цель № 1);
- максимальной производительности труда при установке опор (цель № 2);
- минимальной вероятности повреждения фундаментов при установке опор (цель № 3).

Рассмотреть варианты подъема опор:

- с помощью падающей стрелы;
- с помощью крана и двух тракторов;
- вертикальным наращиванием из отдельных элементов; вертикальным наращиванием по отдельным секциям с помощью вертолета.

Основные технико-экономические показатели различных способов установки опор на основе информации [1, с. 199] даны в таблице 4.1. При определении затрат денежных средств учитывалась: часовая тарифная ставка одного работающего в размере 58000 руб.; работа механизмов в течение одного часа – 174000 руб., вертолета – 1920000 руб./ч. Количество часов работы: электромонтеров – 33,2; 14,64; 40,96; 26,16 ч; техники – 10,4; 7,36; 6,8; 3,12 – соответственно при монтаже с помощью падающей стрелы; крана и двух тракторов; вертикальным наращиванием из отдельных элементов и отдельных секций с помощью вертолета.

Таблица 4.1 – Техничко-экономические показатели различных способов установки опор

Наименование целей	Значения показателей при монтаже опор			
	с помощью падающей стрелы	с помощью крана и двух тракторов	вертикальным наращиванием	
			из отдельных элементов	по отдельным секциям с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку одной опоры, млн руб	3,735/1,0	2,129/0,57	3,559/0,95	61,421/16,44
Максимальная производительность труда при установке одной опоры, чел-ч/опору	26,6/1,0	14,54/0,55	288,0/10,82	54,1/2,03
Минимальная вероятность повреждения фундамента	0,02/1,0	0,02/1,0	0,01/0,5	0,015/0,75

Методические указания

Выбор целесообразного способа подъема опор выполним по значению максимального значения критерия оптимизации:

$$E = \sum_{i=1}^3 v_i e_i \rightarrow \max, \quad (4.1)$$

где v_i - оценка важности i -й цели ($i=1, 2, 3$), при этом $\sum_{i=1}^3 v_i = 1,0$;
 e_i - относительная эффективность i -й цели.

Значения e_i определяются следующим образом:

- для минимизируемых целей

$$e_i = \frac{\min x_i}{x_i}; \quad (4.2)$$

- для максимизируемых целей

$$e_i = \frac{x_i}{\max x_i}, \quad (4.3)$$

где x_i - текущее значение показателя i -й цели;

$\min x_i, \max x_i$ - минимальное и максимальное значения показателей i -й цели.

Оценка важности i -й цели производится следующим образом. Преподаватель приглашает студентов выступить в качестве экспертов, которые должны присвоить ранг указанным выше целям. Для этого каждому студенту выдается карточка с перечислением целей, которым надо присвоить ранг.

Карточка включает в себя:

- минимум стоимости установки опоры; максимум производительности труда;

- минимальную вероятность повреждения фундамента. Наименьшему значению ранга соответствует наибольшая важность цели. Таким образом, в полученной карточке напротив целей эксперт должен поставить цифры 1, 2 и 3.

Преподаватель на доске записывает результаты экспертных оценок (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Экспертные оценки

Номер эксперта	Ранг цели номер			Сумма оценок
	1	2	3	
1	3	1	2	6
2	2	1	3	6
N	1	2	3	6
Итого	A_1	A_2	A_3	$6N$

Подсчитывается сумма оценок i -й цели, т. е. находят значения A_1, A_2, A_3 .

Далее определяется эквивалентное значение ранга R_i для каждой цели по выражению

$$R_i = 1 + \frac{1}{n} - \frac{A_i}{nN}, \quad (4.4)$$

где n - количество целей;

N - количество экспертов.

При $n = 3$ значение

$$R_i = 1,33 - \frac{A_i}{3 \cdot N}. \quad (4.5)$$

Суммарное значение рангов

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (4.6)$$

Тогда оценка важности i -й цели определится как

$$v_i = \frac{R_i}{R_{\Sigma}}. \quad (4.7)$$

При этом

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1,0.$$

Для оценки показателей e_i набор любых показателей x_i , характерных для одного вида монтажа (таблица 4.1), примем за единицу. Пусть это будут показатели, имеющие место при монтаже опор с помощью падающей стрелы. Тогда соответствующие показатели x_i для других способов монтажа будут такими, как указано в таблице 4.1 под чертой.

По формулам (4.2) и (4.3) и таблице 4.1 определяем значения относительной эффективности i -й цели (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Значение относительной эффективности i -й цели

Наименование целей	Значения e_i при монтаже опор			
	с помощью		вертикальным наращиванием	
	падающей стрелы	крана и двух тракторов	отдельных элементов	отдельных секций с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку, млн руб	0,57	1,0	1,05	0,035
Максимальная производительность труда при установке опоры, чел – ч/опору	0,09	0,051	1,0	0,19
Минимальная вероятность повреждения фундамента	0,5	0,5	1,0	0,67

Если бы все цели были одинаково важны, т. е. $v_i = 0,333$, то наиболее целесообразный способ монтажа опор – метод вертикального наращивания из отдельных элементов, имеющий максимальное значение критерия оптимизации.

Для активизации студентов на занятии исходными данными, помещенными в таблице 4.1, преподаватель может варьировать.

Пример

Пусть экспертные оценки будут выставлены таким образом.

Таблица 4.4 – Таблица экспертных оценок

Номер эксперта	Ранг цели номер			Сумма оценок
	1	2	3	
1	2	1	3	6
2	2	1	3	6
<i>N</i>	1	2	3	6
Итого	A_1	A_2	A_3	$6N$

Подсчитывается сумма оценок *i*-й цели: $A_1 = 5$; $A_2 = 4$; $A_3 = 9$;

Далее определяется эквивалентное значение ранга R_i для каждой цели по выражению: $R_i = 1 + \frac{1}{n} - \frac{A_i}{nN}$, $R_1 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{5}{3 \cdot 3} = 0.777$,

$$R_2 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{4}{3 \cdot 3} = 0.888, R_3 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{9}{3 \cdot 3} = 0.333;$$

Суммарное значение рангов:

$$R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 = 0.777 + 0.888 + 0.333 = 1.998.$$

Тогда оценка важности *i*-й цели определится как

$$v_i = \frac{R_i}{R_{\Sigma}}. v_1 = \frac{R_1}{R_{\Sigma}} = 0.389, v_2 = \frac{R_2}{R_{\Sigma}} = 0.444, v_3 = \frac{R_3}{R_{\Sigma}} = 0.167;$$

Для оценки показателей e_1 набор любых показателей x_1 , характерных для одного вида примем за единицу (1 столбец). Пусть это будут показатели, имеющие место при монтаже опор с помощью падающей стрелы. Тогда соответствующие показатели x_i для других способов монтажа будут такими, как указано в таблице 4.1 под чертой. И далее производим расчет для всех столбцов.

Таблица 4.5

Наименование целей	Значения показателей при монтаже опор			
	с помощью падающей стрелы	с помощью крана и двух тракторов	вертикальным наращиванием	
			из отдельных элементов	по отдельным секциям с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку одной опоры, млн руб	1,0	0,5	0,95	16,44
Максимальная производительность труда при установке одной опоры, чел-ч/опору	1,0	0,5	10,82	2,03
Минимальная вероятность повреждения фундамента	1,0	1,0	0,5	0,75

Таблица 4.6

Наименование целей	Значения показателей при монтаже опор			
	с помощью падающей стрелы	с помощью крана и двух тракторов	вертикальным наращиванием	
			из отдельных элементов	по отдельным секциям с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку одной опоры, млн руб	1,75	1	1,67	28,85
Максимальная производительность труда при установке одной опоры, чел-ч/опору	1,83	1	19,8	3,7
Минимальная вероятность повреждения фундамента	1,0	1	0,5	0,75

Таблица 4.7

Наименование целей	Значения показателей при монтаже опор			
	с помощью падающей стрелы	с помощью крана и двух тракторов	вертикальным наращиванием	
			из отдельных элементов	по отдельным секциям с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку одной опоры, млн руб	1,05	0,6	1	28,85
Максимальная производительность труда при установке одной опоры, чел-ч/опору	0,09	0,05	1	0,19
Минимальная вероятность повреждения фундамента	2	2	1	1,5

Таблица 4.8

Наименование целей	Значения показателей при монтаже опор			
	с помощью падающей стрелы	с помощью крана и двух тракторов	вертикальным наращиванием	
			из отдельных элементов	по отдельным секциям с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку одной опоры, млн руб	0,06	0,03	0,06	1
Максимальная производительность труда при установке одной опоры, чел-ч/опору	0,49	0,27	5,32	1
Минимальная вероятность повреждения фундамента	1,33	1,33	0,67	1

Таблица 4.9 – Относительная эффективность целей

Наименование целей	Значения e_i при монтаже опор			
	с помощью		вертикальным наращиванием	
	падающей стрелы	крана и двух тракторов	отдельных элементов	отдельных секций с помощью вертолета
Минимум затрат денежных средств на установку, млн руб	0,57	1,0	0,59	0,035
Максимальная производительность труда при установке опоры, чел – ч/опору	0,09	0,051	1,0	0,19
Минимальная вероятность повреждения фундамента	0,5	0,5	1,0	0,67
E	0,35	0,49	0,84	0,21

$E(\text{с помощью падающей стрелы}) = 0,33 \cdot 0,57 + 0,09 \cdot 0,44 + 0,5 \cdot 0,167 = 0,348$. Выбираем оптимальный вариант:

Кран и 2 трактора/падающая стрела: $0,49/0,35=1,4$.

Вертикальное наращивание из отдельных элементов/кран и 2 трактора: $0,84/0,49=1,71$.

Вертикального наращивания с вертолета/вертикального наращивания отдельных элементов $0,21/0,84=0,22$.

Примем вариант вертикального наращивания с помощью отдельных элементов.

5 Выбор целесообразного способа раскатки проводов и грозозащитных тросов

Задача. С использованием метода многоцелевой оптимизации выбрать:

- целесообразный способ раскатки проводов при монтаже воздушных линий электропередачи, обеспечивающий минимум затрат денежных средств на раскатку (цель № 1);
- максимальную производительность труда (цель № 2);
- минимальную вероятность повреждения провода при его раскатке (цель № 3).

Из способов раскатки проводов рассмотреть раскатку проводов с помощью:

- раскаточных машин; вертолета;
- «под тяжением»;
- с козел волочением через раскаточные ролики.

Значения показателей x_i приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Значения показателей x_i в относительных единицах для различных способов раскатки проводов

Наименование целей	Значения показателей при раскатке проводов				
	с помощью		«под тяжением»	С козел волочением через раскаточные ролики	
	раскаточных машин	вертолета			
Минимум затрат денежных средств, млн. руб.	1,0	3,0-10,0	1,3-1,8		1,1-3,0
Максимальная производительность труда, чел-ч/опору	1,0	1,5-7,0	0,95-0,7		0,9-0,5
Минимальная вероятность повреждения провода	1,0	0,8-0,95	0,8-0,95		1,2-2,0

Методические указания

Предположим, что значения показателей x_i при раскатке проводов с помощью раскаточных машин равны 1,0. Значения показателей для других способов раскатки задаются преподавателем каждому студенту из диапазонов, указанных в таблице.

Выбор целесообразного способа раскатки выполняется по максимальному значению критерия оптимизации E (формула (4.1)).

Для этого вначале устанавливаются ранги целей путем экспертных оценок и значения важности целей по выражению (4.7).

Значения относительной эффективности целей определяются в соответствии с выражениями (4.2) и (4.3).

Делается вывод об эффективности применения того или иного способа раскатки проводов.

Пример

Пусть экспертные оценки будут выставлены таким образом

Таблица 5.2 – Экспертная оценка

Номер эксперта	Ранг цели номер			Сумма оценок
	1	2	3	
1	2	1	3	6
2	2	1	3	6
<i>N</i>	1	2	3	6
Итого	A_1	A_2	A_3	$6N$

Подсчитывается сумма оценок *i*-й цели: $A_1 = 5$; $A_2 = 4$; $A_3 = 9$;

Далее определяется эквивалентное значение ранга R_i для каждой цели по выражению: $R_i = 1 + \frac{1}{n} - \frac{A_i}{nN}$, $R_1 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{5}{3 \cdot 3} = 0.777$,

$$R_2 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{4}{3 \cdot 3} = 0.888, R_3 = 1 + \frac{1}{3} - \frac{9}{3 \cdot 3} = 0.333$$

Суммарное значение рангов: $R_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n R_i = R_1 + R_2 + R_3 = 0.777 + 0.888 + 0.333 = 1.998$.

Тогда оценка важности *i*-й цели определится как $v_i = \frac{R_i}{R_{\Sigma}}$. $v_1 = \frac{R_1}{R_{\Sigma}} = 0.389$,
 $v_2 = \frac{R_2}{R_{\Sigma}} = 0.444$, $v_3 = \frac{R_3}{R_{\Sigma}} = 0.167$.

Таблица 5.3 – Относительная эффективность целей

Наименование целей	Значения показателей при раскатке проводов			
	с помощью		«под тяжением»	С волочением козел через раскаточные ролики
	раскат очных машин	верт олета		
Минимум затрат денежных средств, млн. руб.	1	0,33	0,769	0,909
Максимальная производительность труда, чел-ч/опору	0,667	1	0,633	0,6
Минимальная вероятность повреждения провода	0,8	1	1	0,667
<i>E</i>	0,82	0,74	0,75	0,73

$$E(\text{с раскаточной машиной}) = 1 \cdot 0,38 + 0,667 \cdot 0,44 + 0,167 \cdot 0,8 = 0,82.$$

$$E(\text{с помощью вертолета}) = 0,33 \cdot 0,38 + 1 \cdot 0,44 + 1 \cdot 0,167 = 0,74.$$

Выбираем оптимальный вариант:

вертолет/раскаточная машина: $0,74/0,82 = 0,9$.

Примем вариант с помощью раскаточной машины.

6 Определение усилий, действующих на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов

Задача. Определить вертикальные и горизонтальные усилия, действующие на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов:

- если провода и тросы в другую сторону не смонтированы;
- провода и тросы в другую сторону смонтированы. Исходные данные для расчета приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные к задаче

Номинальное напряжение линии, кВ	Марка провода	Масса 1 м провода, кг	Номинальное напряжение линии, кВ	Марка провода	Масса 1 м провода, кг
35	70/11	0,276	330	2x240/39	1,904
	95/16	0,385		2x240/56	2,212
	120/19	0,471		2x300/33	2,264
	120/27	0,528		2x300/48	2,372
110	150/24	0,599		2x330/43	2,51
	185/24	0,705		2x400/43	2,522
	240/27	0,744		2x400/93	3,702
	240/32	0,921		2x500/26	3,184
220	240/39	0,952	750	5x240/56	5,53
	300/48	1,186		5x300/67	6,615
	330/53	1,255		5x400/56	8,200
	400/51	1,490		5x500/27	7,685

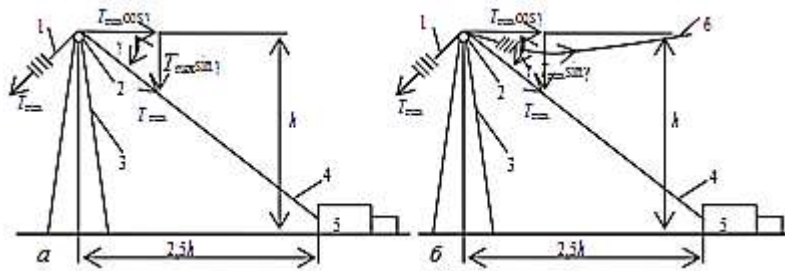
Примечания:

1. На линиях напряжением 35; 110; 220 кВ и выше применяется стальной грозозащитный трос соответственно ТК 8 (масса 1 м – 0,3308 кг), ТК 9,1 (масса 1 м – 0,4385 кг), ТК 11 (масса 1 м – 0,6274 кг).

2. Длину пролета для линий напряжением 35; 110; 220; 330; 750 кВ принять соответственно равной 150; 200; 250; 300; 400 м, а количество изоляторов: 4; 8; 16; 25; 42 шт. Масса одного изолятора – 4,8 кг.

Методические указания

Студент выполняет расчет для одного из указанных преподавателем варианта. Схемы монтажа провода на анкерную опору показаны на рисунке 6.1.



a – провода в другую сторону не смонтированы; *б* – провода в другую сторону смонтированы; 1 – монтируемый провод; 2 – монтажный блок; 3 – анкерная опора; 4 – тяговый трос; 5 – тяговый механизм; 6 – смонтированный в другую сторону провод

Рисунок 6.1 – Схемы монтажа провода на анкерную опору

Определим вертикальные и горизонтальные расчетные нагрузки на анкерную опору при натягивании провода или троса с учетом составляющих от усилий по тяговому тросу. Рассмотрим следующие два случая: провода в другую сторону не смонтированы (рисунок 6.1, *a*) и смонтированы (рисунок 6.1, *б*).

Для схемы, приведенной на рисунке 6.1, *a*, расчетные вертикальные нагрузки на опору состоят из веса одной гирлянды изоляторов, веса одного полупролета провода, проекции тяжения по тяговому тросу на вертикальную ось, веса монтажника с инструментом, т. е.

$$G^B = G_{II} + \frac{G_{II}}{2} + 1,1T_{max} \sin \gamma + G_M, \quad (6.1)$$

где γ - угол между горизонталью и направлением тягового троса (лежит в пределах 20-30°).

Значение G_M равно 230 кг – для линий напряжением до 330 кВ и 325 кг – для линий напряжением 750 кВ. $T_{max} = 10,8F$, даН, – для провода и $T_{maxT} = 60F_T$ – для троса. Здесь F, F_T – площадь поперечного G_M сечения провода и троса.

Горизонтальная результирующая расчетная нагрузка на опору

$$P^{\Gamma} = 1,1T_{max} - 1,1T_{max} \cos \gamma = 1,1T_{max} (1 - \cos \gamma). \quad (6.2)$$

При $\gamma = 0$, $P^{\Gamma} = 0$ G^B имеет минимальное значение; при $\gamma = 90^\circ$, $P^{\Gamma} = 1,1T_{max}$ и G^B имеет максимальное значение; при $\gamma = 180^\circ$ $P^{\Gamma} = 2,2T_{max}$, т. е. приобретает значение, в два раза превышающее максимальное, а G^B имеет минимальное значение. Максимальные значения P^{Γ} и G^B не должны превосходить допустимые.

Для схемы, приведенной на рисунке 6.1, *б*, расчетные вертикальные и горизонтальные нагрузки вычисляются по формулам:

$$G^B = 2G_{II} + 1,1T_{max} \sin \gamma + G_M + G_{II}; \quad (6.3)$$

$$P^{\Gamma} = 1,1(T_{max} - T_{max} \cos \gamma - T) = 1,1[T_{max} (1 - \cos \gamma) - T], \quad (6.4)$$

где T – тяжение по смонтированному в другую сторону проводу.

При $\gamma = 0^\circ$, $G^B = 2G_{II} + G_{II} + G_M$, т. е. имеет минимальное значение, а $P^{\Gamma} = 1,1T$; при $\gamma = 90^\circ$ G^B – максимально, а $P^{\Gamma} = 1,1(T_{max} - T)$; при $\gamma = 180^\circ$ значение G^B – минимально, а $P^{\Gamma} = 1,1(2T_{max} - T)$ – максимально.

Пример

Таблица 6.2 – Исходные данные

U, кВ	Марка провода	1 м провода, кг	TK 11, кг	L _{прол} , м	n _{изол}	m _{1изол} , кг
750	5×500/27	7,685	0,6274	400	42	4,8

Вариант а) если смонтированы в одну сторону:

$$\text{Для провода: } G^B = G_{\text{И}} + \frac{G_{\text{П}}}{2} + 1,1T_{\text{max}} \sin \gamma + G_{\text{М}} = 42 \cdot 4,8 + \frac{400 \cdot 7,685}{2} + 1,1 \cdot 10,8 \cdot 500 \cdot 5 \sin 25 + 325 = 201,6 + 1537 + 12551 + 325 = 14615,3 \frac{\text{даН}}{\text{м}}$$

$$P^{\Gamma} = 1,1T_{\text{max}} - 1,1T_{\text{max}} \cos \gamma = 1,1T_{\text{max}} (1 - \cos \gamma).$$

$$P^{\Gamma} = 1,1 \cdot 10,8 \cdot 500 \cdot 5 - 1,1 \cdot 10,8 \cdot 500 \cdot 5 \cos(90 - 25) = 17148 \text{ даН.}$$

$$\text{Для троса: } G^B = G_{\text{И}} + \frac{G_{\text{Т}}}{2} + 1,1T_{\text{max}} \sin \gamma + G_{\text{М}} = 42 \cdot 4,8 + \frac{400 \cdot 0,6274}{2} + 1,1 \cdot 60 \cdot 135 \sin(25) + 325 = 201,6 + 125,5 + 3765,5 + 325 = 4417,6 \frac{\text{даН}}{\text{м}}$$

$$P^{\Gamma} = 1,1 \cdot 60 \cdot 135(1 - \cos(90 - 25)) = 5144 \text{ даН.}$$

Вариант б) если смонтированы в обе стороны:

$$\begin{aligned} \text{Для провода: } G^B &= 2G_{\text{И}} + 1,1T_{\text{max}} \sin \gamma + G_{\text{М}} + \\ G_{\text{П}} &= 2 \cdot 42 \cdot 4,8 + 1,1 \cdot 500 \cdot 5 \cdot 10,8 \cdot \sin(25) + 325 + 400 \cdot 7,685 = \\ &= 403,2 + 12551,7 + 325 + 3074 = 16353 \text{ даН/м;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P^{\Gamma} &= 1,1(T_{\text{max}} - 1,1T_{\text{max}} \cos \gamma - T) = 1,1 \\ &\cdot (500 \cdot 5 \cdot 10,8 - 500 \cdot 5 \cdot 10,8 \cos(90 - 25) - 3074) \\ &= 1,1(27000(1 - \cos(65)) - 3074) = 13785 \text{ даН.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Для троса: } G^B &= 2G_{\text{И}} + 1,1T_{\text{max}} \sin \gamma + G_{\text{М}} + \\ G_{\text{П}} &= 2 \cdot 42 \cdot 4,8 + 1,1 \cdot 60 \cdot 135 \cdot \sin(25) + 325 + 400 \cdot 0,6274 = \\ &= 403,2 + 3765,5 + 325 + 251 = 4744,7 \text{ даН/м;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P^{\Gamma} &= 1,1(T_{\text{max}} - 1,1T_{\text{max}} \cos \gamma - T) = 1,1 \cdot (60 \cdot 135 - 60 \cdot 135 \cos(90 - 25) \\ &- 125,5) = 1,1(8100(1 - \cos(65)) - 125,5) = 5011 \text{ даН.} \end{aligned}$$

7 Определение усилий в проводах и тросах при опускании их с опор

Задача. Определить напряжение в материале провода площадью поперечного сечения, указанного в таблице 6.1, при опускании его с $(n - 1)$ промежуточных опор, когда провод не ложится на землю. Количество пролетов n : 2; 3; 4; 5. Длина габаритного пролета равна 200; 300; 400; 450 и 500 м соответственно для линий напряжением: 35; 110; 220; 330 и 750 кВ.

Методические указания

Напряжение σ_1 в проводе, опущенном с 1, 2, ..., $(n - 1)$ опор, но не лежащим на земле, определяется по формуле [1, с. 292]

$$\sigma_1 = \sqrt[3]{\frac{\gamma_1^2 n^2 l^2}{24\beta}}, \quad (7.1)$$

где γ_1 - удельная механическая нагрузка от собственного веса провода; определяется по формуле

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F}, \quad (7.2)$$

где G_0 - масса одного метра провода, даН (таблица 6.1);

F - площадь поперечного сечения алюминиевой и стальной части провода, мм² (таблица 6.1);

$\beta = \frac{1}{E}$ - коэффициент упругого удлинения провода, мм²/даН;

E - модуль упругости провода; примем равным $8,2 \cdot 10^3$ даН/мм².

Если в анкерном пролете имеется только одна промежуточная опора и снятый с нее провод не ложится на землю, то напряжение в материале провода возрастает почти в два раза (при неучете увеличения длины провода за счет его вытягивания), т. е. $\sigma_1 = 2\sigma_T, \sigma_T = 0,4\sigma_{ВР}, \sigma_{ВР}=27$ даН/мм².

Пример

В качестве исходных данных возьмём линию напряжением 750 кВ и числом пролётов равным 5:

Удельная механическая нагрузка от собственного веса провода:

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F} = \frac{7.685}{5 \cdot 527} = 2,92 \cdot 10^{-3}, \text{ даН/мм}^2$$

Напряжение σ_1 в проводе, опущенном с $(n - 1)$ опор, но не лежащим на земле:

$$\sigma_1 = \sqrt[3]{\frac{\gamma_1^2 \cdot n^2 \cdot l^2}{24 \cdot \beta}} = \sqrt[3]{\frac{0.00292^2 \cdot 5^2 \cdot 500^2}{24 \cdot 1/8200}} = 26.308, \text{ даН/мм}^2$$

8 Определение усилий тяжения за оболочку и жилы кабеля при их раскатке

Задача. Определить усилия тяжения за алюминиевую оболочку и токопроводящие (медные или алюминиевые) жилы кабеля по условиям предотвращения возможного повреждения алюминиевой оболочки или изоляции кабеля при раскатке кабеля на прямых участках, по наклонной плоскости, затягивании кабеля в блоки, в трубопровод, имеющий поворот на 90° (1,57 радиан). Площадь поперечного сечения жил трехжильных кабелей – от 35 до 240 мм². Толщина алюминиевой оболочки кабеля: 1,4; 1,45; 1,50; 1,55; 1,60; 1,65; 1,65; 1,70; 1,75; 1,80; 1,85; 1,90; 1,95; 2,00 мм. Длина кабеля, уместаемого на барабане: 450; 400; 350 м (при площади поперечного сечения жил соответственно до 70 мм²; 95 мм²; 120 мм²; 150 мм² и более). Масса единицы длины кабеля: 2,4; 2,8; 3,3; 3,8; 4,4; 4,9; 5,5; 7,1 кг/м.

Методические указания

В соответствии со СНиП 3.05.06–85 тяжение кабеля со свинцовой и пластмассовой оболочками допускается только за жилы. При этом кабели, бронированные круглой проволокой (типа ЦСК, АСК, маслonaполненные типа МНСК и т. п.), следует тянуть за проволоки брони (допустимое напряжение 7–10 даН/мм²) с помощью специального захвата, обеспечивающего равномерное распределение нагрузки между проволоками брони. Во избежание деформации свинцовой оболочки усилие тяжения не должно превышать 25 кН.

В целях предотвращения повреждения алюминиевой оболочки кабеля при его тяжении с помощью кабельного чулка, максимально допустимое усилие тяжения $T_{\max}^{\text{ОБ}}$, приложенное к алюминиевой оболочке, не должно превышать значений $\sigma_{\text{ДОП}}^{\text{ОБ}} F_{\text{ОБ}}$.

Здесь $\sigma_{\text{ДОП}}^{\text{ОБ}}$ - допустимое напряжение на алюминиевую оболочку кабеля, даН/мм²; при значении временного сопротивления $\sigma_{\text{ВР}}$ на разрыв алюминиевого провода, равного 16 даН/мм², $\sigma_{\text{ДОП}}^{\text{ОБ}}$ может быть принято равным $(0,2 - 0,3)\sigma_{\text{ВР}}$ или $(3,0-4,8)$ даН/мм²; $F_{\text{ОБ}}$ - площадь поперечного сечения алюминиевой оболочки кабеля.

Для трехжильного кабеля

$$F_{\text{ОБ}} = \frac{\pi}{4} [(d_{\text{Ж}} + 2\Delta_{\text{И}}^{\Phi})k_1 + 2\Delta_{\text{И}}^{\Pi} + 2b_{\text{ОБ}}]^2 - F_{\text{КАБ}}, \text{ мм}^2, \quad (8.1)$$

где $d_{\text{Ж}} = 2\sqrt{F/\pi}$ - диаметр жилы кабеля, мм;

F - площадь поперечного сечения жил кабеля, мм²;

$\Delta_{\text{И}}^{\Phi}$ - толщина фазной изоляции, мм; для кабелей напряжением 10 кВ равна 2,75 мм;

k_1 - коэффициент, учитывающий увеличение диаметра трех жил кабеля по сравнению с диаметром одной изолированной жилы; $k_1 = 2,15$;

Δ_{II}^I - толщина поясной изоляции, мм; для кабелей напряжением 10 кВ равна 1,25 мм;

$b_{ОБ}$ - толщина алюминиевой оболочки кабеля, мм; равна 1,4-2,0 мм;

$F_{КАБ}$ - площадь поперечного сечения, занимаемого кабелем с фазной и поясной изоляцией, т. е. под оболочкой кабеля:

$$F_{КАБ} = \frac{\pi}{4} [(d_{Ж} + 2\Delta_{II}^{\Phi})k_1 + 2\Delta_{II}^G]^2. \quad (8.2)$$

В целях предотвращения изоляции кабелей при его тяжении за токопроводящие жилы, максимально допустимое усилие тяжения $T_{\max}^{Ж}$ не должно превышать значений

$$T_{\max}^{Ж} \leq \sigma_{ДОП}^{Ж} \sum_{i=1}^n F_i, \quad (8.3)$$

где $\sigma_{ДОП}^{Ж}$ - допустимое напряжение, даН/мм²; для кабелей с медными жилами $\sigma_{ДОП}^{Ж}$ принимается равным 4,8; для кабелей с алюминиевыми жилами – 3,75 даН/мм²;

$\sum_{i=1}^n F_i$ ($i = 1, \dots, n$) - площадь поперечного сечения всех жил кабеля, мм²;

Если одновременно раскатывают j кабелей ($j = 1, \dots, m$), то максимально допустимое тяжение $T_{\max}^{Ж}$ определяется как

$$T_{\max}^{Ж} \leq \sigma_{ДОП}^{Ж} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m F_{ij}, \quad (8.4)$$

где F_{ij} - площадь поперечного сечения i -й жилы j -го кабеля, мм².

Необходимое усилие тяжения $T_{ТЯЖ}$ (для преодоления силы трения) на кабель, разматываемый с барабана, на прямых участках трассы (при затягивании кабеля в трубопровод или прокладке его в земляных траншеях) определяется по формуле

$$T_{ТЯЖ} = \eta_{ТР} G_{КАБ} = \eta_{ТР} G_0 l_{КАБ}, \quad (8.5)$$

где $\eta_{ТР}$ - коэффициент трения; при тяжении кабеля по дну траншеи (по земле) $\eta_{ТР} = 0,6 - 0,8$; при тяжении кабеля по роликам, когда скольжение по земле исключено и не исключено $\eta_{ТР}$ равно соответственно 0,25 и 0,35; при протяжке кабеля в блоки $\eta_{ТР} = 0,6$; при протяжке в трубопровод одиночного кабеля, имеющего проволоки скольжения, $\eta_{ТР} = 0,15 - 0,2$; при скольжении кабеля по льду и снегу $\eta_{ТР} = 0,03 - 0,04$; при скольжении металлических конструкций по стали $\eta_{ТР} = 0,04 - 0,08$; при качении металлических катков по деревянному настилу $\eta_{ТР} = 0,15 - 0,25$; при качении по металлической полосе $\eta_{ТР} = 0,02 - 0,03$;

$G_{КАБ}$ - масса кабеля на барабанае, кг;

G_0 - масса единицы длины кабеля, кг/м;

$l_{КАБ}$ - длина кабеля, умещаемого на барабанае, м.

При трогании с места усилие тяжения увеличивается в 1,25 раза, т. е.

$$T_{ТЯЖ}' = 1,25 T_{ТЯЖ} = 1,25 \eta_{ТР} G_0 l_{КАБ}. \quad (8.6)$$

При одновременном затягивании в трубопровод или раскатке нескольких (m) кабелей усилия тяжения $T_{ТЯЖ}$ и $T_{ТЯЖ}'$ должны определяться следующим образом:

$$T_{ТЯЖ} = 1,1 m \eta_{ТР} G_0 l_{КАБ}; \quad (8.7)$$

$$T'_{\text{ТЯЖ}} = 1,1m1,25G_0l_{\text{КАБ}} = 1,375mG_0l_{\text{КАБ}},$$

где 1,1 - поправочный коэффициент, учитывающий увеличение коэффициента трения.

При тяжении кабеля вверх по наклонной плоскости усилие тяжения определяется по формуле

$$T_{\text{ТЯЖ}} = T_1 + G_0l_{\text{КАБ}}(\sin \alpha + \eta_{\text{ТР}} \cos \alpha), \quad (8.8)$$

где T_1 - усилие тяжения кабеля до достижения им наклонной плоскости;
 α - угол между горизонтальной плоскостью; принять равным 10-30°.

При тяжении кабеля вниз по наклонной плоскости

$$T_{\text{ТЯЖ}} = T_1 - G_0l_{\text{КАБ}}(\sin \alpha - \eta_{\text{ТР}} \cos \alpha). \quad (8.9)$$

Отрицательное значение усилия $T_{\text{ТЯЖ}}$ означает, что при спуске следует применить тормозную лебедку.

При повороте трубопровода в горизонтальной плоскости по радиусу R и на угол θ радиан усилие тяжения $T_{\text{ТЯЖ}}$ определится по выражению

$$T_{\text{ТЯЖ}} = T_1 \cdot ch(\eta_{\text{ТР}}\theta) + \sqrt{T_1^2 + (G_0R)^2} \cdot sh(\eta_{\text{ТР}}\theta), \quad (8.10)$$

где T_1 - усилие тяжения по кабелю до изгиба трубопровода;

$\sqrt{T_1^2 + (G_0R)^2}$ - результирующее усилие, прижимающее кабель к стенке трубопровода по дуге длиной $Rd\theta$; оно складывается из усилия, прижимающего кабель к трубопроводу под действием нормальной составляющей силы трения T_1/R , на дуге $Rd\theta$, (т. е. $T_{\text{НОРМ}} = \frac{T_1}{R}Rd\theta$) и силы тяжести на длине дуги $Rd\theta$, т. е. $G_0Rd\theta$, сдвинутой относительно нормальной составляющей силы тяжения на 90°.

Упрощению приращения усилия $\Delta T = T_{\text{ТЯЖ}} - T_1$ в результате поворота трубопровода на θ радиан можно определить следующим образом:

$$\Delta T = (e^{\eta_{\text{ТР}}\theta} - 1)(T_1 + G_0R). \quad (8.11)$$

Если на трассе линии имеется несколько поворотов, то при расчете последовательно вычисляется возрастание усилия тяжения после протягивания кабеля через каждый поворот и через каждый прямолинейный участок.

В блоки прокладываются небронированные кабели. Зная максимально допустимое усилие тяжения за жилы кабеля (выражение (8.3)), можно определить предельную длину кабеля (выражение (8.5)) по условию предельно допустимого тяжения:

$$l_{\text{КАБ}} \leq \frac{T_{\text{макс}}^{\text{Ж}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}{G_0}. \quad (8.12)$$

Пример

Таблица 8.1 – Исходные данные

$F_{\text{каб}}, \text{мм}^2$	Толщина оболочки, мм	Длина, м	Масса 1 м, кг
150	1,7	450	2,8

При тяжении с помощью кабельного чулка:

$$d_{\text{Ж}} = 2 \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{150}{3,14}} = 13,8 \text{ мм}, \Delta_{\text{И}}^{\Phi} = 2,75 \text{ мм}, k_1 = 2,15, \Delta_{\text{И}}^{\Pi} = 1,25 \text{ мм}, b_{\text{ОБ}} = 2$$

мм

$$F_{\text{КАБ}} = \frac{\pi}{4} [(d_{\text{Ж}} + 2\Delta_{\text{И}}^{\Phi})k_1 + 2\Delta_{\text{И}}^{\text{Г}}]^2 = \frac{3,14}{4} [(13,8 + 2 \cdot 2,75)15 + 2 \cdot 1,25]^2 = 1522,9 \text{ мм}^2.$$

$$\begin{aligned} F_{\text{ОБ}} &= \frac{\pi}{4} [(d_{\text{Ж}} + 2\Delta_{\text{И}}^{\Phi})k_1 + 2\Delta_{\text{И}}^{\Pi} + 2b_{\text{ОБ}}]^2 - F_{\text{КАБ}} \\ &= \frac{3,14}{4} [(13,8 + 2 \cdot 2,75)25 + 2 \cdot 1,25 + 2 \cdot 2]^2 - 1522,87 \\ &= 289 \text{ мм}^2. \end{aligned}$$

Для алюминия $\sigma_{\text{ДОП}}^{\text{ОБ}} = 4,8 \cdot 289 = 1387 \text{ даН} < 25 \text{ кН}$.

При его тяжении за токопроводящие жилы:

Рассмотрим тяжение за алюминиевые жилы, 1 кабеля с количеством жил в кабеле 1:

Допустимое усилие тяжения: $T_{\text{max}}^{\text{Ж}} \leq 3,75 \cdot 150 = 562,5$.

Необходимое усилие тяжения $T_{\text{ТЯЖ}}$ (для преодоления силы трения) на кабель, разматываемый с барабана, на прямых участках трассы (при затягивании кабеля в трубопровод или прокладке его в земляных траншеях) ($\eta_{\text{ТР}} = 0,7$):

$$T_{\text{ТЯЖ}} = 0,7 \cdot 2,8 \cdot 450 = 882 > 562,5;$$

При трогании с места усилие тяжения увеличивается в 1,25 раза, т. е.

$$T_{\text{ТЯЖ}} = 1,25 \cdot 882 = 1378 > 562,5;$$

При одновременном затягивании в трубопровод:

$$T_{\text{ТЯЖ}} = 1,1 \cdot 882 = 970,2 > 562,5;$$

$$T_{\text{ТЯЖ}}' = 1,375 \cdot 2,8 \cdot 450 = 1732,5 > 562,5.$$

При тяжении кабеля вверх по наклонной плоскости (угол=20):

$$T_{\text{ТЯЖ}} = 882 + 2,8 \cdot 450 \cdot (\sin 20^\circ + 0,7 \cdot \cos 20^\circ) = 2141 > 562,5;$$

При тяжении кабеля вниз по наклонной плоскости

$$T_{\text{ТЯЖ}} = 882 - 2,8 \cdot 450 \cdot (\sin 20^\circ - 0,7 \cdot \cos 20^\circ) = 1280 > 562,5.$$

При повороте трубопровода в горизонтальной плоскости по радиусу 30 и на угол 0,25 радиан усилие:

$$\begin{aligned} T_{\text{ТЯЖ}} &= 882 \cdot \text{ch}(0,7 \cdot 0,25) + \sqrt{([882])^2 + (2,8 \cdot 30)^2} \cdot \text{sh}(0,7 \cdot 0,25) \\ &= 1778 > 562,5. \end{aligned}$$

Определим длину провода:

$$l_{\text{КАБ}} \leq \frac{T_{\text{max}}^{\text{Ж}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}{G_0} = \frac{562,5 \cdot 0,6}{2,8} = 120,53 \text{ м}.$$

Таким образом, кабель не выдержит тяжение за токопроводящие жилы

9 Построение монтажных кривых для визируемых пролетов

Задача. Построить монтажные кривые для визируемых пролетов длиной $l_{\text{ВИЗ}}$: 120; 150; 170; 180; 200; 210; 220; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300; 310; 320; 340; 350; 360; 370; 400; 410; 420; 440; 450 м. Площадь поперечного сечения проводов F : 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 330; 400; 500 мм² при соответствующей массе: 0,2; 0,28; 0,38; 0,47; 0,55; 0,73; 0,95; 1,1; 1,15; 1,49, 1,59 кг/м.

Методические указания

Монтажные кривые представляют собой зависимость тяжения $T = \sigma F$ по проводу и его стрелы провеса $f = \frac{\gamma'_6 l_{\text{ВИЗ}}^2}{8\sigma}$ от температуры t окружающей среды для данного визируемого пролета длиной $l_{\text{ВИЗ}}$. Значение напряжения σ в материале провода определяется по основному уравнению состояния провода в пролете:

$$\sigma - \frac{(\gamma'_6)^2 l_{\text{ВИЗ}}^2}{24\sigma^2 \beta} = \sigma_m - \frac{\gamma_m^2 l_{\text{ВИЗ}}^2}{24\sigma_m^2 \beta} - \frac{\alpha}{\beta} (t - t_m), \quad (9.1)$$

где σ - напряжение в материале провода, получаемое в результате приложения к нему осевого монтажного усилия T , даН/мм²;

$\gamma'_6 = \sqrt{\gamma_1^2 + (\gamma'_4)^2}$ - удельная механическая нагрузка от действия собственного веса провода γ_1 и ветра со скоростью, характерной для условий монтажного режима, т. е. 10 м/с (γ'_4), что соответствует скоростному напору ветра, равному 6,25 даН/м²;

$\beta = \frac{1}{E}$ - коэффициент упругого удлинения провода, даН/мм²;

E - модуль упругости провода; принять равным $8,2 \cdot 10^3$ даН/мм²; значение зависит от материала провода (алюминий, сталь, сталеалюминий, медь), соотношения между площадями поперечного сечения алюминиевой и стальной частей;

α - температурный коэффициент линейного удлинения провода; принять равным $19 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$;

σ_m - допустимое напряжение в материале провода в одном из режимов: наибольшей нагрузки (тогда $\sigma_m = \sigma_\Gamma$; $\gamma_m = \gamma_\Gamma$; $t_m = -5^\circ\text{C}$), среднегодовых условий (тогда $\sigma_m = \sigma_\ominus$; $\gamma_m = \gamma_1$; $t_m = t_\ominus$) или минимальной температуры (тогда $\sigma_m = \sigma_\ominus = \sigma_-$; $\gamma_m = \gamma_1$; $t_m = t_-$);

σ_Γ , σ_\ominus , σ_- - допустимое напряжение в материале провода в режиме наибольшей нагрузки, среднегодовых условий и минимальной температуры; принять соответственно равными $\sigma_\Gamma = \sigma_- = 10,8$ даН/мм², $\sigma_\ominus = 8,1$ даН/мм²;

t_\ominus , t_- - среднегодовая и наименьшая температура окружающей среды; принять равными +5 и -40°C;

γ_{Γ} - удельная наибольшая механическая нагрузка от действия собственного веса провода, гололеда, ветра, даН/мм².

В свою очередь значение $\gamma_1, \gamma_4, \gamma_{\Gamma} = \gamma_7$ находятся по выражениям

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F_A + F_C} = \frac{G_0}{F}, \quad (9.2)$$

где γ_1 - удельная механическая нагрузка от действия собственного веса провода, даН/м·мм²;

G_0 - вес одного метра провода, даН;

F - площадь поперечного сечения провода (для сталеалюминиевого провода представляет собой сумму площадей поперечного сечения алюминиевой F_A и стальной F_C частей), мм².

$$\gamma_4 = \frac{6,25\alpha_1 c_x d k_l 10^{-3}}{F} \sin^2 \varphi = \frac{6,25\alpha_1 c_x d k_l 10^{-3}}{F}, \quad (9.3)$$

где α_1 - коэффициент, учитывающий неравномерность скорости ветра по длине пролета; принять равным 1,0;

c_x - аэродинамический коэффициент, равен 1,1 и 1,2 соответственно для проводов, не покрытых гололедом, диаметром более 20 мм и до 20 мм;

d - диаметр провода, мм;

k_l - коэффициент, учитывающий длину пролета; принять $k_l = 1,0$;

φ - угол между направлением ветра и осью линии, градус; обычно принимают $\varphi = 90^\circ$.

Если определяется максимальное отклонение гирлянды изоляторов от вертикального положения, то значение удельной нагрузки γ_m находится при максимальном скоростном напоре ветра, т. е. $q = 40$ даН/м²:

$$\gamma_4 = \alpha_1 c_x q d k_l 10^{-3} \frac{1}{F}. \quad (9.4)$$

Здесь $\alpha_1 = 0,7$.

Значение

$$\gamma_7 = \sqrt{(\gamma_1 + \gamma_2)^2 + \gamma_5^2} = \sqrt{\gamma_3^2 + \gamma_5^2}, \quad (9.5)$$

где $\gamma_2 = 0,00283b(d + b)(1/F)$ - удельная нагрузка от действия гололеда на провода, даН/м·мм²;

b - толщина стенки гололеда, мм;

$$\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2. \quad (9.6)$$

Давление ветра на провода, покрытые гололедом:

$$\gamma_5 = \frac{\alpha_1 c_x 0,25q(d+2b)k_l 10^{-3}}{F} \sin \varphi, \quad (9.7)$$

где $c_x = 1,2$;

q - нормативный скоростной напор ветра, характерный для данной местности, даН/м².

С учетом значений $\alpha_1 = 1,0$, c_x и $\varphi = 90^\circ$ удельная нагрузка γ_5 определяется по формуле

$$\gamma_5 = \frac{0,3q(d+2b)k_l 10^{-3}}{F}. \quad (9.8)$$

Для определения требуемых значений σ_m, γ_m, t_m вычисляются значения трех критических пролетов:

$$l_{1KP} = \frac{2\sigma_{\text{Э}}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6[\beta(\sigma_{\text{Э}} - \sigma_{\Gamma}) + \alpha(t_{\text{Э}} - t_{-})]}{1 - \left(\frac{\sigma_{\text{Э}}}{\sigma_{\Gamma}}\right)^2}}; \quad (9.9)$$

$$l_{2KP} = \frac{2\sigma_{\Gamma}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6\alpha(-5 - t_{-})}{\left(\frac{\gamma_7}{\gamma_1}\right)^2 - 1}}; \quad (9.10)$$

$$l_{3KP} = \frac{2\sigma_{\Gamma}}{\gamma_1} \sqrt{\frac{6[\beta(\sigma_{\Gamma} - \sigma_{\text{Э}}) + \alpha(-5 - t_{\text{Э}})]}{\left(\frac{\gamma_7}{\gamma_1}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{\Gamma}}{\sigma_{\text{Э}}}\right)^2}}. \quad (9.11)$$

Если $l_{1KP} < l_{2KP} < l_{3KP}$, то при $l_{\text{ВИЗ}} < l_{1KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим минимальных температур, т. е. $\sigma_m = \sigma_{-}$, $\gamma_m = \gamma_{-}$, $t_m = t_{-}$. При $l_{1KP} < l_{\text{ВИЗ}} < l_{3KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим среднегодовых условий, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\text{Э}}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{\text{Э}}$. При $l_{\text{ВИЗ}} > l_{3KP}$ в качестве m -х условий принимается режим наибольших нагрузок, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\Gamma}$, $\gamma_m = \gamma_7$, $t_m = -5^{\circ}\text{C}$.

Если $l_{1KP} > l_{2KP} > l_{3KP}$, то при $l_{\text{ВИЗ}} < l_{2KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим минимальных температур, т. е. $\sigma_m = \sigma_{-}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{-}$. При $l_{\text{ВИЗ}} > l_{2KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим наибольших нагрузок, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\Gamma}$, $\gamma_m = \gamma_7$, $t_m = -5^{\circ}\text{C}$.

Если $l_{1KP} = J_m$, $l_{2KP} < l_{3KP}$, то при $l_{\text{ВИЗ}} < l_{3KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим среднегодовых условий, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\text{Э}}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{\text{Э}}$. При $l_{\text{ВИЗ}} > l_{3KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим наибольших нагрузок, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\text{Э}}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = -5^{\circ}\text{C}$.

Если $l_{3KP} = J_m$, $l_{1KP} < l_{2KP}$, то при $l_{\text{ВИЗ}} < l_{1KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим минимальных температур, т. е. $\sigma_m = \sigma_{-}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{-}$. При $l_{\text{ВИЗ}} > l_{1KP}$ в качестве исходных m -х условий принимается режим среднегодовых условий, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\text{Э}}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{\text{Э}}$.

Если $l_{3KP} = J_m$, то при любой длине визируемого пролета в качестве m -х условий принимается режим среднегодовых условий, т. е. $\sigma_m = \sigma_{\text{Э}}$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_{\text{Э}}$.

Неполное кубическое уравнение (9.1) решается относительно σ при вариации температуры t от наименьшей до максимальной, характерных для данной местности. По полученным значениям σ находят тяжение по проводу и стрелу провеса провода и строят так называемые монтажные кривые.

С увеличением температуры монтажное тяжение по проводу снижается, а стрела провеса возрастает.

Наибольшая стрела провеса провода в процессе эксплуатации линии наступает или при наибольшей температуре воздуха, или при гололеде без ветра. Нагрев проводов солнечной радиацией или электрическим током при этом не учитываются.

Пример

В качестве исходных данных возьмём провода АС-330/31 с длиной пролёта равной 450 м:

Удельные механические нагрузки на провода определяем как:

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F} = \frac{1,15}{364,1} = 3,164 \cdot 10^{-3}, \text{ даН/мм}^2;$$

$$\gamma_2 = 0,00283 \cdot b \cdot \frac{d+b}{F} = 0,00283 \cdot 20 \cdot \frac{20+24,8}{364,1} = 6,964 \cdot 10^{-3}, \text{ даН/мм}^2;$$

$$\gamma_4' = \frac{6,25 \cdot \alpha_1 \cdot c_x \cdot d \cdot k_l \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{6,25 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 24,8 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{364,1} = 0,468 \cdot 10^{-3}, \text{ даН/мм}^2;$$

$$\gamma_6' = \sqrt{\gamma_1^2 + (\gamma_4')^2} = \sqrt{3,164^2 + 0,468^2} \cdot 10^{-3} = 3,198 \cdot 10^{-3}, \text{ даН/мм}^2;$$

$$\gamma_5 = \frac{0,25 \cdot q \cdot \alpha_1 \cdot c_x \cdot (d+2b) \cdot k_l \cdot 10^{-3}}{F} = \frac{0,25 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot (24,8+2 \cdot 20) \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{364,1} = 2,563 \cdot 10^{-3},$$

даН/мм²;

$$\gamma_7 = \sqrt{(\gamma_1 + \gamma_2)^2 + \gamma_5^2} = \sqrt{(3,164 + 6,964)^2 + 2,563^2} \cdot 10^{-3} = 0,01, \text{ даН/мм}^2;$$

Для определения требуемых значений σ_m, γ_m, t_m вычисляются значения трех критических пролетов:

$$l_{1\text{кр}} = \frac{2 \cdot \sigma_3}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [\beta \cdot (\sigma_3 - \sigma_r) + \alpha \cdot (t_3 - t_-)]}{1 - \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_r}\right)^2}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 7,8}{0,00316} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [1/7450 \cdot (7,8 - 11,7) + 0,000019 \cdot (5 - (-40))]}{1 - \left(\frac{7,8}{11,7}\right)^2}} = 295,02, \text{ м};$$

$$l_{2\text{кр}} = \frac{2 \cdot \sigma_r}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [\alpha \cdot (-5 - t_-)]}{\left(\frac{\gamma_7}{\gamma_1}\right)^2 - 1}} = \frac{2 \cdot 11,8}{0,00316} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [0,000019 \cdot (-5 - (-40))]}{\left(\frac{10}{3,164}\right)^2 - 1}} = 148,5, \text{ м};$$

$$l_{1\text{кр}} = \frac{2 \cdot \sigma_r}{\gamma_1} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [\beta \cdot (\sigma_r - \sigma_3) + \alpha \cdot (-5 - t_3)]}{\left(\frac{\gamma_7}{\gamma_1}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_r}\right)^2}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 11,7}{0,00316} \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot [1/7450 \cdot (11,7 - 7,8) + 0,000019 \cdot (-5 - 5)]}{\left(\frac{10}{3,164}\right)^2 - \left(\frac{7,8}{11,7}\right)^2}} = 112,5, \text{ м};$$

Так как $l_{1\text{кр}} > l_{2\text{кр}} > l_{3\text{кр}}$, значит при $l_{\text{ВВЗ}} < l_{2\text{кр}}$ принимается $\sigma_m = \sigma_-$, $\gamma_m = \gamma_1$, $t_m = t_-$.

При $l_{\text{ВВЗ}} > l_{2\text{кр}}$ принимаются $\sigma_m = \sigma_r$, $\gamma_m = \gamma_7$, $t_m = -5^\circ\text{C}$.

При подстановке параметров у равнение состояние провода при длине пролёта равной 450м и темепартурах от -40 до +40 получим:

Таблица 9.1 – Исходные данные

Визируемый пролет	Параметр	Температура t, °C				
		-40	-20	0	20	40
L = 450 м	$\sigma, \text{даН/мм}^2$	4.135	3.995	3.867	3.751	3.644
	$f, \text{м}$	19.577	20.266	20.934	21.585	22.219
	$T, \text{даН}$	1506	1455	1408	1366	1327

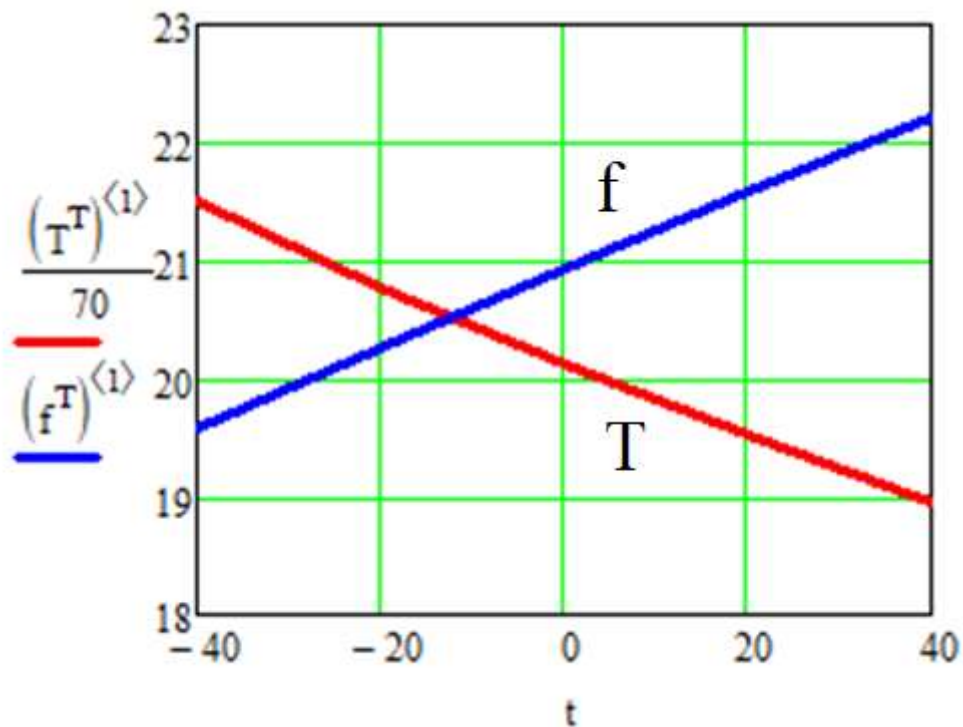


Рисунок 9.1 – Монтажные кривые для провода

10 Расчет переходов через инженерные сооружения и водные преграды

Задача. Определить расстояние между нижними проводами пересекающей воздушной линии (ВЛ) электропередачи и инженерным сооружением, водной преградой или землей (в населенной местности) в нормальном и аварийном режимах. Номинальное напряжение пересекающей линии: 35; 110; 220; 330, 750 кВ. Пересекаемые сооружения: воздушные линии электропередачи более низкого напряжения; автомобильные дороги, железные дороги; троллейбусные и трамвайные линии.

Длина пролета линии: 150; 220; 300; 350; 450 м соответственно для номинальных напряжений: 35; 110; 220; 330, 750 кВ. Допустимые расстояния $h_{\text{доп}}$ приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Допустимые расстояния от проводов пересекающей линии до инженерных сооружений

Наименование пересечений воздушной линии	Допустимые расстояния от проводов пересекающей линии, м		
	Номинальное напряжение пересекающей линии		
	35-110	220	330
ВЛ напряжением 35-110 кВ между собой и с линиями более низкого напряжения	3,0	-	-
ВЛ напряжением 220 кВ между собой и с линиями более низкого напряжения	4,0	4,0	-
ВЛ напряжением 330 кВ между собой и с линиями более низкого напряжения	5,0	5,0	5,5
ВЛ с проводами линии связи	3,0/1,0	4,0/2,0	5,0/2,5
ВЛ с железными дорогами	7,5/6,0	8,5/6,5	9,0/7,0
ВЛ с автомобильными дорогами	7,0/5,0	8,0/5,5	8,5/6,0
ВЛ с троллейбусными линиями	11,0/1,0	12,0/2,0	13,0/2,5
ВЛ с трамвайными линиями	9,9/1,0	10,5/2,0	11,5/2,5
ВЛ с наземными и подземными трубопроводами, канатными дорогами	4,0/2,0	5,0/3,0	6,0/4,0
Расстояние до земли в населенной местности	7,0/4,5	8,0/5,5	8,0/6,0
ВЛ с судоходными реками	6,0/3,0	7,0/4,0	7,5/4,5
ВЛ с несудоходными реками	6,0	7,0	7,5

Примечание: числитель – в нормальном режиме, знаменатель – в аварийном режиме.

Высоту пересекаемых сооружений h_C принять равными: ВЛ 0,38 кВ – 7,5–7,8 м; ВЛ 10 кВ – 9,0–9,5 м; ВЛ 35 кВ – 18 м; ВЛ 110 кВ – 19–27,5 м; ВЛ 220 кВ – 20–40 м; ВЛ 330 кВ – 26,5–43,0 м; ВЛ 750 кВ – 38,0–40,1 м; линии связи – 7,0 м; автомобильные и железные дороги, судоходные реки – 2 м;

троллейбусные и трамвайные линии – соответственно 7 и 6 м; надземные трубопроводы – 3 м; канатная дорога – 6 м.

Высоту подвеса нижнего провода $h_{\text{ПОД}}$ пересекающей линии принять равной: ВЛ 35 кВ – 14 м; ВЛ 110 кВ – 16 м; ВЛ 220 кВ – 20 м; ВЛ 330 кВ – 25 м; ВЛ 750 кВ – 38,0 м.

Площадь поперечного сечения сталеалюминиевых проводов: 70; 185; 300; 2х400; 5х300 мм² соответственно для линий напряжением: 35; 110; 220; 330; 750 кВ.

Методические указания

Предположим, что опоры пересекающей воздушной линии, ограничивающие пролет пересечения, расположены на одинаковой высоте. Тогда расстояние от нижнего провода пересекающей линии h до верха инженерного сооружения определяется по формуле

$$h = h_{\text{ПОД}} - h_c - y \geq h_{\text{ДОП}}, \quad (10.1)$$

где y - провес провода пересекающей линии над пересекаемым инженерным сооружением.

Значение y находится как

$$y = \frac{\gamma x(l-x)}{2\sigma}, \quad (10.2)$$

где γ - удельная механическая нагрузка, при которой имеет место наибольшая стрела провеса; примем, что

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = \gamma_3 ;$$

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F}; \quad \gamma_2 = 0,00283b(d + b)(1/F),$$

где $b = 15\text{мм}$ – толщина стенки гололеда;

l - длина пролета, м;

x - расстояние от места пересечения до опоры пересекаемой линии; лежит в пределах $l/2 > x > 7$ м;

$\sigma = 10,8\text{даН/мм}^2$ - наибольшее напряжение в материале сталеалюминиевого провода при гололедной нагрузке.

Если условие (10.1) не выполняется, то необходимо или уменьшить расстояние x или снизить высоту инженерного сооружения, т. е. переустроить место пересечения.

Проверка соответствия схемы пересечения условию аварийного режима производится по формуле

$$h^{\text{АВ}} = h_{\text{ПОД}} - h_c - y' \geq h_{\text{ДОП}}^{\text{АВ}}, \quad (10.3)$$

где y' - провес провода пересекающей линии в месте пересечения с инженерным сооружением при обрыве в соседнем пролете в условиях среднегодовой температуры; определяется как

$$y' = \frac{\gamma_1 x(l-x)}{2\sigma_{\text{АВ}}}, \quad (10.4)$$

где $\sigma_{\text{АВ}} = 3,2\text{даН/мм}^2$ - напряжение в материале провода в пролете пересечения в аварийном режиме (равно $0,4\sigma_3$);

$$\sigma_{\Sigma} = 8,1 \text{ даН/мм}^2$$

Если опоры расположены на неодинаковой высоте, то значение y вычисляется по формуле

$$y = \frac{\gamma l(l-x)}{2\sigma} + xt g \left(\frac{\Delta h}{l} \right), \quad (10.5)$$

где $\Delta h = 2 - 5 \text{ м}$ - разность высот точек подвеса провода на смежных опорах.

В аварийном режиме

$$y' = \frac{\gamma_1 x(l-x)}{2\sigma_{AB}} + xt g \left(\frac{\Delta h}{l} \right). \quad (10.6)$$

Пример

Таблица 10.2 – Исходные данные

U, кВ	Марка провода	x, м	$h_{\text{под}}, \text{ м}$	$G_0, \frac{\text{кг}}{\text{м}}$	$L_{\text{прол}}, \text{ м}$
750	5×300	10	38	5,5	450

Рассчитаем провес провода для нормального режима:

$$\gamma_1 = \frac{G_0}{F} = \frac{5,5}{5 \cdot 300} = 3,67 \cdot 10^{-3} \text{ даН/м} \cdot \text{мм}^2,$$

$$\gamma_2 = 0,00283b(d+b) \left(\frac{1}{F} \right) = 0,00283 \cdot 15(15+43,7) = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ даН/м} \cdot \text{мм}^2,$$

$$\gamma_3 = (3,67 + 1,66) \cdot 10^{-3} = 5,33 \cdot 10^{-3} \text{ даН/м} \cdot \text{мм}^2,$$

$$y = \frac{\gamma x(l-x)}{2\sigma} = \frac{5,33 \cdot 10^{-3} \cdot 10(450-10)}{2 \cdot 10,8} = 1,085 \text{ м.},$$

Для аварийного режима

$$y' = \frac{\gamma_1 x(l-x)}{2\sigma_{AB}} = \frac{3,67 \cdot 10^{-3} \cdot 10(450-10)}{2 \cdot 0,4 \cdot 8,1} = 2,5 \text{ м.}$$

Учтем, что разности высот между опорами нет. Полученные значения сведем в таблицу.

Таблица 10.3 — Для нормального режима

Наименование пересечений воздушной линии	h_c	$h_{\text{под}} - h_c - y$	$h_{\text{доп}}$	Условие выполняется
ВЛ 0,38 кВ	7,5	38-7,5-1,085=29,4	5,5	+
ВЛ 10 кВ	9	27,9	5,5	+
ВЛ напряжением 35 кВ	18	18,9	5,5	+
ВЛ 110 кВ	19	17,9	5,5	+
ВЛ 220 кВ	20	16,9	5,5	+
ВЛ 330 кВ	26,5	10,4	5,5	+
ВЛ с проводами линии связи	7	29,9	5	+
ВЛ с железными дорогами	2	34,9	9	+
ВЛ с автомобильными дорогами	2	34,9	8,5	+

Продолжение таблицы 10.3

ВЛ с троллейбусными линиями	7	29,9	13	+
ВЛ с трамвайными линиями	6	30,9	11,5	+
ВЛ с наземными и подземными трубопроводами, канатными дорогами	3	33,9	6	+
ВЛ с судоходными реками	2	34,9	7,5	+

Таблица 10.4 — Для аварийного режима

Наименование пересечений воздушной линии	h_c	$h_{\text{под}} - h_c - y'$	$h_{\text{доп}}$	Условие выполняется
ВЛ 0,38 кВ	7,5	$38 - 7,5 - 2,5 = 28$	5,5	+
ВЛ 10 кВ	9	26,5	5,5	+
ВЛ напряжением 35 кВ	18	17,5	5,5	+
ВЛ 110 кВ	19	16,5	5,5	+
ВЛ 220 кВ	20	15,5	5,5	+
ВЛ 330 кВ	26,5	9	5,5	+
ВЛ с проводами линии связи	7	28,5	2,5	+
ВЛ с железными дорогами	2	33,5	7	+
ВЛ с автомобильными дорогами	2	33,5	6	+
ВЛ с троллейбусными линиями	7	28,5	2,5	+
ВЛ с трамвайными линиями	6	29,5	2,5	+
ВЛ с наземными и подземными трубопроводами, канатными дорогами	3	32,5	4	+
ВЛ с судоходными реками	2	33,5	4,5	+

В случаях, когда условия не выполняются необходимо установить повышенную опору.

11 Проектирование заземляющих устройств опор воздушных линий электропередачи

Задача. Определить сопротивление вертикальных электродов и горизонтальных лучей, а также количество требуемых вертикальных электродов для сооружения заземляющего устройства опоры воздушной линии электропередачи.

Определить значение тока однофазного короткого замыкания, при котором обеспечивается допустимое напряжение прикосновения, и наметить мероприятия, способствующие увеличению значения указанного тока короткого замыкания.

Эквивалентное удельное сопротивление грунта: 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1500; 2000; 2500; 3000; 3500; 4000; 4500; 5000; 1600; 1700; 1800; 1900; 2100; 2200; 2400; 2600; 2800 Ом · м; длина вертикального электрода l_B : 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20 м; внешний диаметр электрода: 10; 12; 14; 16; 18; 20 мм; ширина полки уголка: 20; 30; 40 мм; длина луча горизонтального заземлителя: 5; 10; 15; 20 м; число лучей: 1; 2; 3; 4. Допустимое сопротивление заземления опор: 10; 15; 20; 30 Ом при удельном сопротивлении грунта: до 100; 100–500; 500–1000; 1000–5000 Ом · м соответственно.

Расстояние между вертикальными электродами в сетке $a = (1,0 - 5,0)l_B$.

Длина стороны квадратной сетки заземлителя, занимающего площадь F , т. е. $\sqrt{F} = 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150$ м.

Суммарная длина горизонтальных лучей сетки

$$L_C = (4 - 40)\sqrt{F}. \quad (11.1)$$

Методические указания

Проектирование заземляющего устройства ведется путем последовательных приближений.

Вначале определяется сопротивление естественных заземлителей. Если сопротивление достаточно, то других заземлителей не требуется. В противном случае с учетом значений сопротивления заземляющего устройства (4 Ом – сеть напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью; 10 Ом – сеть напряжением 6–35 кВ с изолированной, заземленной через резистор и компенсированной нейтралью; 0,5 Ом – сеть напряжением 110 кВ и выше с эффективно заземленной нейтралью; 10–30 Ом – опоры линий электропередачи) необходимо определить результирующее (требуемое) сопротивление искусственного заземлителя. При совмещении заземляющих устройств различных напряжений (например, на подстанциях) или назначений принимается меньшее сопротивление.

При проектировании заземляющего устройства считаются известными: диаметр стальных вертикальных стержней (не менее 10 мм), их длина (3 м и более), размер или площадь поперечного сечения круглой или полосовой

стали, соединяющей между собой вертикальные стержни (не менее 48 мм², что соответствует размеру полосы 12×4 мм или 10 мм – круглой стали), а также конфигурация заземлителя – горизонтальные лучи – для опор воздушных линий электропередачи или прямоугольник (для подстанций).

Сопротивление одного вертикального трубчатого или стержневого электрода R_B , верхний конец которого находится ниже уровня земли на расстоянии h_3 , определяется по формуле

$$R_B = \frac{0,366\rho_{\text{Э}}}{l_B} \left(\lg \frac{2l_B}{d_B} + \lg \frac{4h_3+l_B}{4h_3-l_B} \right) = \frac{0,366\rho_{\text{Э}}}{l_B} \left(\lg \frac{2l_B}{d_B} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h_3+3l_B}{4h_3+l_B} \right), \text{ Ом}, \quad (11.2)$$

где $\rho_{\text{Э}}$ - эквивалентное удельное сопротивление грунта (или удельное сопротивление однородной земли), Ом · м;

l_B - длина вертикального электрода, м;

d_B - внешний диаметр электрода (для электрода из уголкового стали $d_B = 0,95b$), м;

b - ширина полки уголка, м;

h_B - глубина заложения вертикального электрода или расстояние от поверхности земли до середины электрода ($h_B = h_3 + \frac{l_B}{2}$);

h_3 - расстояние от поверхности земли до верха вертикального электрода; принимается равным 0,7-0,8 м.

В ориентировочных расчетах сопротивление R_B вертикального электрода в однородной земле можно определить по формуле

$$R_B \cong \frac{\rho}{l_B}, \text{ Ом}, \quad (11.3)$$

где ρ - удельное сопротивление земли, Ом · м.

Для пучка из n стальных параллельно соединенных труб

$$R_B^{\text{пуч}} = \frac{R_B}{\eta n}, \quad (11.4)$$

где η - коэффициент использования заземления; равен 0,62-0,58; 0,75-0,7; 0,8-0,72 соответственно при отношении расстояния между трубами к их длине, равной 1,0; 2,0; 3,0.

Сопротивление вертикального электрода, опускаемого в скважину, находится по формуле

$$R_B^{\text{СКВ}} = \frac{\rho_{\text{Э}}}{2\pi l_B} \ln \frac{4l_B}{d_B} = \frac{0,366\rho_{\text{Э}}}{l_B} \lg \frac{4l_B}{d_B}. \quad (11.5)$$

Сопротивление R_L горизонтального заземлителя или луча, прокладываемого из круглого проводника на глубине не менее 0,5 м, а на пахотной земле – не менее 1,0 м, определяется по выражению

$$R_L = \frac{\rho_{\text{Э}}}{2\pi l_L} \left(\ln \frac{2l_L}{d_L} + \ln \frac{l_L}{2h_3} \right) = \frac{0,366\rho_{\text{Э}}}{l_L} \lg \frac{l_L^2}{d_L h_3}, \quad (11.6)$$

где l_L - длина горизонтального заземлителя (луча), м;

d_L - внешний диаметр проводника заземлителя (луча), м;

h_3 - глубина заложения горизонтального заземлителя, м.

Сопротивление R_L горизонтального заземлителя или луча из полосовой стали

$$R_L = \frac{0,366\rho_{\text{Э}}}{l_L} \lg \frac{2l_L^2}{b_L h_3}, \quad (11.7)$$

где $b_{Л}$ - ширина полосы, м.

При $b_{Л} = 2d_{Л}$ сопротивление $R_{Л}$ горизонтального луча из полосовой и круглой стали имеет одинаковое значение.

В ориентировочных расчетах сопротивление горизонтального электрода из полосовой стали может быть определено как

$$R_{Л} = \frac{2\rho}{l_{Л}}. \quad (11.8)$$

Если лучевые заземлители укладываются в землю в виде расходящихся под равными углами от центра опоры лучей, то сопротивление растеканию такой системы лучевых заземлителей $R_{С.Л}$ подсчитывается по формуле

$$R_{С.Л} = \frac{R_{Л}}{n_{Л}\eta'_{Л}}, \quad (11.9)$$

где $R_{Л}$ - сопротивление одного луча;

$n_{Л}$ - число лучей;

$\eta'_{Л}$ - коэффициент использования лучевого заземлителя в системе нескольких лучей; принимается равным 0,8 или 0,7 – при количестве лучей три и четыре и диаметре проводника луча 10 мм.

Сопротивление системы «горизонтальный луч – вертикальный электрод»

$$R_{Л-В} = \frac{R_{Л}R_{В}}{(R_{Л}+R_{В})\eta'_{В}}. \quad (11.10)$$

С учетом сопротивления горизонтального заземлителя $R_{Л}$ или $R_{С.Л}$ уточненное значение необходимого числа вертикальных электродов $n'_{В}$ определится как

$$n'_{В} = \frac{R_{В}}{\frac{R_{Л}R_{РЕЗ}}{R_{Л}+R_{РЕЗ}}\eta'_{В}}, \quad (11.11)$$

где значение $\eta'_{В} = 0,6 - 0,8$ [1, с.127]; полученные результаты округляют до большего значения.

При проектировании сложных заземлителей, монтируемых на подстанциях и состоящих из горизонтальной сетки и вертикальных электродов, действительная площадь F , занимаемая заземлителем, заменяется квадратом такой же площади со стороной \sqrt{F} . В качестве известных значений принимаются: общая длина горизонтальных проводников $L_{Л}$, глубина их заложения h_3 , число $n_{В}$ и длина $l_{В}$ вертикальных электродов.

Наибольшее возможное расчетное напряжение прикосновения на территории, занятой заземлителем, определяется по формуле

$$U_{ПРИК} = I_3 \cdot R_3 \cdot k_{ПРИК} = U_3 \cdot \alpha_{ПРИК} \cdot \beta \leq U_{ПРИК}^{ДОП}, \quad (11.12)$$

где I_3 - ток однофазного замыкания на землю, А;

R_3 - сопротивление заземлителя, Ом;

$k_{ПРИК}$ - коэффициент напряжения прикосновения, равный отношению напряжения на теле человека $U_{ПРИК}$ к напряжению на заземлителе ($k_{ПРИК} < 1,0$ и может принимать значения 0,2 и ниже);

U_3 – напряжение на заземлителе, В;

$\alpha_{\text{ПРИК}}$ – коэффициент напряжения прикосновения, зависящий от конструкции заземлителя и напряжения между двумя точками, которых может одновременно коснуться человек;

$\beta = 1000/(1000 + 1,5\rho_1)$ – коэффициент, представляющий собой отношение сопротивления тела человека (1000 Ом) к сумме сопротивлений тела человека и сопротивления растеканию тока с ног человека;

ρ_1 – удельное сопротивление верхнего слоя земли, Ом · м;

$U_{\text{ПРИК}}^{\text{ДОП}}$ – допустимое напряжение прикосновения; зависит от времени срабатывания релейной защиты, В.

Значение коэффициента $\alpha_{\text{ПРИК}}$ определяется по формуле

$$\alpha_{\text{ПРИК}} = \frac{c}{\left(\frac{l_B L_C}{a\sqrt{F}}\right)^{0,45}}, \quad (11.13)$$

где $c = 0,50$ при $\rho_1/\rho_2 = 1,0$.

Здесь предполагается, что длина вертикальных электродов l_B лежит в пределах 5-20 м; отношение $\frac{l_B}{a} = 1 - 5$; $\frac{L_C}{\sqrt{F}} = 4 - 30$; $\sqrt{F} = 20 - 150$ м, длина стороны квадратной сетки заземлителя, глубина заложения сетки 0,5-0,8 м; L_C – суммарная длина горизонтальных лучей сетки.

Если исходить из допустимого значения напряжения прикосновения, равного 50-65 В (т. е. $U_{\text{ПРИК}} = U_{\text{ПРИК}}^{\text{ДОП}}$), при времени срабатывания релейной защиты равном 0,1-3,0 с, то ток однофазного замыкания не должен превышать значения

$$I_3 \leq \frac{U_{\text{ПРИК}}^{\text{ДОП}}}{R_3 \alpha_{\text{ПРИК}} \beta}, \text{ А.} \quad (11.14)$$

Если фактическое значение тока замыкания превышает значение, полученное по формуле (11.14), то следует увеличить длину горизонтальных электродов путем расширения площади заземлителя, выполнить сетку более густой (снижается $\alpha_{\text{ПРИК}}$), приближающейся к сложной плите, или повысить удельное сопротивление верхнего слоя грунта ρ_1 (и тем самым снизить β) за счет подсыпки территории подстанции слоем гравия с удельным сопротивлением 6000–8000 Ом · м.

Пример

В качестве исходных данных берём сопротивление грунта 2800 Ом*м, длину вертикального электрода 20 м, длину луча 20 м при числе лучей равным 4.

Глубина заложения вертикального электрода:

$$h_B = h_B + \frac{l_B}{2} = 0,75 + \frac{20}{2} = 10,75, \text{ м}$$

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_3}{l_B} \cdot \left(\log \frac{2 \cdot l_B}{d_B} + \log \frac{4 \cdot h_B + l_B}{4 \cdot h_B - l_B} \right) =$$

$$\frac{0,366 \cdot 2800}{20} \cdot \left(\log \frac{2 \cdot 20}{20} + \log \frac{4 \cdot 10,75 + 20}{4 \cdot 10,75 - 20} \right) = 37,848, \text{ Ом}$$

$$R_B^{\text{пуч}} = \frac{R_B}{\eta \cdot n} = \frac{37.848}{0.62} = 61.045, \text{ Ом}$$

$$R_B^{\text{СКВ}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{л}}} \cdot \ln \frac{4 \cdot l_{\text{в}}}{d_{\text{в}}} = \frac{2800}{2 \cdot \pi \cdot 20} \cdot \ln \frac{4 \cdot 20}{20} = 30,889, \text{ Ом}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{л}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{л}}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\text{л}}}{d_{\text{л}}} + \ln \frac{l_{\text{л}}}{2 \cdot h_{\text{з}}} \right) = \frac{2800}{2 \cdot \pi \cdot 20} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 20}{20} + \ln \frac{20}{2 \cdot 0,75} \right) = 73,16, \text{ Ом}$$

Для лучей расходящихся от центра под равными углами:

$$R_{\text{С.л.}} = \frac{R_{\text{л}}}{n_{\text{л}} \cdot \eta'_{\text{л}}} = \frac{73.16}{4 \cdot 0.7} = 26.129, \text{ Ом}$$

Сопротивление системы «горизонтальный луч – вертикальный электрод»:

$$R_{\text{л-в}} = \frac{R_{\text{л}} \cdot R_{\text{в}}}{(R_{\text{л}} + R_{\text{в}}) \cdot \eta'_{\text{в}}} = \frac{73,16 \cdot 37,85}{(73,16 + 37,85) \cdot 0,7} = 31.18, \text{ Ом}$$

Уточнённое число вертикальных заземлителей округляем до большего значения:

$$n'_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{\frac{R_{\text{л}} \cdot R_{\text{рез}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{рез}}} \cdot \eta'_{\text{в}}} = \frac{37,85}{\frac{73,16 \cdot 30}{73,16 + 30} \cdot 0,7} = 2,54 \approx 3$$

Тогда допустимое значение тока замыкания при допустимом значении напряжения прикосновения в 60 В находится как:

$$\alpha_{\text{прик}} = \frac{c}{\left(\frac{l_{\text{в}} \cdot L_{\text{с}}}{a \cdot \sqrt{F}} \right)^{0.45}} = \frac{0.5}{(5 \cdot 4)^{0.45}} = 0.13$$

$$\beta = 1000 / (1000 + 1.5 \cdot \rho_1) = 1000 / (1000 + 1.5 \cdot 50) = 0.93$$

$$I_3 = \frac{U_{\text{прик}}^{\text{доп}}}{R_3 \cdot \alpha_{\text{прик}} \cdot \beta} = \frac{60}{30 \cdot 0,13 \cdot 0,93} = 16,555, \text{ А}$$

12 Оценка площади отчуждаемой территории для размещения опор воздушной линии электропередачи

Задача. Определить площадь участка земли, изымаемого в постоянное пользование, для размещения железобетонных и металлических опор воздушной линии электропередачи на непахотных и пахотных землях.

Диаметр на уровне земли железобетонных опор: 560; 800; 616,6; 617,7.

Железобетонные опоры с оттяжками:

расстояния ОС: 8,0; 9,8; 6,1; 5,1; 7,5; 9,0; 10,0; 12,5 м;

ОД: 5,0; 6,2; 6,1; 5,1; 7,5; 9,0; 10,0; 12,5 м.

Железобетонные опоры П-образные: расстояние между центрами стоек: 5,32; 5,86; 5,96; 11,6; 6,0; 8,4; 15,4; 16,0; 15,0 м.

Ширина базы металлических опор: 1,5; 1,8; 2,06; 2,19; 3,9; 4,2 м (линии напряжением 35 кВ); 2,4; 2,5; 2,75; 2,8; 3,3; 3,5; 4,7; 4,8 м (линии напряжением 110 кВ); 4,1; 4,42; 4,5; 4,8; 5,0; 5,2; 5,4 м (линии напряжением 220 кВ); 4,82; 5,17; 5,42; 5,32; 5,75; 6,24; 6,85; 9,55 м (линии напряжением 330 кВ); 6,3 м (линии напряжением 750 кВ) – две стойки свободностоящей опоры, расстояние между центрами стоек 17 м;

Металлические опоры с оттяжками:

расстояния ОС: 15,0; 17,4; 11,8; 16,0; 6,6; 16,6; 19 м;

ОД: 6,6; 8,0; 16,6; 19 м.

Сравнить площади территорий, отчуждаемых для одностоечных и порталных железобетонных опор, одностоечных металлических и одностоечных металлических с оттяжками, порталной металлической свободностоящей и с оттяжками.

Методические указания

Площадь участка земли под опору, изымаемого в постоянное пользование, определяется по формуле

$$F = \pi \left(\frac{d}{2} + b \right)^2, \text{ м}^2, \quad (12.1)$$

где d - размер основания опоры у поверхности земли (для конических и цилиндрических опор равен радиусу стойки у поверхности земли; для вибрированных стоек равен наиболее широкой грани стойки), м;

b - ширина полосы земли в каждую сторону от основания опоры; для линий напряжением до 10 кВ $b = 1,0$ м; для линий напряжением 35 кВ и выше $b = 2,0$ м (рисунок 12.1).

Для опор на оттяжках (рисунок 12.2) периметр основания опоры проходит через точку крепления оттяжек к анкерным плитам (точки A, B, C).

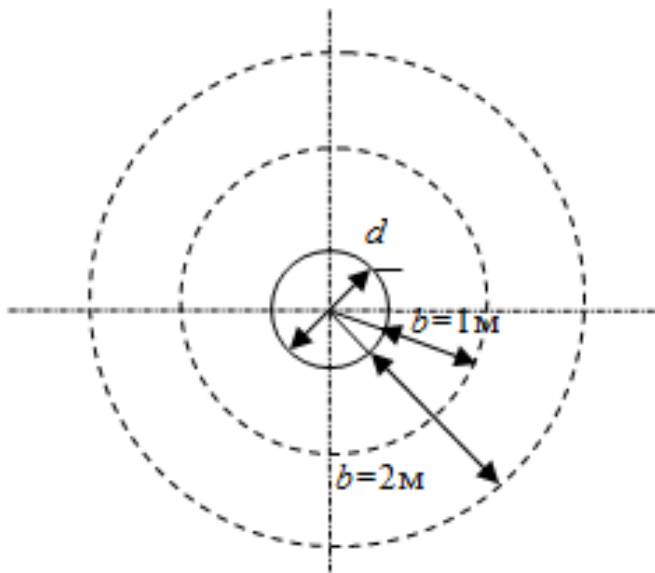


Рисунок 12.1 – Соотношение диаметра d основания железобетонной опоры ($d < 0,8\text{м}$) и ширины отчуждаемой полосы земли b

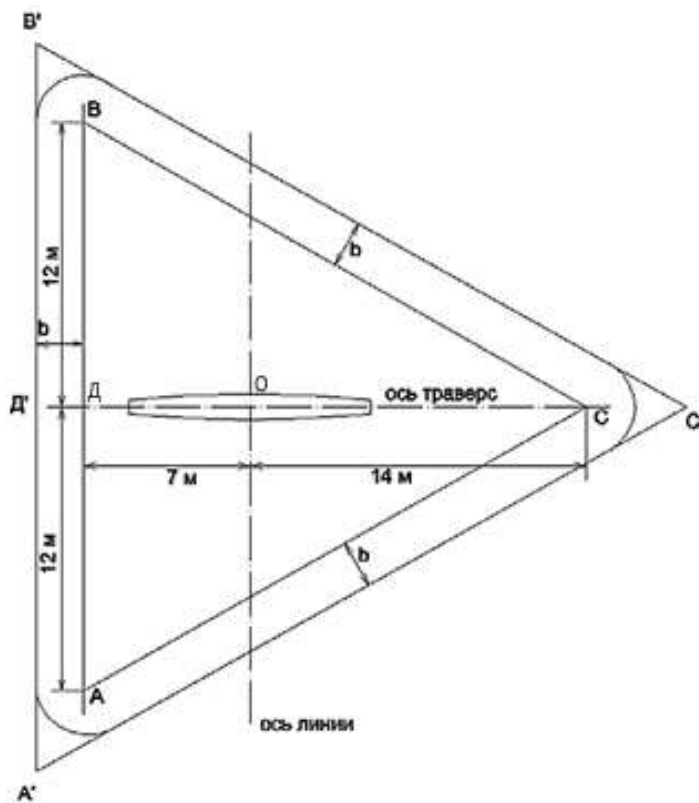


Рисунок 12.2 – План расположения оттяжек металлической опоры линии электропередачи напряжением 220 кВ (A, B, C – места расположения оттяжек)

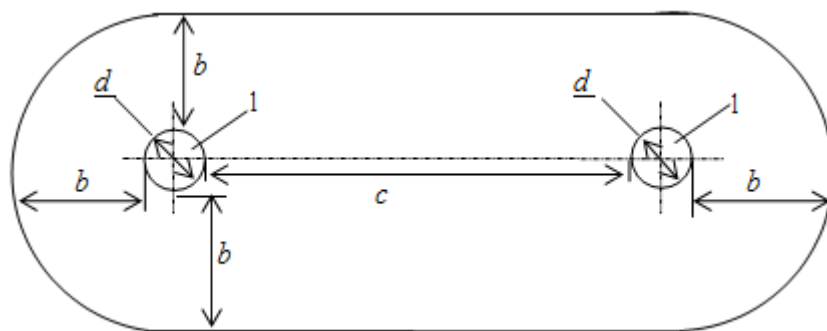
Тогда площадь отчуждаемого участка земли (площадь треугольника $A'B'C'$) приблизительно может быть вычислена как

$$F = 2\frac{1}{2}(D'/C')A'D' = (7 + 14 + 2b)12 = (21 + 2b)12 \approx 252 + 24b. \quad (12.2)$$

Для П-образных опор (рисунок 12.3) площадь участка, отчуждаемого под опору, можно оценить по выражению

$$F = \pi\left(\frac{d}{2} + b\right)^2 \frac{2}{2} + (d + c)(d + 2b) = \pi\left(\frac{d}{2} + b\right)^2 + (d + c)(d + 2b), \text{ м}^2, \quad (12.3)$$

где c - расстояние между стойками опоры, м.



l – стойки опоры

Рисунок 12.3 – Площадка земли, отчуждаемой под установку П-образной опоры

Площадь участка под опоры, устанавливаемые на пахотных землях, принимается как среднее значение площадки необрабатываемой земли у опор при движении сельскохозяйственных машин вдоль линии, поперек линии и под углом 45° к оси линии, т. е.

$$F = \frac{1}{3}(F_1 + F_2 + F_3), \quad (12.4)$$

где - F_1, F_2, F_3 – необрабатываемые площади земли соответственно при движении механизмов вдоль линии, поперек линии и под углом 45° к оси линии.

При расчете площади для проезда механизмов возле конических, цилиндрических либо вибрированных стоек опор можно считать, что $F_1 = F_2 = F_3 = F$.

Значение F определяется по выражению (12.1) при $b = b_1$:

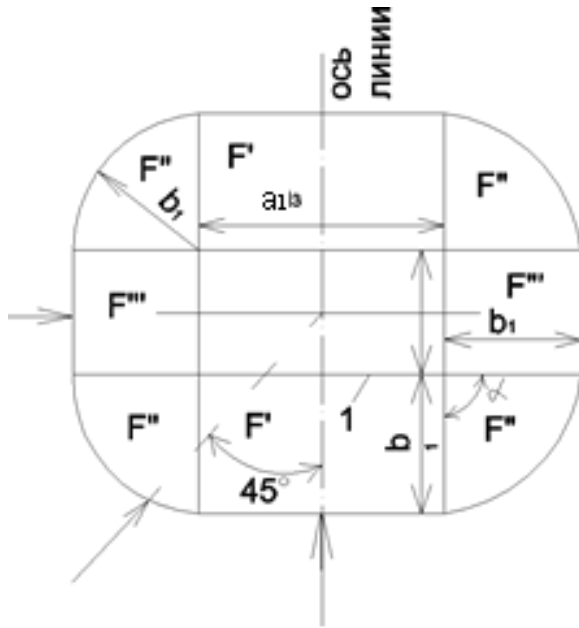
$$F = \pi\left(\frac{d}{2} + b_1\right)^2, \quad (12.5)$$

где b_1 - минимальное допустимое расстояние для проезда механизма мимо стойки опоры, м (может достигать 5 м).

Если база металлической опоры представляет собой прямоугольник с длинами широкой и узкой граней, равными соответственно a_1 и a_2 , то значения F_1, F_2 и F_3 будут равны между собой (рисунок 12.4) и вычисляться по формуле

$$F = F_{\text{ФУНД}} + 2F' + 4F'' + 2F''' = a_1 a_2 + 2a_1 b_1 + 4\frac{\pi b_1^2 \alpha}{360} + 2b_1 a_2, \quad (12.6)$$

где $F_{\text{ФУНД}}$ - площадь, занимаемая фундаментом опоры;
 $\alpha = 90^\circ$ - центральный угол сектора;
 a_1, a_2 - длины сторон фундамента, м.



1 – ствол или база опоры; → – направление движения машин

Рисунок 12.4 – Площадка земли, отчуждаемая для проезда сельскохозяйственных машин при обработке почвы

Пример

Для одностоечной опоры: $D=800$ м.

$$F = \pi \left(\frac{d}{2} + b \right)^2 = 3,14 \cdot \left(\frac{0,8}{2} + 2 \right)^2 = 18,1 \text{ м}^2.$$

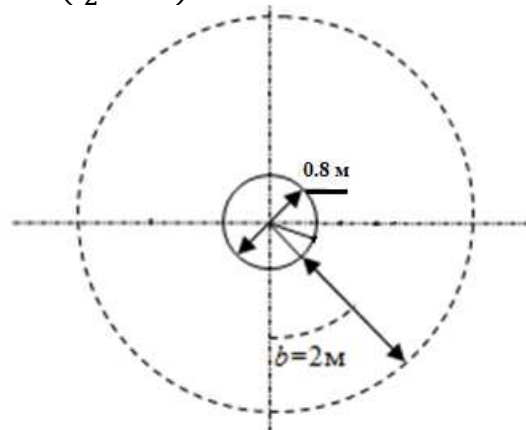


Рисунок 12.5 – Соотношение диаметра основания железобетонной опоры и ширины отчуждаемой полосы земли

Для железобетонной опоры на оттяжках: расстояние ОС 10 м, ОД 10 м.
 Приближенно для равностороннего треугольника:

$$F = \frac{(ОС + ОД + 2 \cdot b + b)^2}{\sqrt{3}} = 390,3 \text{ м}^2.$$

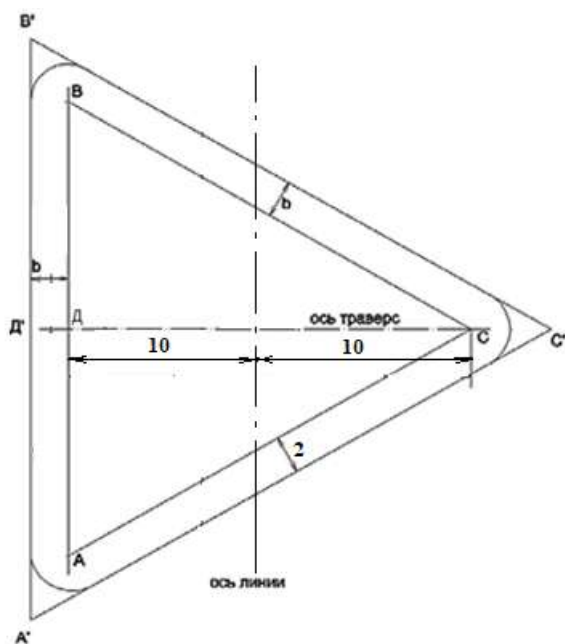
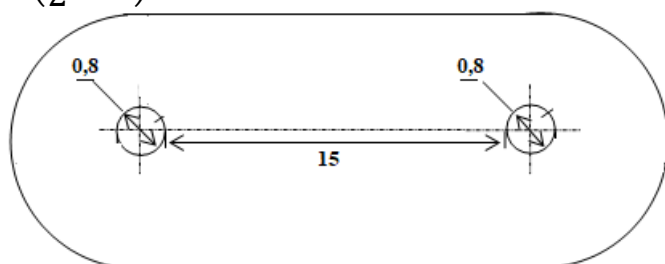


Рисунок 12.6 – План расположения оттяжек железобетонной опоры линии электропередачи (A, B, C – места расположения оттяжек)

Для П-образной опоры $c=15$ м:

$$F = \pi \left(\frac{d}{2} + b \right)^2 + (d + c)(d + 2b) = 18,1 + (0,8 + 15)(0,8 + 2 \cdot 2) = 19,9 \text{ м}^2.$$



I – стойки опоры

Рисунок 12.7 – Площадка земли, отчуждаемой под установку П-образной опоры

Для опоры металлической на оттяжках: расстояние OC 19 м, OD 19 м. Приближенно для равностороннего треугольника:

$$F = \frac{(OC+OD+2 \cdot b+b)^2}{\sqrt{3}} = 117,75 \text{ м}^2.$$

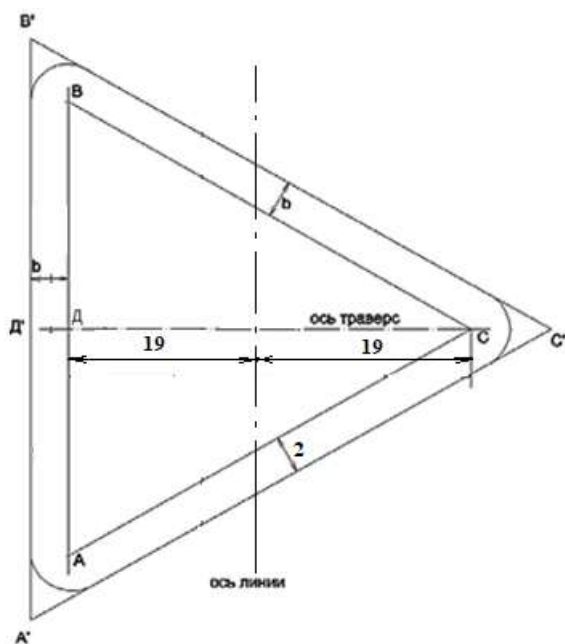


Рисунок 12.8 – План расположения оттяжек металлической опоры линии электропередачи (A, B, C – места расположения оттяжек)

Ширина базы металлических опор для 750 кВ 6,3м, расстояние между стойками 17 м:

$$F = 2 \left(a_1 a_2 + 2 a_1 b_1 + 4 \frac{\pi b_1^2 \alpha}{360} + 2 b_1 a_2 \right)$$

$$= 2 \cdot \left(6,3 + 6,3 + 2 \cdot 6,3 \cdot 5 + 2 \cdot 6,3 \cdot 5 + 4 \cdot \frac{\pi 5^2}{4} \right) = 488,38 \text{ м}^2.$$

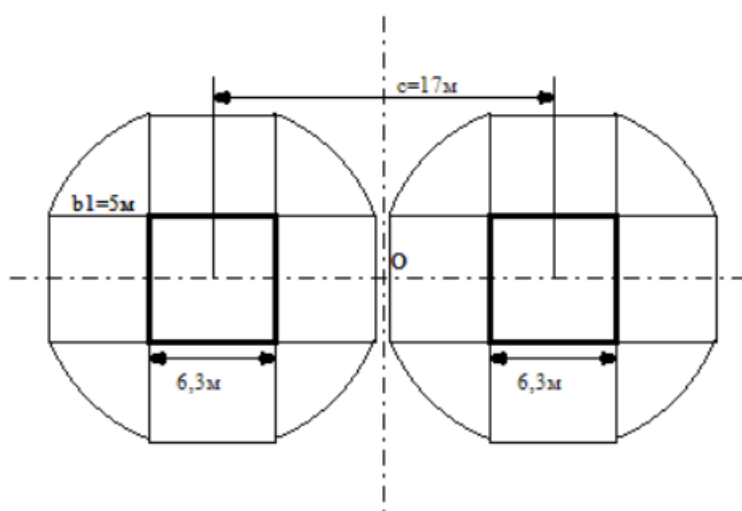


Рисунок 12.9 – Площадка земли, отчуждаемая для проезда сельскохозяйственных машин при обработке почвы напряжением 750 кВ.

13 Эффективность замены проводов на воздушных линиях электропередачи

Задача. Определить увеличение пропускной способности линии электропередачи напряжением 10 или 35 кВ при замене сталеалюминиевых проводов площадью поперечного сечения F на сталеалюминиевые провода площадью поперечного сечения F_1 (при этом $F_1 > F$) при ограничениях по длительно допустимому току по нагреву и допустимой потере напряжения.

Значение коэффициента мощности $\cos \varphi$ принять равным 0,9.

Диапазон рассматриваемых сечений проводов, значения их удельных сопротивлений и длительно допустимых токов по нагреву приведены в таблице 13.1.

Таблица 13.1 – Исходные данные для решения задачи

Площадь поперечного сечения сталеалюминиевых проводов, мм ²	Длительно допустимый ток по нагреву, А	Активное сопротивление 1 км провода, Ом/км	Индуктивное сопротивление 1 км провода, Ом/км, линий напряжением	
			10 кВ	35 кВ
25	135	1,38	0,398	0,431
35	175	0,91	0,385	0,417
50	210	0,63	0,374	0,406
70	265	0,45	0,364	0,396
95	330	0,33	0,353	0,395
120	390	0,27	0,347	0,379
150	450	0,21	0,340	0,372

Первоначальное и максимальное значения площади поперечного сечения проводов F_1 принять равными 25 и 70 мм² – для линий напряжением 10 кВ и 35 и 150 мм² – для линий напряжением 35 кВ.

Допустимая потеря напряжения по линиям 10 кВ – 3–8 %; по линиям 35 кВ – 2–5 %.

Методические указания

При замене проводов на линиях напряжением до 10 кВ площадью поперечного сечения F на провода площадью поперечного сечения F_1 , при этом $F_1 > F$, пропускная способность P линии возрастает за счет увеличения длительно допустимого тока по нагреву и изменения потерь мощности в линии, т. е.

$$\delta P = P \left(\frac{I_{Д1}}{I_D} - 1 \right) + \Delta P \left(1 - \frac{I_{Д1}^2 F}{I_D^2 F_1} \right), \quad (13.1)$$

где δP - изменение пропускной способности линии;

$I_{Д1}, I_D$ - длительно допустимый ток на провода линии площадью поперечного сечения F_1 и F ;

$P, \Delta P$ - пропускная способность и потери мощности в линии с проводами площадью поперечного сечения F .

Поскольку $I_{Д1} > I_{Д}$, то второе слагаемое в формуле (13.1) может иметь отрицательное значение, т. е. при пропускании длительно допустимого тока потери мощности в линии с новыми проводами будут большими, чем с проводами площадью поперечного сечения F .

Значение

$$\frac{I_{\text{ДОП1}}^2}{I_{\text{ДОП}}^2} \frac{F}{F_1} \leq 1,0,$$

когда

$$I_{Д1} \leq I_{Д} \sqrt{\frac{F_1}{F}}. \quad (13.2)$$

$$P = \sqrt{3} U_H I_{\text{ДОП}} \cos \varphi, \quad (13.3)$$

где U_H - номинальное напряжение, кВ.

Если пропускная способность линии ограничена допустимой потерей напряжения, то изменение пропускной способности δP определится по формуле

$$\delta P = P \left(\frac{P_1}{P} - 1 \right) + \Delta P \left(1 - \frac{I_{Д1}^2}{I_{Д}^2} \frac{F}{F_1} \right), \quad (13.4)$$

где P_1 - пропускная способность линии при ее ограничении по допустимой потере напряжения.

Отношение

$$\frac{P_1}{P} = a = \frac{r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi}{r_{01} \cos \varphi + x_{01} \sin \varphi}, \quad (13.5)$$

где r_0, x_0 - активное и индуктивное сопротивление единицы длины линии; φ - угол между вектором напряжения и тока.

Поскольку $r_0 > r_{01}$, то $a > 1$. Второй член выражения (13.4) будет иметь положительное значение при $\frac{I_{Д1}^2}{I_{Д}^2} \frac{F}{F_1} \leq 1,0$ или $I_{Д1} \leq I_{Д} \sqrt{\frac{F_1}{F}}$, что соответствует выражению (13.2).

$$P = \frac{\Delta U}{100} \frac{U_H^2}{(r_0 + jx_0)l} \cos \varphi,$$

где ΔU - допустимая потеря напряжения, %.

Пример

В качестве примера будем повышать сечение с 35 до 150 мм² на ВЛ напряжением 35 кВ

$$P = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{Д} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 175 \cdot 0.9 = 9.548, \text{ МВт}$$

$$\Delta P = \frac{S^2}{U_H^2} \cdot r_0 = \frac{(9.548/0.9)^2}{35^2} \cdot 0.91 = 86.61, \text{ кВт/км}$$

Увеличение пропускной способности по критерию длительно допустимого тока:

$$\begin{aligned} \delta P &= P \cdot \left(\frac{I_{Д1}}{I_{Д}} - 1 \right) + \Delta P \cdot \left(1 - \frac{I_{Д1}^2}{I_{Д}^2} \cdot \frac{F}{F_1} \right) = \\ &= 9.55 \cdot \left(\frac{450}{175} - 1 \right) + 86,61 \cdot \left(1 - \frac{450^2}{175^2} \cdot \frac{35}{150} \right) = 14,96, \text{ MBm} \\ a &= \frac{r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi}{r_{01} \cdot \cos\varphi + x_{01} \cdot \sin\varphi} = \frac{0.91 \cdot 0.9 + 0.417 \cdot 0.436}{0.417 \cdot 0.9 + 0.372 \cdot 0.436} = 2.85 \\ P &= \left| \frac{\Delta U}{100} \cdot \frac{U_{н}^2}{(r_0 + j \cdot x_0)} \right| = \left| \frac{3}{100} \cdot \frac{35^2}{(0.175 + j \cdot 0.417)} \right| = 33.042, \text{ MBm} \end{aligned}$$

Увеличение пропускной способности по критерию максимально допустимого снижения напряжения:

$$\begin{aligned} \delta P &= P \cdot (a - 1) + \Delta P \cdot \left(1 - \frac{I_{Д1}^2}{I_{Д}^2} \cdot \frac{F}{F_1} \right) = \\ &= 33.04 \cdot (2.85 - 1) + 86,61 \cdot \left(1 - \frac{450^2}{175^2} \cdot \frac{35}{150} \right) = 15.734, \text{ MBm} \end{aligned}$$

14 Определение наведенного напряжения на проводах отключенных воздушных линий электропередачи, находящихся вблизи других действующих линий

Задача. Определить напряжение, наведенное электромагнитным путем, на отключенном проводе линии, находящемся в зоне влияния других действующих линий напряжением: 110; 220; 330; 750 кВ на длине, равной 20–50 км. Расстояние от отключенного провода до крайнего провода действующей линии: 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100 м (при напряжении 110 кВ); 110; 120; 130; 140; 150 м (при напряжении 220 кВ); 160; 170; 180; 190; 200 м (при напряжениях 330 и 750 кВ).

Расстояние между крайним и средним, средним и другим крайним проводами: 2,1; 4,2 м (для линий напряжением 110 кВ); 2,6; 7,0 м (для линий напряжением 220 кВ); 3,5; 14,1 м (для линий напряжением 330 кВ); 18,8; 18,8 м (для линий напряжением 750 кВ).

Ток нагрузки по проводам действующих линий электропередачи равен 240; 400; 600 и 1600 А соответственно для линий напряжением: 110, 220, 330 и 750 кВ.

Допустимое значение наведенного потенциала на отключенном проводе 25 В.

Определить распределение напряжения вдоль провода отключенной линии и сравнить его с допустимым для случаев:

- когда отключенный провод не соединен с землей;
- если оба конца отключенного провода заземлены через сопротивление, равное нулю;
- если один конец отключенного провода заземлен через сопротивление, равное нулю, а второй конец разомкнут; оценить изменение потенциалов при смещении точки заземления от начала к концу;
- если начало и конец линии заземлены через заземлители сопротивлениями $R_1 = 0,5; 4; 10; 30$ Ом; $R_2 = 4; 0,5; 30; 10$ Ом; оценить падение напряжения на заземлителях; удельные активное и индуктивное сопротивления линий принять равными 0,2 и 0,4 Ом/км;
- если отключенный провод заземлен не только на концах через сопротивления R_1 и R_2 , но и на месте производства работ на расстоянии l_1 от начала, равном 0,1–0,4, длины линии через сопротивление $R_3 = 50; 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000$ Ом;
- оценить потенциал отключенного провода в месте производства работ;
- если отключенный провод заземлен только на месте производства работ через сопротивление, равное нулю; оценить значение напряжения по концам линии и на месте производства работ;
- если отключенный и заземленный на концевых подстанциях провод обрывается; оценить напряжение на оборванных концах.

Методические указания

На изолированном от земли проводе, идущем параллельно трехфазной воздушной линии электропередачи, находящейся под рабочим напряжением, наводится напряжение по отношению к земле, зависящее от рабочего напряжения влияющей линии, поперечных геометрических размеров и взаимного расположения проводов рассматриваемых линий, т. е. наведенное напряжение определяется емкостными связями системы проводов.

Значение $U_{2\Sigma}^{(3)}$ наведенного электростатического напряжения постоянно по длине воздушной линии, и необходимость в его определении возникает тогда, когда подверженная влиянию воздушная линия электропередачи не заземлена или заземлена через достаточно большое сопротивление, достигающее сотен Ом.

Поскольку заземление отключенной для выполнения работ линии обязательно (в соответствии с техническими мероприятиями, обеспечивающими безопасность работ), то наведенный электростатический потенциал с отключенного провода таким образом снимается. У выведенной в ремонт и заземленной по концам через малые активные сопротивления линии электростатическими связями можно пренебречь.

Наведенная ЭДС на проводе воздушной линии электропередачи, подверженной электромагнитному влиянию, находится по формуле

$$E = j0,145l_{\text{СБ}} \sum_{i=1}^3 I_i \lg \frac{D_3}{D_{i2}}, \text{ В/км}, \quad (14.1)$$

где $l_{\text{СБ}}$ - длина участка сближения действующей и отключенной линии;

I_i - сила тока в проводе i -й фазы линии, А ($i=1, 2, 3$);

D_3 - эквивалентная глубина прохождения обратного тока в земле; для равнинной территории Республики Беларусь $D_3 = 1000$ м;

D_{i2} - расстояние между проводом i -й фазы линии и отключенным проводом.

Для симметричной трехфазной системы

$$\begin{aligned} \underline{E} &= j0,145I_1 \left(\lg \frac{D_3}{D_{12}} + a^2 \lg \frac{D_3}{D_{22}} + a \lg \frac{D_3}{D_{32}} \right) = \\ &= -j0,145I_1 (\lg D_{12} + a^2 \lg D_{22} + a \lg D_{32}), \end{aligned} \quad (14.2)$$

где a^2, a - операторы;

$$I_2 = a^2 I_1; \quad I_3 = a I_1.$$

Модуль ЭДС, наведенной на отключенном проводе, определяется по формуле [1, с. 320]

$$E = 0,145I_1 \sqrt{\frac{3}{4} \left(\lg \frac{D_{32}}{D_{22}} \right)^2 + \left[\lg D_{12} - \frac{1}{2} \lg (D_{22} D_{32}) \right]^2}, \quad (14.3)$$

где D_{12}, D_{22}, D_{32} - расстояния от проводов фаз 1; 2; 3 влияющей линии до провода отключенной линии.

Полная ЭДС, наведенная на проводе линии длиной l :

$$E_{\text{ПОЛН}} = El, \text{ В}. \quad (14.4)$$

Если в одном коридоре проходит несколько линий ($j = 1, \dots, m$), то суммарная наведенная ЭДС

$$E_{\Sigma} = j0,145 \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^3 l_{\text{СБ}j} I_{ij} \lg \frac{D_3}{D_{ij2}}, \quad (14.5)$$

где I_{ij} - сила тока в проводе i -й фазы j -й линии;

$l_{\text{СБ}j}$ - длина участка сближения i -й линии с отключенной.

1. Если отключенный провод не соединен с землей, т. е. изолирован, то в этом случае потенциал провода обусловлен только электростатической составляющей, а от действия продольной ЭДС потенциал провода изменяется по длине участка сближения l по закону

$$\varphi_x = \frac{E}{2} - \frac{Ex}{l}, \quad (14.6)$$

где x - расстояние до какой-то точки на участке сближения.

2. Если оба конца провода заземлены через сопротивление, равное нулю, то потенциал провода по отношению к земле в любой точке будет равен нулю, т. е. действующая ЭДС уравновешивается падением напряжения на сопротивлении провода.

3. Если один конец провода заземлен через сопротивление, равное нулю, а второй конец разомкнут, то потенциал на втором конце провода будет равен действующей ЭДС. При смещении точки заземления по линии от начала к концу потенциалы в начале U_1 и конце U_2 будут изменяться в соответствии с выражениями:

$$U_1 = E \frac{l_1}{l}; \quad U_2 = E - U_1 = E \left(1 - \frac{l_1}{l}\right), \quad (14.7)$$

где $l = l_1 + l_2$;

l_1 - расстояние от начала линии до точки наложения заземления;

l_2 - расстояние от точки наложения заземления до конца линии.

4. Если начало и конец линии заземлены через заземлители сопротивлением R_1 и R_2 , при этом $R_1 \neq R_2, R_1 \neq 0, R_2 \neq 0$, то проходящий в контуре ток

$$I = \frac{E}{\sqrt{(r_0 l + R_1 + R_2)^2 + (x_0 l)^2}}. \quad (14.8)$$

Падение напряжения на заземлителях R_1 и R_2

$$U_1 = IR_1 \text{ и } U_2 = IR_2.$$

5. В случае заземления провода в третьей точке – еще и на месте производства работ (через сопротивление R_3)

$$E_1 = E_0 l_1; \quad E_2 = E_0 l_2; \quad l_1 + l_2 = l,$$

где E_0 - удельное значение наведенной электромагнитным путем ЭДС.

При заземлении отключенной линии, находящейся на длине l в зоне влияния действующей линии, на конечных подстанциях и на месте производства работ, расстояние до точки нулевого потенциала определяется по выражению

$$x_0 = \frac{R_1 \left(l + l_1 \frac{R_2}{R_3} \right)}{R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}}. \quad (14.9)$$

Потенциал отключенного провода относительно земли в месте производства работ U_{MP} определится по выражению

$$U_{MP} = \left(\frac{l}{2} - l_1\right) E \leq U_{доп}, \quad (14.10)$$

где E - удельное значение наведенной ЭДС; равно 33-50 В/км для линий 750 кВ.

Напомним, что допустимое значение напряжения прикосновения в нормальном режиме равно 25 В, в аварийном – 500; 250; 100; 50 В при продолжительности воздействия тока короткого замыкания соответственно 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 с.

6. При заземлении отключенного провода, находящегося в зоне электромагнитного влияния других линий, только в одном месте – на месте производства работ через сопротивление, равное нулю, без заземления его по концам линии – точка нулевого потенциала совпадает с местом установки заземления, а наибольшее значение наведенного напряжения имеет место по концам линии.

7. При обрыве и падении на землю провода линии, находящейся в зоне влияния другой линии, на концах оборванного провода, заземленного на концевых подстанциях, будут напряжения:

$$\begin{aligned} U_1 &= E_0 l_1; \\ U_2 &= E_0 l_2; \\ U_1 + U_2 &= E; \\ l &= l_1 + l_2, \end{aligned}$$

где E_0 - В/км;

l_1 - расстояние от начала линии до места обрыва;

l_2 - расстояние от конца линии до места обрыва.

Пример

Для примера рассмотрим влияние линии 750 кВ на участок другой линии длиной 50 км при расстоянии до неё 200 м.

Модуль ЭДС, наведенной на отключенном проводе:

$$\begin{aligned} E &= 0.145 \cdot I_1 \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \left(\log \frac{D_{32}}{D_{22}}\right)^2 + \left[\log D_{12} - \frac{1}{2} \cdot \log(D_{22} \cdot D_{32})\right]^2} = \\ &0.145 \cdot 1600 \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \left(\log \frac{237.6}{218.8}\right)^2 + \left[\log 200 - \frac{1}{2} \cdot \log(218.8 \cdot 237.6)\right]^2} = 15.04, \end{aligned}$$

В/км

Полная ЭДС, наведенная на проводе линии длиной l :

$$E_{полн} = E \cdot l = 15.04 \cdot 50 = 751,83, \text{ В}$$

-Если отключенный провод не соединен с землей, т. е. изолирован:

$$\varphi_x = \frac{E}{2} - \frac{E \cdot x}{l}.$$

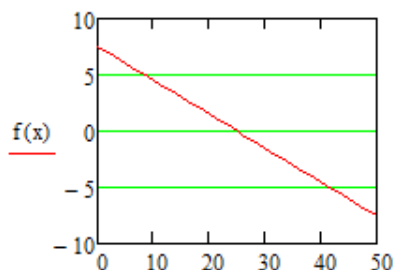


Рисунок 14.1 – Распределение потенциала на незаземлённом вводе

-Если оба конца провода заземлены через сопротивление, равное нулю, то потенциал провода по отношению к земле в любой точке будет равен нулю.

-Если один конец провода заземлен через сопротивление, равное нулю, а второй конец разомкнут:

$$U_1 = E \cdot \frac{l_1}{l} = 15.04 \cdot \frac{20}{50} = 6.015, \text{ В}$$

$$U_2 = E \cdot \frac{l_2}{l} = 15.04 \cdot \frac{30}{50} = 9.022, \text{ В}$$

-Если начало и конец линии заземлены через заземлители сопротивлением R_1 и R_2 , проходящий в контуре ток:

$$I = \frac{E}{\sqrt{(r_0 \cdot l + R_1 + R_2)^2 + (x_0 \cdot l)^2}} = \frac{15}{\sqrt{(0.2 \cdot 50 + 0.5 + 4)^2 + (0.4 \cdot 50)^2}} = 0.609, \text{ А}$$

Падение напряжения на заземлителях R_1 и R_2

$$U_1 = I \cdot R_1 = 0.609 \cdot 0.5 = 0.304, \text{ В}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = 0.609 \cdot 4 = 2.435, \text{ В}$$

-Потенциал отключенного провода относительно земли в месте производства работ $U_{\text{МР}}$

$$U_{\text{МР}} = \left(\frac{l}{2} - l_1 \right) \cdot E = \left(\frac{50}{2} - 20 \right) \cdot 33 = 165 < 500, \text{ В}$$

-При обрыве и падении на землю провода линии

$$U_1 = E \cdot l_1 = 33 \cdot 20 = 660, \text{ В}$$

$$U_2 = E \cdot l_1 = 33 \cdot 30 = 990, \text{ В}$$

15 Оценка значения длительно допустимого тока нагрузки для силовых электрических кабелей, проложенных в земле, воздухе, туннелях, воде, блоках

Задача. Определить длительно допустимое значение тока нагрузки для трехжильных и одножильных силовых электрических кабелей напряжением 10 кВ площадью поперечного сечения медных и алюминиевых жил: 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240 мм² при их прокладке в земле, воздухе, туннелях, воде, блоках.

Допустимая температура нагрева жилы $\theta_{ж} = 70$ и 90°C соответственно для кабелей с бумажно-масляной и полиэтиленовой изоляцией; температура окружающей среды $\theta_0 = 15, 25, 35, 10^{\circ}\text{C}$ соответственно земли, воздуха, туннелей, воды.

Методические указания

Длительно допустимое значение тока нагрузки $I_{\text{Доп}}$ определяется по формулам [2, с. 488]:

– трехжильные кабели

$$I_{\text{Доп}} = \sqrt{\frac{(\theta_{ж} - \theta_0)10^3}{3R_{ж}(S_{\text{ИЗ}} + S_{\text{П}} + S_0)}}; \quad (15.1)$$

– одножильные кабели

$$I_{\text{Доп}} = \sqrt{\frac{(\theta_{ж} - \theta_0)10^3}{R_{ж}[S_{\text{ИЗ}} + (1 + u_{\text{ЭКР}})(S_{\text{П}} + S_0)]}}; \quad (15.2)$$

где $R_{ж}$ - сопротивление жилы переменному току:

– для алюминия: 0,59; 0,42; 0,31; 0,245; 0,196; 0,159; 0,125 Ом/км;

– для меди: 0,39; 0,28; 0,20; 0,158; 0,123; 0,100; 0,077 Ом/км соответственно для жил площадью поперечного сечения: 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240 мм²;

$S_{\text{ИЗ}}, S_{\text{П}}, S_0$ - термическое сопротивление изоляции, защитных покровов, окружающей среды;

$u_{\text{ЭКР}}$ - коэффициент, учитывающий потери мощности в экране кабеля.

Термическое сопротивление изоляции вычисляется по формуле

$$S_{\text{ИЗ}} = 0,366\sigma_{\text{ИЗ}} \lg \frac{R}{r}, \quad (15.3)$$

где $\sigma_{\text{ИЗ}}$ - удельное термическое сопротивление изоляции; для бумажно-масляной изоляции равно 5,5–7,0 °С·м/Вт, для полиэтиленовой изоляции – 3,0–4,0 °С·м/Вт;

R - радиус кабеля по изоляции, мм;

r - радиус жилы: 3,99; 4,7; 5,35; 6,17; 6,9; 7,67; 8,74 мм соответственно для жил площадью поперечного сечения: 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240 мм².

Радиус трехжильного кабеля по изоляции можно определить как

$$R = 2,15r + \Delta_{\text{ИЗ}}, \quad (15.4)$$

где $\Delta_{\text{ИЗ}} = 4$ мм - толщина изоляции;

для одножильного кабеля

$$R = r + \Delta_{\text{ИЗ}}. \quad (15.5)$$

Термическое сопротивление защитного покрова

$$S_{\text{П}} = 0,366\sigma_{\text{П}} \lg \frac{R_{2\text{П}}}{R_{1\text{П}}}, \quad (15.6)$$

где $\sigma_{\text{П}}$ - удельное термическое сопротивление защитного покрова; равно $\sigma_{\text{П}} = 3,0^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ для покрова из кабельной пряжи и ленточной брони;

$\sigma_{\text{П}} = 5,0 - 6,0^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ - для покрова из кабельной пряжи, т. е. для небронированных кабелей;

$\sigma_{\text{П}} = 4,0^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ - для полиэтиленовой изоляции;

$R_{2\text{П}}, R_{1\text{П}}$ - внешний и внутренний радиусы защитного покрова.

Для трехжильного кабеля значение

$$R_{1\text{П}} = R + \Delta_{\text{ОБ}}, \quad \dots(15.7)$$

где $\Delta_{\text{ОБ}}$ - толщина свинцовой или алюминиевой оболочки, равная 1,1-2,0 мм.

Для одножильного кабеля $R_{1\text{П}} = R$.

Значение для трехжильного кабеля

$$R_{2\text{П}} = R_{1\text{П}} + \Delta_{\text{ПОД}} + \Delta_{\text{БР}} + \Delta_{\text{НАР}}; \quad (15.8)$$

для одножильного кабеля

$$R_{2\text{П}} = R_{1\text{П}} + \Delta_{\text{ЭКР}} + \Delta_{\text{НАР}}, \quad (15.9)$$

где $\Delta_{\text{ПОД}}$ - толщина подушки, равна 1,5-3,2 мм;

$\Delta_{\text{БР}}$ - толщина стальной брони, равна 1,0-1,6 мм;

$\Delta_{\text{НАР}}$ - толщина наружного покрова, равна 2,0-3,1 мм;

$\Delta_{\text{ЭКР}}$ - толщина проволок экрана, равна 1,5-2,0 мм.

Термическое сопротивление грунта

$$S_{\text{О}} = 0,366k\sigma_{\text{О}} \lg \frac{4h}{d_{\text{К}}}, \quad (15.10)$$

где $\sigma_{\text{О}} = 0,5 - 1,8^{\circ}\text{C} \cdot \text{м}/\text{Вт}$ - удельное термическое сопротивление грунта;
 k - коэффициент, учитывающий количество кабелей, проложенных в одной траншее; $k = 0,85$, если в траншее проложено три кабеля;

h - глубина заложения кабеля; принимается равной 0,7 м;

$d_{\text{К}}$ - внешний диаметр кабеля: 0,043; 0,047; 0,05; 0,0538; 0,0567; 0,0597; 0,0659 м соответственно для кабелей с площадью поперечного сечения: 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240 мм².

Термическое сопротивление воздуха определяется по формуле

$$S_{\text{О}} = 0,318 \frac{1}{d_{\text{К}}\alpha}, \quad (15.11)$$

где α - коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием.

Значение α находится как

$$\alpha = 4,5^4 \sqrt{\frac{200}{d_{\text{К}}(\text{мм})}} + \varepsilon_{\text{П}} d_{\text{К}}(\text{мм}) 5,7 \cdot 10^{-8} \theta \pi, \quad (15.12)$$

где $\varepsilon_{\text{П}}$ - коэффициент излучения поверхности кабеля; равен 0,8 - при наличии защитных покровов; 0,5-0,6 - для стальной брони; 0,2-0,3 - для алюминиевой оболочки;

$5,7 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - постоянная Больцмана;

$$\theta = (\theta_0 + 273)^3 \left(4 + \frac{120}{\theta_0 + 273} \right), \quad (15.13)$$

где θ_0 - температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$.

Термическое сопротивление воды можно принять равным $0,3 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$.

При прокладке кабеля в блоках

$$S_0 = S_{\text{БЕТ}} + S_{\text{ЗЕМ}}, \quad (15.14)$$

где $S_{\text{БЕТ}} = (0,1 - 0,2) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$ - термическое сопротивление бетонного блока;

$S_{\text{ЗЕМ}}$ - термическое сопротивление грунта (определяется по формуле (15.10)).

Термическое сопротивление защитного покрова небронированных трехжильных кабелей, прокладываемых в блоках, определяется по выражению (15.6) при $\sigma_{\text{П}} = (5,0 - 6,0) \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт}$ и $R_{2\text{П}} = R_{1\text{П}} + \Delta_{\text{НАР}}$.

Значение

$$y_{\text{ЭКР}} = \frac{R_{\text{ЭКР}}}{R_{\text{Ж}}} \frac{1}{1 + \frac{R_{\text{ЭКР}}^2}{\omega^2 M^2}}, \quad (15.15)$$

где $R_{\text{ЭКР}} = \rho_{\text{ЭКР}} \frac{1}{F_{\text{ЭКР}}}$ - сопротивление единицы длины экрана;

$\rho_{\text{ЭКР}} = 0,0188 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ - удельное сопротивление медного экрана;

$F_{\text{ЭКР}}$ - площадь поперечного сечения экрана: 16, 25, 35 мм^2 ;

$\omega = 314 \frac{1}{\text{с}}$ - угловая частота;

$M = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{S}{r_{\text{ЭКР}}}$ - коэффициент взаимной индукции, приходящийся на единицу длины кабеля, Гн;

S - расстояние между осями кабелей;

$r_{\text{ЭКР}}$ - средний радиус экрана.

Произведение $\omega^2 M^2 \approx 0,1 \cdot 10^{-7}, \text{ Ом}^2$.

Пример

Рассмотрим трёхжильный кабель с алюминиевыми жилами сечением 240 мм^2 с полиэтиленовой изоляцией.

Радиус трёхжильного кабеля:

$$R = 2,15 \cdot r + \Delta = 2,15 \cdot 8,74 + 4 = 22,791, \text{ мм.}$$

Термическое сопротивление изоляции:

$$S_{\text{из}} = 0,366 \cdot \sigma_{\text{из}} \cdot \log \frac{R}{r} = 0,366 \cdot 3,5 \cdot \log \frac{22,791}{8,74} = 0,533, \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт.}$$

Радиус первого и второго покровов:

$$R_{1\text{П}} = R + \Delta_{\text{об}} = 22,791 + 1,6 = 24,391, \text{ мм.}$$

$$R_{2\text{П}} = R_{1\text{П}} + \Delta_{\text{под}} + \Delta_{\text{бр}} + \Delta_{\text{нар}} = 24,391 + 2 + 1,3 + 2,5 = 30,191, \text{ мм.}$$

Термическое сопротивление защитного покрова:

$$S_{\text{П}} = 0,366 \cdot \sigma_{\text{П}} \log \frac{R_{2\text{П}}}{R_{1\text{П}}} = 0,366 \cdot 4 \log \frac{30,191}{24,391} = 0,136, \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{м/Вт.}$$

Термическое сопротивление земли:

$$S_{0 \text{ грунта}} = 0.366 \cdot k \cdot \sigma_0 \log \frac{4 \cdot h}{d_k} = 0.366 \cdot 0.85 \cdot 1.2 \log \frac{4 \cdot 0.7}{0.0659} = 0.608,$$

$^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}$.

Длительно допустимый ток трёхжильного кабеля проложенного в земле:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{(\theta_{\text{ж}} - \theta_0) \cdot 10^3}{3 \cdot R_{\text{ж}} \cdot (S_{\text{из}} + S_{\text{п}} + S_0)}} = \sqrt{\frac{(90 - 15) \cdot 10^3}{3 \cdot 0,125 \cdot (0,533 + 0,136 + 0,608)}} = 395,8, \text{ А.}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией и лучеиспусканием находится следующим образом:

$$\theta = (\theta_0 + 273)^3 \cdot \left(4 + \frac{120}{\theta_0 + 273}\right) = (25 + 273)^3 \cdot \left(4 + \frac{120}{25 + 273}\right) = 1,16 \cdot 10^8.$$

$$\alpha = 4.5 \cdot \sqrt[4]{\frac{200}{d_{k(\text{мм})}}} + \varepsilon_{\text{п}} \cdot d_{k(\text{мм})} \cdot 5.7 \cdot 10^{-8} \cdot \theta \cdot \pi =$$

$$= 4.5 \cdot \sqrt[4]{\frac{200}{65.9}} + 0.5 \cdot 65.9 \cdot 5.7 \cdot 1.16 \cdot \pi = 187.8.$$

Тогда термическое сопротивление воздуха:

$$S_{0 \text{ воздуха}} = 0.318 \cdot \frac{1}{d_k \cdot \alpha} = 0.318 \cdot \frac{1}{0.0659 \cdot 187.8} = 0.026, \text{ } ^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}.$$

Длительно допустимый ток трёхжильного кабеля проложенного на воздухе:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{(\theta_{\text{ж}} - \theta_0) \cdot 10^3}{3 \cdot R_{\text{ж}} \cdot (S_{\text{из}} + S_{\text{п}} + S_0)}} = \sqrt{\frac{(90 - 25) \cdot 10^3}{3 \cdot 0,125 \cdot (0,533 + 0,136 + 0,026)}} = 499.5, \text{ А.}$$

Термическое сопротивление блока:

$$S_{0 \text{ блока}} = S_{\text{бет}} + S_{\text{грунт}} = 0,15 + 0,608 = 0,758, \text{ } ^{\circ}\text{C} \cdot \text{м} / \text{Вт}$$

Длительно допустимый ток трёхжильного кабеля проложенного в блоке:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{(\theta_{\text{ж}} - \theta_0) \cdot 10^3}{3 \cdot R_{\text{ж}} \cdot (S_{\text{из}} + S_{\text{п}} + S_0)}} = \sqrt{\frac{(90 - 35) \cdot 10^3}{3 \cdot 0,125 \cdot (0,533 + 0,136 + 0,758)}} = 320,624, \text{ А.}$$

16 Составление программы испытаний железобетонной стойки опоры на прочность и трещиностойкость

Задача. Составить программу испытаний на прочность, прогиб (жесткость) и трещиностойкость конической железобетонной стойки опоры линий электропередачи:

тип стойки СК 22; предельный изгибающий момент, т. е. несущая способность стойки: 26480; 27020; 32600; 32950; 21530; 21210; 52510; 50220; 33460; 36850; 26700; 33930; 21230 даН·м;

тип стойки СК 26; несущая способность или предельный изгибающий момент стойки: 46670; 47120; 47470; 46670; 55090; 54190; 43110; 41700; 46770; 41450; 46670 даН·м.

Наружный диаметр стойки в комле $D_2 = 650$ мм; наружный диаметр стойки в вершине $D_1 = 500$ мм.

Арматура стойки – напрягаемая канатная. Средний радиус расположения напрягаемой арматуры $r_{\text{НАПР}} = 303$ мм.

Методические указания

Контрольная разрушающая нагрузка определяется по формуле

$$P_{\text{КОНТР}} = \frac{Mk_{\text{БЕЗ}}}{h}, \quad (16.1)$$

где M - несущая способность стойки, даН·м;

$k_{\text{БЕЗ}}$ - коэффициент безопасности, равный 1,3–1,4 для первого случая разрушения, т. е. при достижении продольной растянутой арматурой предела текучести, и 1,0 – при определении контрольной нагрузки по ширине раскрытия трещин в бетоне;

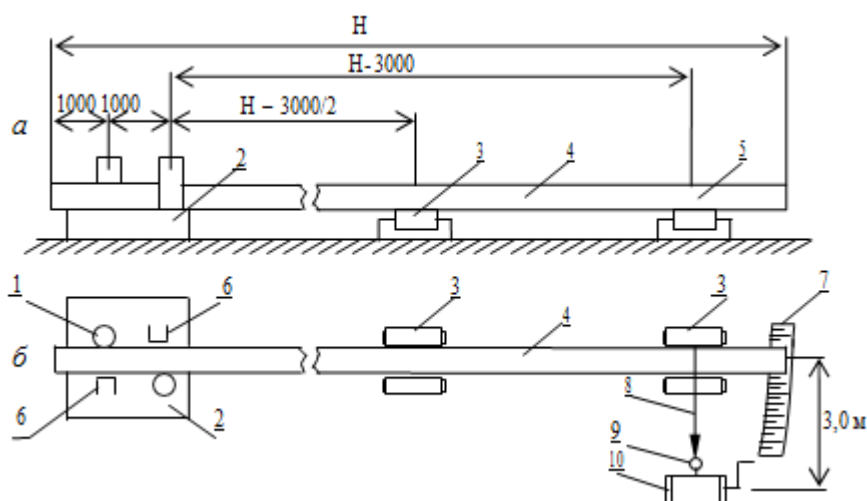
h - расстояние от места приложения нагрузки до точки опирания стойки, м;
 $h = H = 2000$ мм.

Схема опирания и загрузки стоек при испытаниях на прочность, жесткость и трещиностойкость приведена на рисунке 16.1.

Нагружение стоек производят ступенчато – возрастающими нагрузками. Нагрузка первой ступени равна 25 % от расчетной. На каждой ступени обеспечивается выдержка не менее 10 мин, а при контрольных нагрузках – не менее 30 мин.

Считается, что стойки удовлетворяют требованиям по прочности, если фактически разрушающая нагрузка составляет не менее 95 % от контрольной разрушающей нагрузки.

Жесткость стоек оценивается по их фактическому прогибу под контрольной нагрузкой после 30 мин ее приложения. Максимальный фактический прогиб не должен превышать контрольный более чем на 15 %.



а – вид сбоку; б – вид сверху; 1 – упор; 2 – бетонная площадка; 3 – подвижная опора; 4 – испытываемая стойка; 5 – место приложения нагрузки; 6 – фиксатор; 7 – рейка с делениями; 8 – трос; 9 – динамометр; 10 – лебедка; Н – высота опоры (22 000 или 26 000 мм)

Рисунок 16.1 – Схема испытания железобетонной стойки на прочность, жесткость и трещиностойкость

Контрольное значение ширины раскрытия трещин при действии контрольной нагрузки не должно превышать 0,1 мм при продольной арматуре с пределом текучести 1000 Н/мм² и 0,15 мм – при продольной арматуре с пределом текучести 800 Н/мм².

Стойки считаются выдержавшими испытания, если при действии прикладываемой нагрузки максимальная ширина трещин не превышает контрольную более, чем на 15 %, т. е. 0,115 и 0,17 мм – соответственно для стоек с пределом текучести арматуры 1000 и 800 Н/мм².

Программа испытаний железобетонной стойки оформляется в виде таблицы 16.1.

Таблица 16.1 – Программа испытаний железобетонной стойки на прочность, жесткость и трещиностойкость

Ступени нагрузки	Значения нагрузки, даН, при испытаниях на			Выдержка времени, мин
	б	прочност	жесткость	
25		+		10
50		+		10
75		+		10
$P_{\text{КОНТР}} = M/h$		+		30
95		+		30
100		+	+	30
110		+		

Здесь + - заполняются значения нагрузок, равные $\frac{a_1\%}{100} P_{\text{КОНТР}}$;

a_1 - ступень нагрузки;

$P_{\text{КОНТР}}$ - по выражению (16.1) при $k_{\text{БЕЗ}} = 1,3 - 1,4$; $h = H - 2м$.

Трещины измеряют после выдержки контрольной нагрузкой, равной $P_{\text{КОНТР}} = M/h$ в течение 30 мин на приопорном участке, т. е. в пределах площадки 2 (рисунок 16.1), а ширину раскрытия трещин определяют как среднее значение на длине стойки, равной 1 м.

Контрольное значение прогиба f стойки опоры при приложении к ее вершине нагрузки $P_{\text{КОНТР}}$ может быть также определено по выражению [3, с. 306]

$$f = \frac{P_{\text{КОНТР}} h^3}{3B_1}, \quad (16.2)$$

где B_1 - жесткость стойки опоры:

$$B_1 = 0,85E_B J_{\text{ПРИВ}}^{\text{ПОЛ}}, \text{ Н}\cdot\text{мм}^2, \quad (16.3)$$

где E_B - модуль упругости бетона, равен $40 \cdot 10^3$ Н/мм²;

$J_{\text{ПРИВ}}^{\text{ПОЛ}}$ - приведенный полярный момент инерции площади сечения, найденный с учетом влияния продольной арматуры, мм⁴:

$$J_{\text{ПРИВ}}^{\text{ПОЛ}} = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4) + \left(\frac{E_{\text{НАПР}}}{0,81E_B} - 1 \right) F_{\text{НАПР}} r_{\text{НАПР}}^2, \text{ мм}^4, \quad (16.4)$$

где $E_{\text{НАПР}}$ - модуль упругости напрягаемой арматуры; равен $200 \cdot 10^3$ Н/мм²;

$F_{\text{НАПР}}$ - площадь поперечного сечения напрягаемой арматуры, мм²; принять диаметр канатов 15 мм и их количество, равное 6;

$r_{\text{НАПР}}$ - радиус заложения напрягаемых стержней в сечении стойки опоры; равен 303 мм.

Стойки считаются выдержавшими испытания: а) по прочности, если значение нагрузки было не менее $0,95P_{\text{КОНТР}}$; б) по жесткости, если значение прогиба не превышало расчетное более чем на 15 %; в) по трещиностойкости, если ширина раскрытия трещин на участке 1 м не превысила 15 % нормативной.

Пример

Возьмем СК-26 с изгибающим моментом $M=46670$ даН·м, $D_2 = 650$ мм, $D_1 = 500$ мм, $r_{\text{НАПР}} = 303$ мм.

Таблица 16.2 – Программа испытаний железобетонной стойки на прочность, жесткость и трещиностойкость

Ступени нагрузки	Значения нагрузки, даН, при испытаниях на			Выдерж ка времени, мин
	прочность	жесткость	трещиностойкость	
25(2528·0,25=623)	+			10
50(1264)	+			10
75(1896)	+			10
$P_{\text{КОНТР}} = M/h=1944,6$	+		+	30
95(2401,6)	+	+	+	30
100(2528)	+	+		30
110(2780,7)	+			

$$P_{\text{КОНТР}} = \frac{Mk_{\text{БЕЗ}}}{h} = \frac{46670 \cdot 1,3}{26 - 2} = 2528 \text{ даН.}$$

$$B_1 = 0,85E_{\text{Б}}J_{\text{ПРИВ}}^{\text{ПОЛ}} = 0,85 \cdot 40000 \cdot 6194845927,9 = 210 \cdot 10^{12} \text{ Н} \cdot \text{мм}^2,$$

$$\begin{aligned} J_{\text{ПРИВ}}^{\text{ПОЛ}} &= \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_1^4) + \left(\frac{E_{\text{НАПР}}}{0,81E_{\text{Б}}} - 1 \right) F_{\text{НАПР}} r_{\text{НАПР}}^2 \\ &= \frac{3,14}{64} (650^4 - 500^4) + \left(\frac{200000}{0,81 \cdot 40000} - 1 \right) \frac{\pi \cdot 15^2}{4} \cdot 6 \cdot 303^2 \\ &= 6194845927,9 \text{ мм}^4, \end{aligned}$$

$$f(95) = \frac{P_{\text{КОНТР}} h^3}{3B_1} = \frac{2401,6 \cdot 24000^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^{12}} = 52,6 \text{ мм},$$

$$f(100) = \frac{P_{\text{КОНТР}} h^3}{3B_1} = \frac{2528 \cdot 24000^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^{12}} = 55,3 \text{ мм}.$$

При $R=1000 \text{ Н/мм}^2 \rightarrow h=0,115 \text{ мм}$

Вспомогательный раздел

1 Составление карты развозки барабанов с проводом

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba1.exe.
- 3) В данной программе необходимо в окне слева выбрать номер варианта.
- 4) Далее нажать кнопку «Расчет» внизу окна программы. Перед вами появятся расчеты количества опор, количества барабанов с проводом и тросом, а также карта развозки барабанов на трассу линии (рисунок 1).

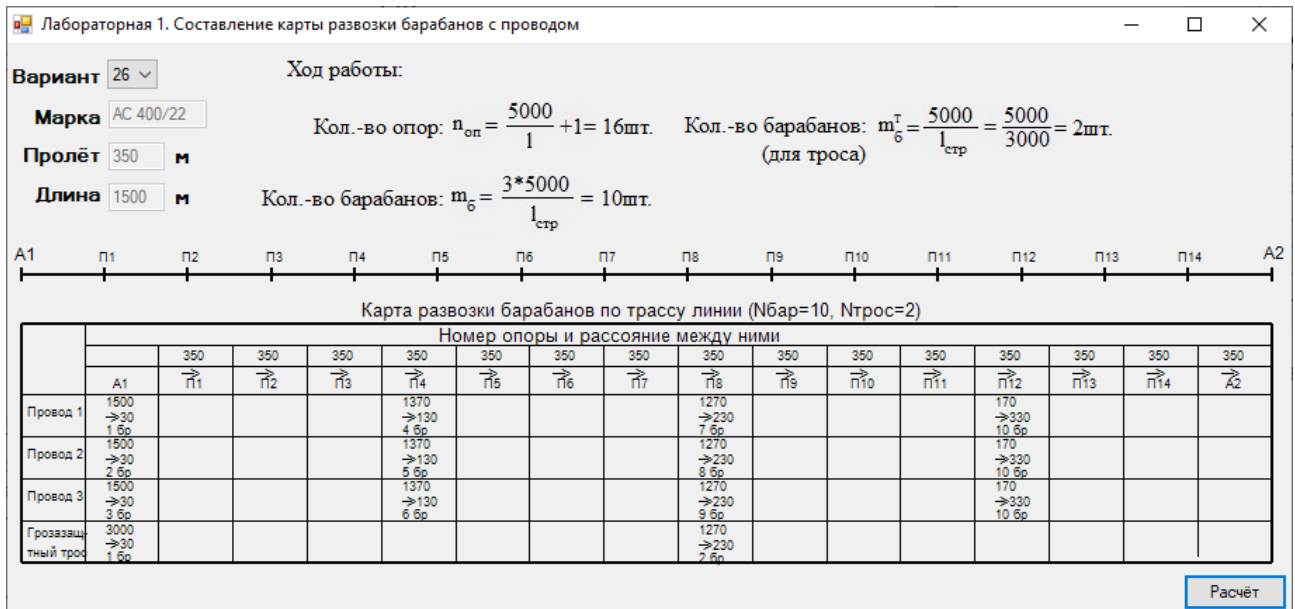


Рисунок 1 – Пример реализации на персональном компьютере

2 Разбивка котлованов для установки одностоечных и двухстоечных железобетонных и металлических промежуточных и анкерно-угловых опор

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba2.exe.
- 3) В данной программе необходимо в окне слева выбрать номер варианта, а также вид опоры.

4) Далее нажать кнопку «Показать» внизу окна программы. Перед вами появится схема разбивки котлована для выбранного вида опоры.

5) Изменяя вид опоры и нажимая кнопку «Показать», изменяется схема разбивки котлована (рисунок 2– 6).

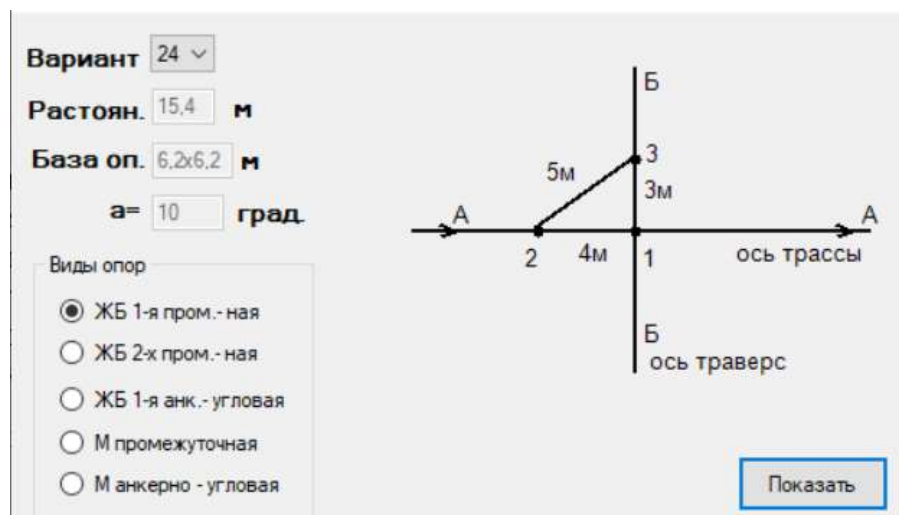


Рисунок 2 – Пример реализации на персональном компьютере

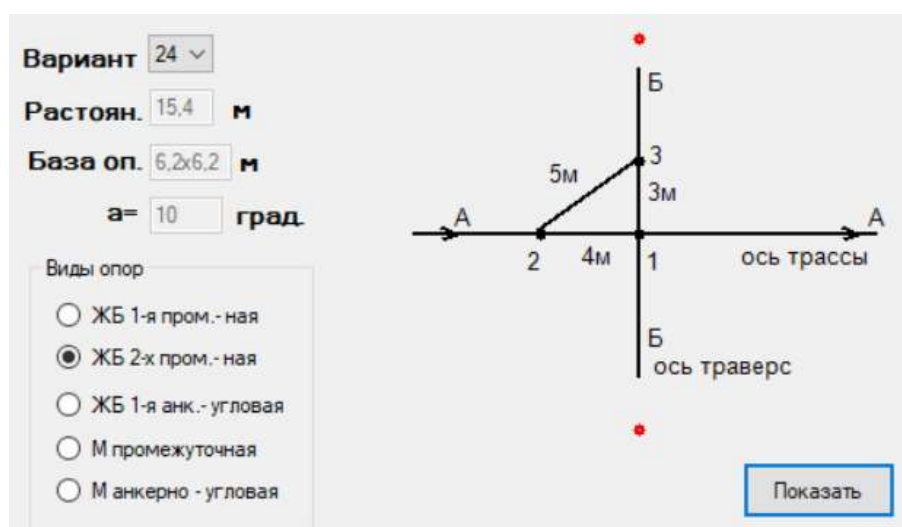


Рисунок 3 – Пример реализации на персональном компьютере

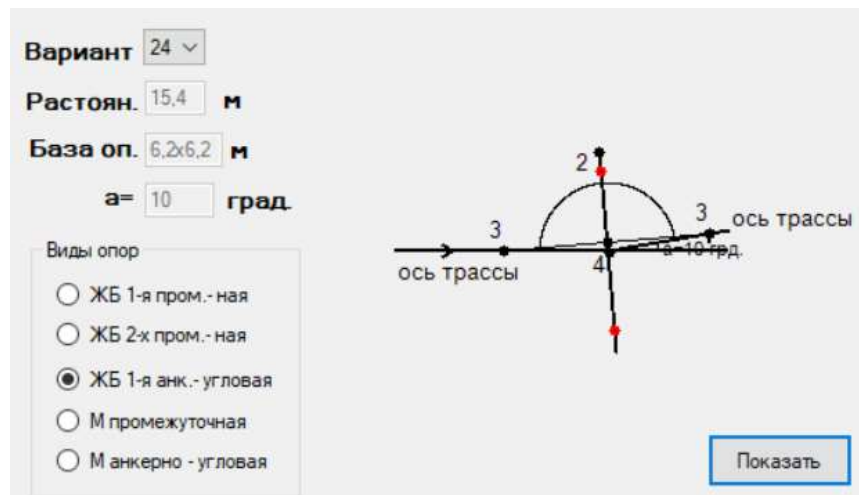


Рисунок 4 – Пример реализации на персональном компьютере

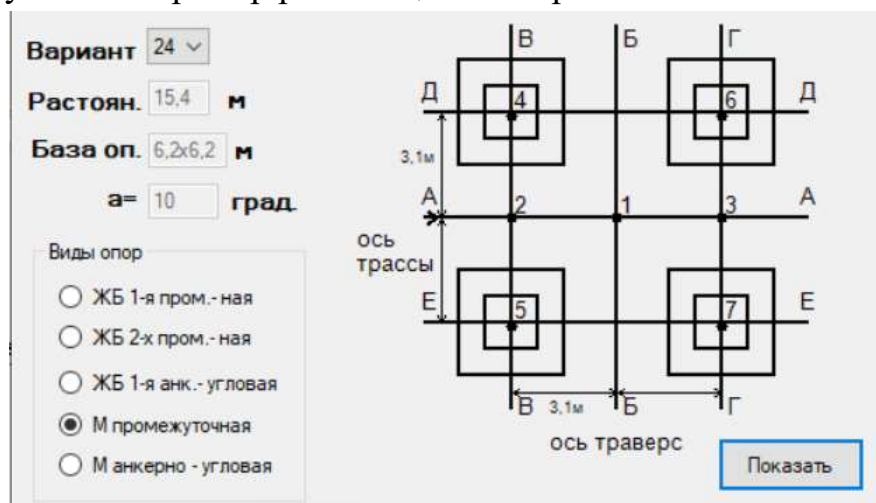


Рисунок 5 – Пример реализации на персональном компьютере

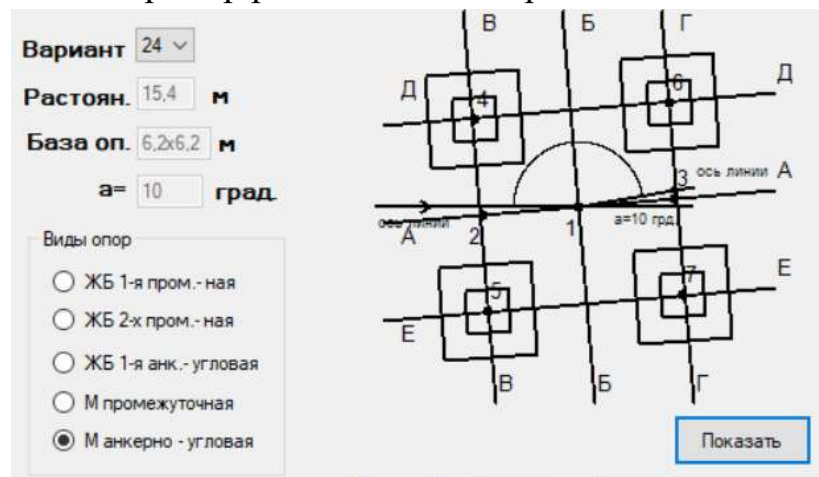


Рисунок 6 – Пример реализации на персональном компьютере

3 Определение усилий, возникающих в такелажных приспособлениях, при подъеме опоры с помощью падающей стрелы

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba3.exe.
- 3) В данной программе необходимо в окне слева выбрать номер варианта.
- 4) Далее нажать кнопку «Показать» внизу окна программы. Перед вами появятся расчеты такелажных усилий, а также усилия на такелажные приспособления и падающую стрелу в начальный момент подъема и при выходе падающей стрелы из работы в графическом виде для трех вариантов: расположение падающей стрелы 4 метра до шарниров, у шарниров и 4 метра за шарнирами (рисунок 3.3).

5) В нижней части программы максимальные значения такелажных усилий (D, T, S, H) умножены на коэффициент динамичности при подъеме опоры тяговым механизмом, т. е. на максимально возможный коэффициент для получения максимального усилия для каждого из вариантов.

6) Максимальное значение из такелажных усилий умножается на коэффициент безопасности, равный шести. По данному значению из каталога, предложенного преподавателем, выбирается трос для каждого из вариантов.

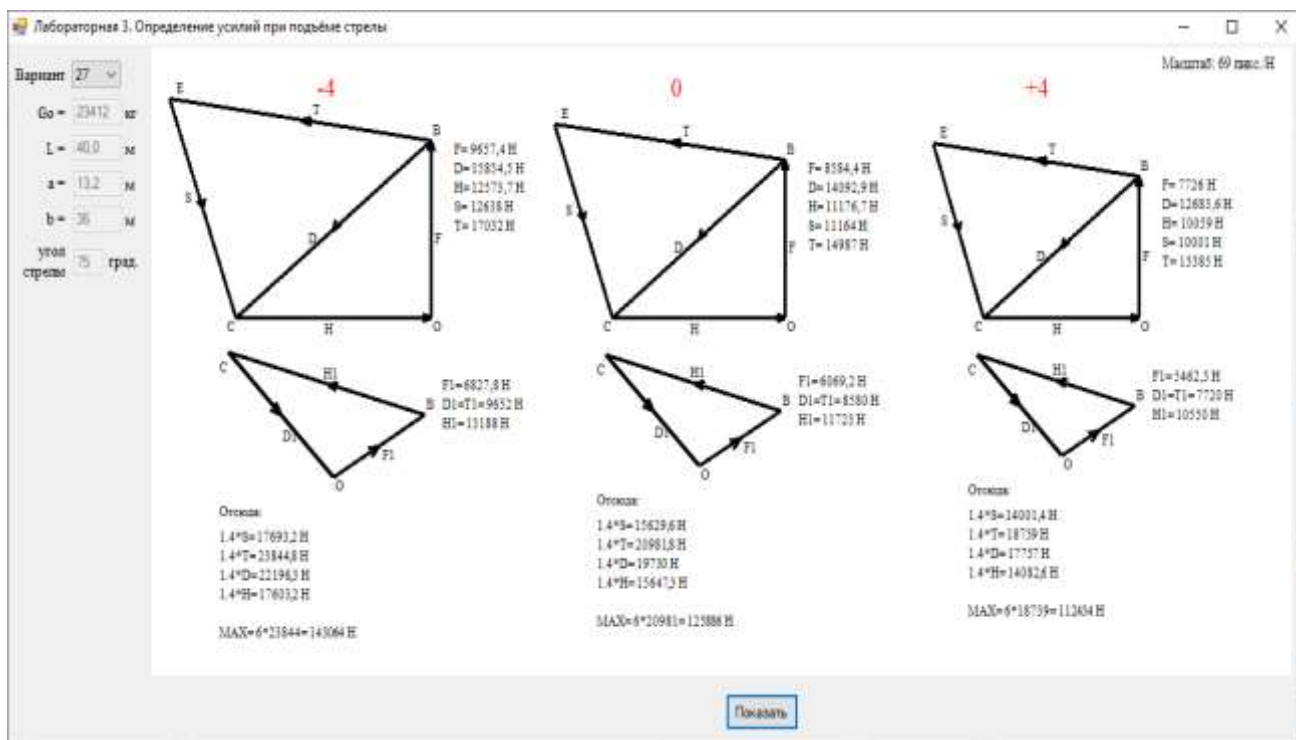


Рисунок 7 – Пример реализации на персональном компьютере

4 Выбор целесообразности способа подъема опор воздушной линии электропередачи

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba4.exe.
- 3) В данной программе необходимо под окном «Таблица экспертных оценок» необходимо указать количество экспертов и нажать кнопку «ОК».
- 4) Далее необходимо заполнить окно «Таблица экспертных оценок» рангами от одного до трех.
- 5) После заполнения таблицы нажать кнопку «Расчет» в нижнем правом углу окна.
- 6) Появятся результаты расчета сумм оценок i -ой цели, рангов целей, суммарное значение рангов, оценка важности i -ой цели. В таблице показаны значения относительной эффективности i -ой цели и рассчитан критерий оптимизации для каждого способа установки опор. Исходя из максимального критерия оптимизации, выбирается наиболее целесообразный способ (рисунок 4.1).
- 7) Меняя столбец единиц в таблице «Технико-экономическое обоснование», меняются лишь соотношения этих значений между друг другом. Таблица «Относительная эффективность i -ой цели» не изменяется.

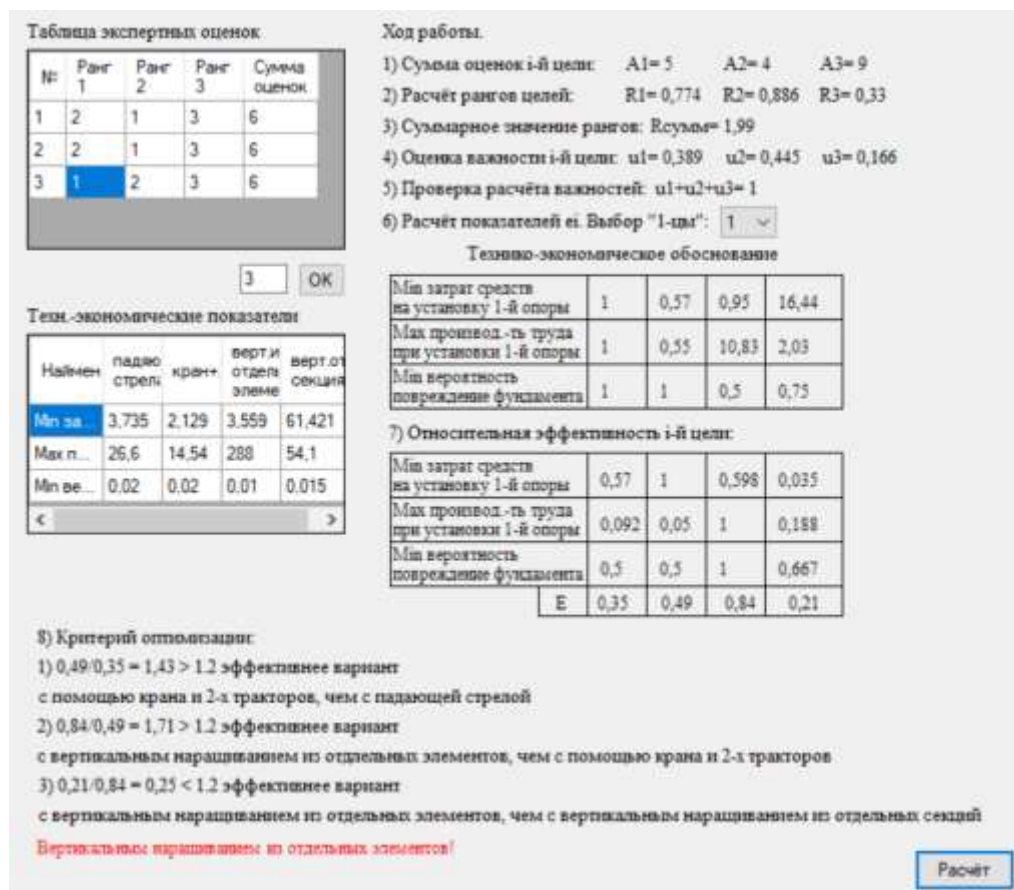


Рисунок 8– Пример реализации на персональном компьютере

5 Выбор целесообразного способа раскатки проводов и грозозащитных тросов

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba5.exe.
- 3) В данной программе необходимо под окном «Таблица экспертных оценок» необходимо указать количество экспертов и нажать кнопку «ОК».
- 4) Далее необходимо заполнить окно «Таблица экспертных оценок» рангами от одного до трех.
- 5) После заполнения таблицы нажать кнопку «Расчет» в нижнем правом углу окна.
- 6) Перед вами появятся результаты расчета сумм оценок i -ой цели, рангов целей, суммарное значение рангов, оценка важности i -ой цели. В таблице «Относительная эффективность i -ой цели» показаны значения относительной эффективности i -ой цели и рассчитан критерий оптимизации для каждого способа установки опор. Исходя из максимального критерия оптимизации,

выбирается наиболее целесообразный способ раскатки проводов и грозозащитных тросов (рисунок 9).

Таблица экспертных оценок

№	Ранг 1	Ранг 2	Ранг 3	Сумма оценок
1	2	1	3	6
2	2	1	3	6
3	1	2	3	6

3 ОК

Техн.-экономические показатели

Наймен	раската- маши-	вертол	под тяжен	с козёл волооче через раскат
Min за...	1	3	1,3	1,1
Max п...	1	1,5	0,95	0,9
Min ве...	1	0,8	0,8	1,2

Ход работы.

- Сумма оценок i -й цели: $A_1=5$ $A_2=4$ $A_3=9$
- Расчёт рангов целей: $R_1=0,774$ $R_2=0,886$ $R_3=0,33$
- Суммарное значение рангов: $R_{сумм}=1,99$
- Оценка важности i -й цели: $u_1=0,39$ $u_2=0,45$ $u_3=0,17$
- Проверка расчёта важностей: $u_1+u_2+u_3=1$
- Относительная эффективность i -й цели:

Min затрат средств на установку млн.руб.	1	0,333	0,769	0,909
Max производ.-ть труда при установке чел.-ч/оп.	0,667	1	0,633	0,6

- Критерий оптимизации:
 - $0,74/0,82 = 0,9 < 1,2$ эффективнее вариант с помощью раскаточных машин, чем с помощью вертолёт

Расчёт

Рисунок 9 – Пример реализации на персональном компьютере

6 Определение усилий, действующих на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов

Порядок выполнения работы

- Ознакомиться с методическими указаниями.
- Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл `laba6.exe`.
- В данной программе необходимо выбрать номинальное напряжение, а также площадь поперечного сечения провода. Затем нажать кнопку «Расчет».
- В окне появляется расчет вертикальных и горизонтальных усилий, действующих на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов (рисунок 10).

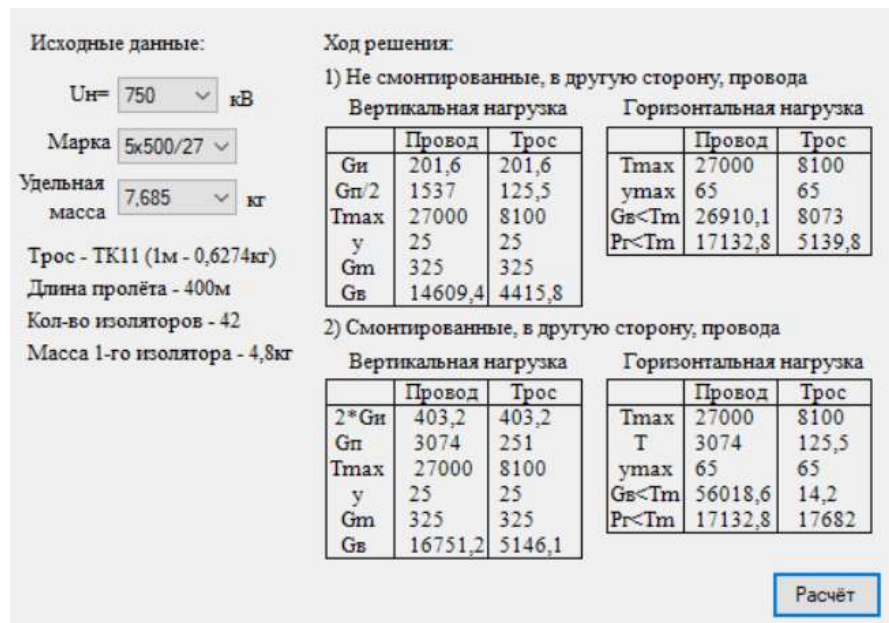


Рисунок 10– Пример реализации на персональном компьютере

7 Определение усилий в проводах и тросах при опускании их с опор

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba7.exe.
- 3) В появившемся окне слева выбрать номинальное напряжение, марку провода и количество пролетов и нажать кнопку «Расчет» в правом нижнем углу окна.
- 4) В отобразившемся окне появится таблица со следующими данными: γ , β , σ_1 ; $\sigma_{вр}$ и σ_1 (рисунок 11).

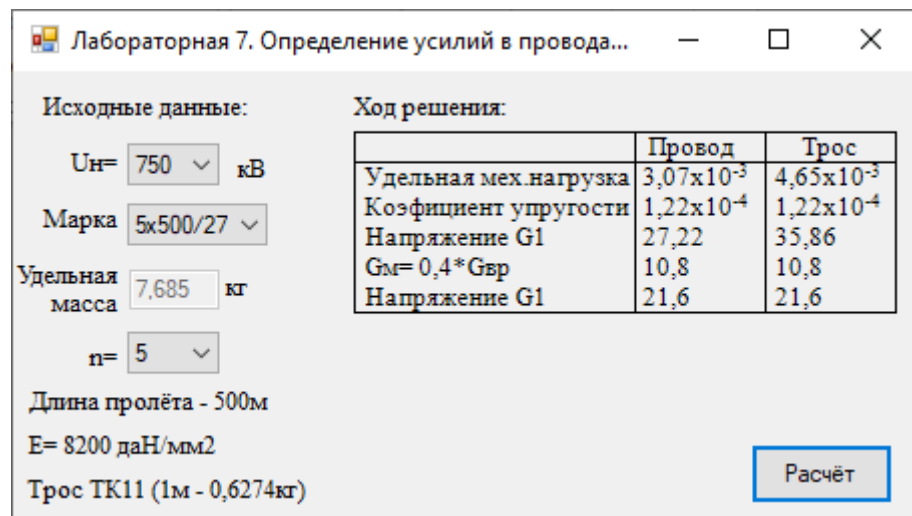


Рисунок 11 – Пример реализации на персональном компьютере

8 Определение усилий тяжения за оболочку и жилы кабеля при их раскатке

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba8.exe.
- 3) В появившемся окне в таблице «Исходные данные» выбрать сечение кабеля, толщину алюминиевой оболочки, длину кабеля на барабане и массу одного метра кабеля.
- 4) Следует выбрать материал жилы, указать количество кабелей, коэффициент трения, толщину алюминиевой оболочки, радиус кабеля, угол поворота трубопровода и нажать кнопку «Расчет».
- 5) В появившемся окне появляются соотношения получившихся результатов с требуемыми. Изменяя различные начальные данные, следует добиться удовлетворительных результатов (рисунок 12).

Исходные данные:

Гкаб=	150	мм ²
Толщина оболочки	1,7	мм
Лкаб=	450	м
Масса 1м	2,8	кг/м

Ход решения:

1) Тяжения при кабельном чулке.
Диаметр жилы кабеля: $d_{ж} = 13,82 \text{ мм}$
Толщина фазной изоляции: 2,75 мм
Коэффициент $k_1 = 1$
Толщина поясной изоляции: 1,25 мм
Толщина ал. оболочки кабеля: 2 мм
Площадь сечения под оболочкой: $F_{каб} = 373,86 \text{ мм}^2$
Площадь ал. сечения оболочки: $F_{об} = 149,61 \text{ мм}^2$
Допустимое напряжение на ал. оболочку: 16 даН/мм²
Напряжение на оболочку: 2,39кН < 25кН

2) Тяжения за жилы.

Материал жилы: алюм

Допустимое напряжение: 3,75 даН/мм²

Количество жил в кабеле: 1

Количество кабелей: 1

Допустимое тяжение: 562,5 даН/мм²

2.1) Тяжения на прямых участках.

Коэффициент трения: 0,7

Натяжение: 882 > 562,5 даН/мм²

При трогании с места: 1378,12 > 562,5 даН/мм²

2.2) Тяжения при работе в трубопроводе.

Тяжения: 970,2 > 562,5 даН/мм²

Тяжения М проводов: 1732,5 > 562,5 даН/мм²

2.3) Тяжения при работе на гору.

T1= пр. участок

Угол $\alpha = 20 \text{ град}$

Тяжения: 2141,6 > 562,5 даН/мм²

2.3) Тяжения при работе вниз.

Тяжения: 1280,13 > 562,5 даН/мм²

2.4) Тяжения при повороте

Радиус: R= 20

Угол: 0,35 радиан

Тяжения: 1790,61 > 562,5 даН/мм²

Приращение усилий: 260,41

3) Предельная длина провода.

Лкаб= 6250 м

Расчёт

Рисунок 12 – Пример реализации на персональном компьютере

9 Построение монтажных кривых для визируемых пролетов

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.

2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba9.exe.

3) В появившемся окне в таблице «Исходные данные» выбрать длину визируемого пролета и площадь поперечного сечения провода и нажать кнопку «Расчет».

4) В появившемся окне появляется расчет для построения монтажных кривых для визируемых пролетов, а также сам график монтажных кривых для визируемых пролетов (рисунок 13).

Исходные данные:

$L_{\text{прол}} = 450$ м
 $F = 330$ мм²
 масса = 1,15 кг/м
 Диаметр: 25,1 мм

Расчёт

Ход работы:

- 1) Расчёт удельной наибольшей механической нагрузки от действия собственного веса провода, гололеда, ветра.
 $y_1 = 3,48 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
- 2) Расчёт удельной нагрузки от действия гололёда.
 Толщина стенки гололёда: $b = 20$ мм
 $y_2 = 7,74 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
- 3) Расчёт суммарной удельной нагрузки.
 $y_3 = 11,22 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
- 4) Расчёт удельной нагрузки y_4 .
 Коэффициент $a_1 = 0,7$
 Коэффициент $q = 40$
 Коэффициент $k_1 = 1$
 Коэффициент $s_x = 1,2$
 $y_4 = 2,56 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
 $y_{41} = 22,82 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
- 5) Расчёт давления ветра на провода, покрытые голол.-м.
 $y_5 = 2,37 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
- 6) Расчёт удельной нагрузки $y_{61} = 0,023$ даН/м*мм²
- 7) Расчёт удельной нагрузки $y_7 = 0,011$ даН/м*мм²
- 8) Расчёт всех критических пролётов.
 Модуль упругости $E = 8200$ даН/мм²
 Коэф.-т упругости: $1,22 \times 10^4$ даН/мм²
 Допустимое напряжение в материале провода:
 - при max нагрузках: 10,8 даН/мм²
 - при средн. годовых нагрузках: 8,1 даН/мм²
 - при min температуры: 10,8 даН/мм²
 Среднегодовая температура: 5 даН/мм²
 Минимальная температура: -40 даН/мм²
 Темп.-ый коэфф.-т линейного удлинения: $19 \times 10^{-6} / \text{C}$
 $L_{1\text{кр}} = 394,73$ м
 $L_{2\text{кр}} = 124,89$ м
 $L_{3\text{кр}} = 59,56$ м
- 8) Выбор расчётных "m" условий.
 Напряжение: 10,8 даН/мм²
 Удельная нагрузка: $11,47 \times 10^{-3}$ даН/м*мм²
 Температура: -5 C
- 9) Постройка монтажных кривых.

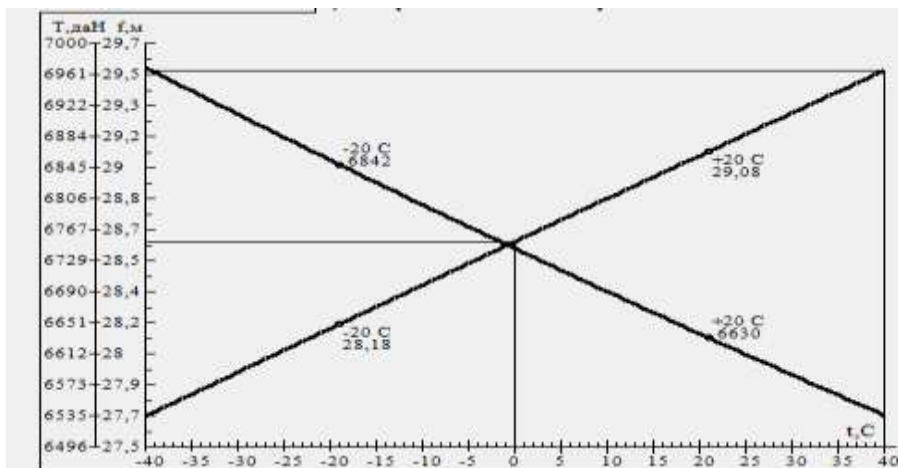


Рисунок 13 – Пример реализации на персональном компьютере

10 Расчет переходов через инженерные сооружения и водные преграды

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba10.exe.
- 3) В появившемся окне следует выбрать номинальное напряжение и нажать кнопку «Расчет».
- 4) В окне предлагается выбрать расположение опор и, если она неодинаковая, указать разницу высот опор. Следует снова нажать кнопку «Расчет».
- 5) В окне появляются таблицы с соотношениями расчетных величин с допустимыми. При несоблюдении условий следует сделать вывод о том, что для соблюдения допустимых требований необходимо увеличить высоту подвеса провода на n метров (рисунок 14).

Исходные данные:

U_н= 750 кВ

L_{прол}= 450 м

F= 5х300 мм²

G_о= 5,5 кг/м

h_{под}= 38 м

Ход решения:

1) Высота пересекаемых сооружений (hc).

ВЛ 0,38кВ -	7,5 м	Линия связи - 7м
ВЛ 10кВ -	9 м	Автом.дороги - 2м
ВЛ 35кВ -	18м	ЖД - 2м
ВЛ 110кВ -	19 м	Судоходные реки - 2м
ВЛ 220кВ -	20 м	Троллейб. линия - 7м
ВЛ 330кВ -	26,5 м	Трамвайная линия - 6м
ВЛ 750кВ -	38 м	Подземный трубопровод - 3м
		Канатная дорога - 6м

Расчет

2) Расчёт для нормального режима.

Толщина стенки гололёда: b= 15мм

Расстояние до опоры: x= 8 м

Распол. опор одинаковая

Разность высот 2 м

Мах напряжение в проводе: 10,8 даН/мм²

Удельная мех.-я нагрузка от собств.-го веса:
y1= 3,67х10⁻³даН/м*мм²

Диаметр провода: d= 43,71мм

Удельная нагрузка от действия гололёда:
y2= 1,66х10⁻³даН/м*мм²

Суммарная удельная нагрузка:
y3= 5,33х10⁻³даН/м*мм²

Удельная мех. нагрузка для мах. провеса:
y= 0,87 м

3) Расчёт для аварийного режима.

Мах напряжение в проводе: 3,2 даН/мм²

Удельная мех. нагрузка для мах. провеса:
y= 2,03 м

	h	hдоп
ВЛ 0,38кВ	29,63	> 5,5
ВЛ 10кВ	28,13	> 5,5
ВЛ 35кВ	19,13	> 5,5
ВЛ 110кВ	18,13	> 5,5
ВЛ 220кВ	17,13	> 5,5
ВЛ 330кВ	10,63	> 5,5
ВЛ 750кВ		
Линия связи	30,13	> 5
Авт. дороги	35,13	> 8,5
ЖД	35,13	> 9
Судох. реки	35,13	> 7,5
Тролл. линия	30,13	> 13
Трамв. линия	31,13	> 11,5
Под. трубопровод	34,13	> 6
Канатная дорога	31,13	> 6

	h	hдоп
ВЛ 0,38кВ	28,47	> 5,5
ВЛ 10кВ	26,97	> 5,5
ВЛ 35кВ	17,97	> 5,5
ВЛ 110кВ	16,97	> 5,5
ВЛ 220кВ	15,97	> 5,5
ВЛ 330кВ	9,47	> 5,5
ВЛ 750кВ		
Линия связи	28,97	> 2,5
Авт. дороги	33,97	> 6
ЖД	33,97	> 7
Судох. реки	33,97	> 4,5
Тролл. линия	28,97	> 2,5
Трамв. линия	29,97	> 2,5
Под. трубопровод	32,97	> 4
Канатная дорога	29,97	> 4

Рисунок 14 – Пример реализации на персональном компьютере

11 Проектирование заземляющих устройств опор воздушных линий электропередачи

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл lab11.exe.
- 3) В открывшемся окне следует указать исходные данные: эквивалентное удельное сопротивление грунта, длину вертикального электрода, внешний диаметр электрода, ширину полки уголка, длину луча горизонтального заземлителя, число лучей, расстояние между вертикальными электродами в сетке, длину стороны квадратной сетки заземлителя, суммарную длину горизонтальных лучей сетки, выбрать вид электрода, указать расстояние от поверхности до заземлителя, коэффициенты использования, глубину заложения заземлителя и нажать кнопку «Расчет».
- 4) По результатам расчета будет определено сопротивление вертикальных электродов и горизонтальных лучей, количество требуемых вертикальных электродов для сооружения заземляющего устройства опоры воздушной линии электропередачи, значение тока однофазного короткого замыкания, при котором обеспечивается допустимое напряжение прикосновения (рисунок 15).

Лабораторная 11. Проектирование заземляющих устройств опор воздушных

Исходные данные:	Ход работы:
<p>$\rho_z = 2800$ Ом*м</p> <p>$L_v = 20$ м</p> <p>$d_{в} = 20$ мм</p> <p>$b = 20$ мм</p> <p>$L_{л} = 20$ мм</p> <p>$n_{л} = 4$</p> <p>$R_{доп} = 30$ Ом</p> <p>$a = 5$ Lв</p> <p>$\sqrt{F} = 20$ м</p> <p>$L_c = 4$ \sqrt{F}</p> <p><input type="button" value="Расчёт"/></p>	<p>1) Сопротивление вертикального заземлителя.</p> <p>Вид электрода: трубчатый Расчёт <input type="radio"/> точн. <input checked="" type="radio"/> пригл.</p> <p>Внешний диаметр электрода: 20м</p> <p>Расстояние от поверхности до заземлителя: 0,7 м</p> <p>Глубина заложения $h_v = 10,7$м</p> <p>Сопротивление $R_v = 140$Ом</p> <p>Коэффициент использования - 0,72</p> <p>При параллельном соединении R_v пучк= 48,6Ом</p> <p>Сопротивление электрода в скважине: R_v скв = 30,8Ом</p> <p>2) Сопротивление горизонтального заземлителя.</p> <p>Глубина заложения заземлителя $h_z = 0,75$ м</p> <p>Из крупного проводника $R_{л} = 73,1$Ом</p> <p>Из полосатой стали $R_{л} = 280$Ом</p> <p>Коэффициент использования - 0,7</p> <p>Расходящиеся под углами - 26,1Ом</p> <p>3) Сопротивление системы "горизонтальный луч - вертикальный электрод": $R_{л-в} = 68,6$Ом</p> <p>Уточнение количества заземлителей: 200</p> <p>4) Сопротивление сложных заземлителей.</p> <p>Коэффициент a прик = 0,03</p> <p>Коэффициент $\beta_{згта} = 0,19$</p> <p>Сопротивление прикосновения: $U_{прик} = 0,39$В</p> <p>Ток прикосновения $I_z = 157,7$А</p>

Рисунок 15 – Пример реализации на персональном компьютере

12 Оценка площади отчуждаемой территории для размещения опор воздушной линии электропередачи

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba12.exe.
- 3) В открывшемся окне следует указать исходные данные: диаметр на уровне земли железобетонных опор; расстояния OC и OD у железобетонных опор с оттяжками; расстояние между стойками железобетонных П-образных опор; номинальное напряжение и ширину базы металлических опор; расстояния OC и OD у металлических опор с оттяжками.
- 4) Выбрав нужные параметры, программа автоматически перестраивает все графики, а также рассчитывает площади отчуждаемых территорий (рисунок 16).

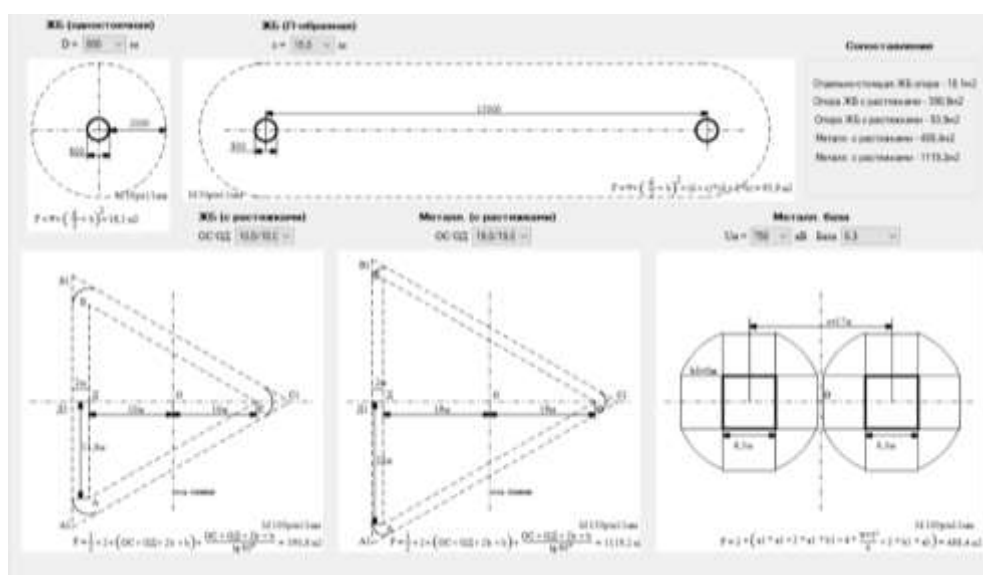


Рисунок 16 – Пример реализации на персональном компьютере

13 Эффективность замены проводов на воздушных линиях электропередачи

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba13.exe.
- 3) В открывшемся окне в исходных данных необходимо выбрать номинальное напряжение, сечения проводов, а также допустимую потерю напряжения по линиям и нажать кнопку «Расчет».
- 4) В результате расчета программы определяется увеличение пропускной способности линии электропередачи напряжением 10 или 35 кВ при замене сталеалюминиевых проводов на сталеалюминиевые провода при ограничениях по длительно допустимому току по нагреву и допустимой потере напряжения (рисунок 17).

Лабораторная 13. Эффективность замены проводов на воздушных линиях

Исходные данные:

Un = 35 кВ

F = 35 мм² F1 = 150 мм²

Id = 175 Ом 450 Ом

R0 = 0.91 Ом 0.21 Ом

X0 = 0.417 Ом 0.372 Ом

cos fi = 0.9

dU = 3 %

Ход работы:

1) Увеличение пропускной способности по нагреву.
Пропускная способность P = 9,5МВт
Потери в линии dP = 27,9кВт/км
Увеличение пропускной способности: 15МВт
Проверка 2-го слагаемого: Id(450) > 362,3А

2) Увеличение пропускной способности по потери напряжения.
Пропускная способность: P = 25,7МВт
Потери в линии dP = 27,9кВт/км
Отношение P1/P = a = 3,5 > 1
Увеличение пропускной способности: 63,1МВт
Проверка 2-го слагаемого: Id(450) > 362,3А

Расчёт

Рисунок 17 – Пример реализации на персональном компьютере

14 Определение наведенного напряжения на проводах отключенных воздушных линий электропередачи, находящихся вблизи других действующих линий

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.

2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba14.exe.

3) В открывшемся окне нажать на кнопку « $j = \pm$ » и выбрать номинальное напряжение; зону влияния других действующих линий; расстояние от отключенного провода до крайнего провода действующей линии. Затем нажать кнопку «Изменить» и «Добавить» и закрыть данное окно.

4) В оставшемся окне выбрать сопротивление заземлителей, соотношение L_{CB} от L , удельную наведенную ЭДС и нажать кнопку «Расчет».

5) В результате расчета определяются наведенные напряжения, а также построятся графики (рисунок 18).

Исходные данные:

$j = \text{+/-}$

$U_n = 110$

$L_{cb} = 10$

Лотк.-кр. 20

Лкр.-ср. 2,1

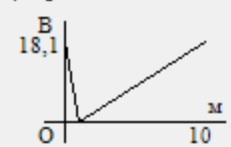
Лср.-кр. 4,2

Инаг 240

Удоп = 25В

Расчёт

7) При заземлении в месте работ



8) При падении на землю провода.

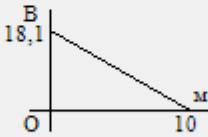
$U_1 = 3,6В$

$U_2 = 32,6В$

Ход работы:

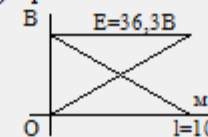
1) Расчёт наведённой ЭДС, на отключённом проводе.
 Глубина прохождения тока $D_3=1000м$
 Расчёт ЭДС на проводе ВЛ: $E= 1717,2 В$
 При симметричной нагрузке:
 Модуль ЭДС: $E= 3,6 В/км$
 Полная ЭДС, наведённая на всей длине: $E= 36,3 В$

2) Расчёт потенциала при условии изолированного провода.



3) Расчёт потенциала при условии заземления через $R=0 Ом$
 $ЭДС = 0 В$.

4) При заземлении одного конца и разомкнутости другого.



5) Расчёт потенциала при условии заз.-я оба концов линии.

$R_1 = 0,5 Ом$ $R_0 = 0,2 Ом/км$

$R_2 = 4 Ом$ $X_0 = 0,4 Ом/км$

Ток в линии: $I = 1,6 А$

Падение напряжения: $U_1 = 0,8 В$

Падение напряжения: $U_2 = 6,4 В$

6) При условии заземления в 3-х точках.

$R_3 = 50 Ом$ $L = 0,1 L_{cb}$

$l_1 = 1м, E_1 = 3,6 В$

$l_2 = 9м, E_2 = 32,6 В$

$x_0 = 1,1$

Удельная наведённая ЭДС $E = 33 В/км$

Время РЗиА $0,1 с$

Потенциал откл.-го провода: $U_{mp} = 132 < 500В$

Рисунок 18 – Пример реализации на персональном компьютере

15 Оценка значения длительно допустимого тока нагрузки для силовых электрических кабелей, проложенных в земле, воздухе, туннелях, воде, блоках

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл laba15.exe.
- 3) В открывшемся окне в таблице «Исходные данные» выбрать материал жилы; площадь поперечного сечения кабеля; материал изоляции; тип защитного покрова; тип оболочки, площадь поперечного сечения экрана; удельное сопротивление грунта; удельное сопротивление изоляции; удельное термическое сопротивление покровов; толщину оболочки; толщину подушки; толщину стальной брони; толщину наружного покрова; коэффициент излучения; термическое сопротивление бетона; толщину экрана; расстояние между осями; средний радиус экрана и нажать кнопку «Расчет».
- 4) В результате расчета в таблицу для трехжильных и одножильных силовых электрических кабелей сведены длительно допустимое значение тока нагрузки при их прокладке в земле, воздухе, туннелях, воде, блоках (рисунок 19).

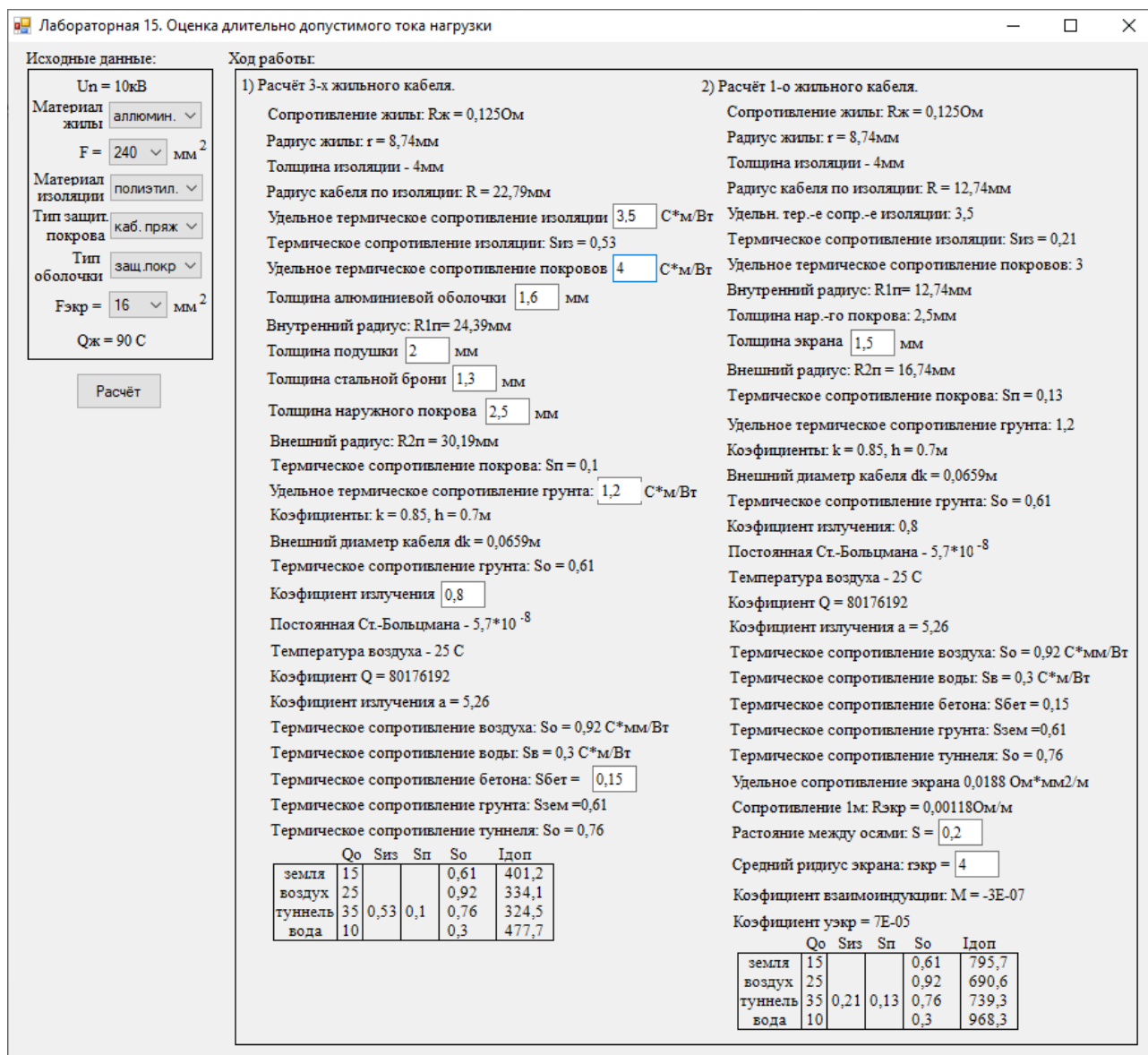


Рисунок 19 – Пример реализации на персональном компьютере

16 Составление программы испытаний железобетонной стойки опоры на прочность и трещиностойкость

Порядок выполнения работы

- 1) Ознакомиться с методическими указаниями.
- 2) Открыть папку, в которой содержится программа, и запустить исполнительный файл lab16.exe.
- 3) В открывшемся окне в таблице «Исходные данные» выбрать тип стойки; предельный изгибающий момент; предел текучести арматуры; коэффициент безопасности; максимальную ширину трещин; измеренный прогиб и нажать кнопку «Расчет».

4) В результате расчета будет составлена программа испытаний на прочность, жесткость, трещиностойкость конической железобетонной стойки опоры линий электропередачи и сделан вывод о прохождении этих испытаний (рисунок 20).

Исходные данные:

Тип стойки: СК 26
 М = 46670 даН*м
 D1 = 500 мм
 D2 = 650 мм
 Арматура - напрягаемая канатная
 Предел тек. арм. 1000 даН*м
 r напр = 303 мм

Ход работы:

Контрольная разрушающая нагрузка: $R_{контр} = \frac{M \cdot k_{без}}{h} = 2528 \text{ даН}$
 где коэффициент безопасности $k_{без} = 1.3$, (при контрольной $k_{без} = 1$)
 расстояние от места нагрузки до опоры: $h = H - 2 = 26 - 2 = 24 \text{ м}$
 Полученный отдельным путём данные внесём в таблицу:

Ступени нагрузки	прочность	жесткость	трещиностойкость	Время выдержки
632 (25%)	+			10
1264 (50%)	+			10
1896 (75%)	+			10
1944.6 (P=M...)	+		+	30
2401.6 (95%)	+			30
2528 (100%)	+	+		30
2780.8 (110%)	+			

Контрольное значение прогиба: $f = \frac{R_{контр} \cdot h^3}{3 \cdot B1} = 55.3 \text{ мм}$ Измеренный прогиб - 2.7 мм
 где B1 - жесткость стойки опоры: $B1 = 0.85 \cdot E6 \cdot J_{прит} = 210624761547750 \text{ Н} \cdot \text{мм}^2$ Макс. ширина трещин - 0.103 мм

Модуль упругости E6 = 40 000 Н/мм²
 Jприт - приведенный полярный момент
 $J_{прит} = \frac{3,14}{64} (D_2^4 - D_1^4) + \frac{E_{напр}}{0,81 \cdot E6} (1) \cdot F_{напр} \cdot r_{напр}^2 = 6194845927,9 \text{ мм}^4$
 Модуль упругости Eнапр = 200 000 Н/мм²
 Поперечное сечение арматуры: Fнапр = 1059,8 мм²

Вывод работы:
 1) тест на прочность пройден (>95%)
 2) тест на жесткость пройден (<3,3мм)
 3) тест на трещины - ть пройден (<0.115мм)

Анализ

Рисунок 20 – Пример реализации на персональном компьютере

Раздел контроля знаний

1. Для чего составляется карта развозки барабанов с проводом и тросом?
2. Расскажите принцип развозки барабана.
3. Что служит фундаментом для железобетонных и деревянных свободностоящих опор?
4. Как произвести разбивку котлованов для установки одностоечных и двухстоечных железобетонных опор?
5. Как произвести разбивку котлованов для установки анкерно-угловых одностоечных и двухстоечных опор?
6. Как произвести разбивку котлованов для установки фундаментов металлических опор?
7. Назовите способы монтажа железобетонных опор.
8. Назовите способы установки металлических опор.
9. Как монтируется металлическая опора с помощью вертолета?
10. Назовите известные способы раскатки проводов и тросов.
11. Опишите этапы раскатки проводов и тросов.
12. Как определить усилия, возникающие в такелажных приспособлениях, при подъеме опоры с помощью падающей стрелы.
13. Как определить усилия, действующих на анкерные опоры при монтаже проводов и тросов?
14. При каких нагрузках производится испытание железобетонных стоек на прочность, жесткость, трещиностойкость?
15. Как определяется ширина раскрытия трещин в бетоне железобетонных опор?
16. Укажите требования, которые предъявляются к пересечениям воздушных линий электропередачи с инженерными сооружениями и водными преградами.
17. В чем состоит негативное влияние воздушной линии электропередачи на окружающую среду?
18. Как определить площадь отчуждаемой территории для размещения одностоечных и порталных опор?
19. Как определить площадь отчуждаемой территории для размещения опор на оттяжках?
20. Назовите известные Вам кабельные сооружения, предназначенные для размещения в них кабелей.
21. Как определить усилия тяжения за оболочку и жилы кабеля при их раскатке?
22. Опишите строение кабеля.

Список использованной литературы

1. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей : учебное пособие / М. А. Короткевич. – Минск : Вышэйшая школа, 2012. – 511 с.
2. Короткевич, М. А. Проектирование линий электропередачи. Механическая часть : учебное пособие / М. А. Короткевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 572 с.
3. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемосдаточных испытаний : ТКП 339–2011. – Минск : Мин-во энергетики Респ. Беларусь, 2011. – 594 с.
4. Короткевич, М. А. Монтаж электрических сетей : учебное-методическое пособие к практическим занятиям для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» / М. А. Короткевич. – Минск : БНТУ, 2016. – 67 с.