

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

А.Б. Булгаков

# **ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Учебное пособие

Благовещенск  
Издательство АмГУ  
2020

*Рецензент:*

Н.Б. Аксенова - начальник центральной санитарно-промышленной лаборатории Филиала АО «Дальневосточная распределительная сетевая компания» «Амурские электрические сети»

О 92 Охрана окружающей среды в электроэнергетике: учебное пособие / А.Б. Булгаков – Благовещенск : Изд-во АмГУ, 2020. – 89 с.

В учебном пособии рассматриваются факторы, которые характерны для объектов электроэнергетики и оказывают воздействие на окружающую среду, здоровье и жизнедеятельность человека. В приложениях к пособию приведен справочный материал, необходимый для решения практических заданий.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность» при изучении дисциплины «Охрана окружающей среды в электроэнергетике», может быть рекомендовано для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» и подготовке раздела «Безопасность и экологичность» в выпускной квалификационной работе.

***В авторской редакции.***

© Амурский государственный университет, 2020

© Булгаков А.Б

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Законодательство РФ об охране окружающей среды	8
2 Изъятие земель в постоянное (бессрочное) и во временное пользование	12
2.1 Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи	12
2.2 Экологические требования к размещению электрических сетей	14
2.3 Нормы отвода земель для линий электропередачи, включая подстанции	14
2.4 Нормы отвода земель для подстанций	16
2.5 Расчет площади земельных участков изымаемых в постоянное (бессрочное) и во временное пользование	20
3 Акустические шумы	27
3.1 Характеристики источников шума и шума	27
3.2 Нормирование акустических шумов	32
3.3 Шум, создаваемый трансформаторами	33
3.3.1 Расчет шума создаваемого трансформаторами	36
3.3.2 Мероприятия по защите от шума, создаваемого трансформаторами	42
3.4 Шум, создаваемый воздушными линиями электропередачи	44
3.4.1 Расчет шума создаваемого воздушными линиями электропередачи	46
3.4.2 Мероприятия по защите от шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи	53
4 Электромагнитные поля промышленной частоты	55
4.1 Характеристики электромагнитного поля промышленной частоты	55
4.2 Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты	57
4.2.1 Электрическое поле промышленной частоты	57
4.2.2 Магнитное поле промышленной частоты	58
4.2.3 Мероприятия по защите от электрического поля промышленной частоты	60
4.2.4 Мероприятия по защите от магнитного поля промышленной частоты	63
4.2.5 Расчет электрического поля промышленной частоты, создаваемого высоковольтными воздушными линиями электропередач	64
5 Маслоприемники, маслоотводы и маслосборники	68
5.1 Открытые распределительные устройства	68
5.2 Закрытые распределительные устройства и подстанции	71

5.3	Расчет маслоприемника без отвода трансформаторного масла	72
5.4	Расчет маслоприемника с отводом трансформаторного масла	76
5.5	Расчет маслоотвода и маслосборника	79
6	Расчетно-графическая работа	80
6.1	Общие требования	81
6.2	Порядок выполнения расчетно-графической работы	81
	Библиографический список	82
	ПРИЛОЖЕНИЕ А	83
	Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и на территории жилой застройки	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	84
	Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с естественной циркуляцией воздуха и масла (система охлаждения вида М)	
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	85
	Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (система охлаждения вида Д)	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г	86
	Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ и НДЦ)	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д	87
	Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ и НМЦ)	
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е	88
	Форма и содержание расчетно-графической работы	

## ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергетическая отрасль не относится к отраслям экономики, для которых характерны значительные негативные проявления воздействия на окружающую среду. Однако следует отметить следующие факторы воздействия на окружающую среду, здоровье и жизнедеятельность человека, которые характерны для электросетевых объектов:

1) факторы специфического воздействия:

- электрическое поле (для воздушных линий (ВЛ) напряжением 110 кВ и выше);

- магнитное поле;

- акустический шум (для ВЛ напряжением 110 кВ и выше учитывается только в населенной местности);

- радио- и телевизионные помехи;

- опасные и мешающие влияния на линии связи и проводного вещания;

- наличие условий, приводящих к гибели птиц в районах их расселения и на путях их миграции;

- ограничение землепользования;

- нарушение эстетики ландшафта (для природоохраняемых и рекреационных территорий, вблизи памятников истории и культуры);

- загрязнения окружающей среды трансформаторными маслами;

2) факторы общестроительного (неспецифического) воздействия:

- изъятие земель в постоянное (бессрочное) пользование;

- изъятие земель во временное пользование;

- нарушение естественного состояния грунта и рельефа;

- сокращение площадей насаждений (разрубка просек);

- загрязнение поверхностных и грунтовых вод (только при строительстве).

Также следует отметить следующие экологические проблемы:

- образование озона и оксидов азота в зоне коронного разряда (характер-

но для установок высокого и сверхвысокого напряжения);

- химическое загрязнение грунта в местах заложения электродов заземлителя и электрический ток при эксплуатации заземлителей (защитного заземления, рабочего заземления, заземления молниезащиты).

В связи с этим при проектировании, сооружении, обслуживании, ремонте, реконструкции и ликвидации объектов электроэнергетики необходимо руководствоваться следующими документами:

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ);
- СТО 56947007-29.240.55.192-2014 Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ;
- СТО 56947007-29.240.037-2010 Экологическая безопасность электросетевых объектов. Требования при проектировании;
- СТО 56947007-29.240.038-2010 Экологическая безопасность электросетевых объектов. Требования при сооружении;
- СТО 56947007-29.240.039-2010 Экологическая безопасность электросетевых объектов. Требования при техническом обслуживании и ремонте;
- СТО 56947007-29.240.040-2010 Экологическая безопасность электросетевых объектов. Требования при реконструкции и ликвидации;
- СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ;
- Постановление Правительства РФ от 11 августа 2003 г. № 486 «Об утверждении Правил определения размеров земельных участков для размещения воздушных линий электропередачи и опор линий связи, обслуживающих электрические сети»;
- Ведомственные строительные нормы № 14278 тм-т1 «Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 - 750 кВ» (утв. Департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 20 мая 1994 г.);
- ГОСТ 12.2.024-87 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля»;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых,

общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы»;

- Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты" (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 23.02.1984 № 2971-84).

При этом необходимо понимать, что объекты электроэнергетики являются источниками образования отходов и сточных вод и предприятия электрических сетей должны в своей деятельности руководствоваться следующими документами:

- РД 153-34.3-02.206-00 «Рекомендации по разработке проекта нормативов образования и лимитов размещения отходов для предприятий электрических сетей»;

- РД 153-34.3-02.205-00 «Методические указания по нормированию сбросов загрязняющих веществ со сточными водами предприятий электрических сетей».

В данном учебном пособии рассматриваются наиболее значимые факторы негативного воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду, здоровье и жизнедеятельность человека. Приводятся методики оценки этих воздействия в соответствии с действующей нормативной базой.

## 1 ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО РФ ОБ ОХРАНЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Основополагающими законами РФ в области охраны окружающей среды являются:

1. Конституция РФ (принята всенародным голосованием 12.12.1993, с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ);

2. ФЗ «Об охране окружающей среды» (Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «Об охране окружающей среды»).

Конституция РФ устанавливает права и обязанности граждан России в данной сфере:

- статья 42 «Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением»;

- статья 58 «Каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам».

ФЗ «Об охране окружающей среды» определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности.

Закон регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды, являющуюся основой жизни на Земле, в пределах территории Российской Федерации, а также на континентальном шельфе и в исключительной экономической зоне Российской Федерации.

В этом законе установлены экологические требования в области охраны окружающей среды при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации промышленных объектов, в том числе объектов энергетики (статья 40):

1. Должна обеспечиваться экологическая безопасность и сохранение здоровья населения.
2. Должны предусматриваться мероприятия по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов.
3. Должны предусматриваться мероприятия по оздоровлению окружающей среды.
4. Нарушение вышеперечисленных требований влечет за собой приостановление до устранения недостатков, либо полное прекращение деятельности экологически вредных и опасных объектов.

Несоблюдение при проектировании, сооружении, обслуживании, ремонте, реконструкции и ликвидации объектов электроэнергетики приводит к экологическим правонарушениям и экологическим преступлениям.

Нарушение правовых норм, регулирующих экологические общественные отношения, приводит к экологическим правонарушениям.

Экологические преступления – это общественно опасные деяния, посягающие на общественные отношения, обеспечивающие установленный в РФ экологический правопорядок, экологическую безопасность общества, и причиняющие вред природной среде и здоровью человека, ответственность за которые предусмотрена в статьях гл. 26 УК РФ.

Исходя из непосредственного объекта экологические преступления подразделяются на 2 вида:

- 1) экологические преступления общего характера, которые посягают на природу в целом (ст.246-249 УК РФ );
- 2) специальные экологические преступления, которые посягают на отдельные компоненты или составляющие природы (воздух, воду и т.п.) (ст.250-262 УК РФ).

За экологические правонарушения предусмотрены:

1) дисциплинарная ответственность, которая применяется только к физическим лицам и предусмотрена за совершение экологического проступка в связи с невыполнением служебных обязанностей, в результате чего причиняется экологический вред.

За совершение дисциплинарного проступка, то есть неисполнение или ненадлежащее исполнение работником по его вине возложенных на него трудовых обязанностей, работодатель имеет право применить следующие дисциплинарные взыскания:

- замечание;
- выговор;
- увольнение по соответствующим основаниям;

2) административная ответственность. Для административной ответственности предусмотрены следующие виды административных взысканий:

- предупреждение;
- административный штраф;
- административное приостановление деятельности;
- конфискация орудия совершения или предмета административного правонарушения;
- конфискация продукции незаконного природопользования;
- лишение специального права, предоставленного физическому лицу;

3) материальная ответственность за экологические правонарушения - это имущественная ответственность в соответствии с трудовым законодательством должностных лиц и иных работников, по вине которых предприятие, учреждение, организация понесли расходы по возмещению вреда, причиненного экологическим правонарушением.

Материальная ответственность заключается в обязанности работника возместить в установленном порядке и в определенных размерах имущественный ущерб, причиненный по его вине предприятию, организации в результате ненадлежащего исполнения им своих должностных обязанностей;

4) Гражданско-правовая ответственность в сфере взаимодействия общества и природы заключается главным образом в возложении на правонарушителя обязанности возместить потерпевшей стороне имущественный или моральный вред, причиненный в результате нарушения правовых экологических требований.

За совершение экологических преступлений предусматриваются следующие виды наказаний:

- штраф;
- лишение права занимать определенные должности или заниматься определенной деятельностью;
- обязательные работы;
- исправительные работы;
- ограничение свободы;
- арест;
- лишение свободы на определенный срок.

## 2. ИЗЪЯТИЕ ЗЕМЕЛЬ В ПОСТОЯННОЕ (БЕССРОЧНОЕ) И ВО ВРЕМЕННОЕ ПОЛЬЗОВАНИЕ

### 2.1. Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи

Данный вопрос регулируют «Рекомендации по технологическому проектированию воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше» (утверждены приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 284).

Выбор трассы ВЛЭП, в т.ч. новых участков трассы ВЛЭП, подлежащей техническому перевооружению (реконструкции), производится на основании сравнения конкурирующих вариантов. При этом учитываются:

- природные особенности территории;
- состояние природной среды (загрязнение атмосферы, агрессивность грунта, подземных вод и т.д.);
- современное хозяйственное использование территории;
- ценность территории (природоохранная, культурная, национальная, особо охраняемые природные объекты и пр.);
- возможный ущерб, причиняемый природной и социальной среде, а также возможные изменения в окружающей природной среде в результате сооружения ВЛЭП и последствия этих изменений для природной среды, жизни и здоровья населения;

Трасса ВЛЭП выбирается, по возможности, кратчайшей, с учетом условий отчуждения земли, вырубки просек в насаждениях (под насаждениями понимаются естественные и искусственные древостои и кустарники, а также сады и парки), комплексного использования охранной зоны и приближения к дорогам и существующим ВЛЭП.

При выборе трассы ВЛЭП обходятся, как правило, населенные пункты, промышленные предприятия, массивы орошаемых, осушенных и других мелиорированных земель, многолетние плодовые насаждения и виноградники,

участки с высоким естественным плодородием почв и другие приравненные к ним земельные угодья, зоны санитарной охраны курортов, заповедники, памятники истории и культуры.

Выбор трассы ВЛЭП на территориях с загрязненной атмосферой производится с учетом перспективного плана развития действующих или сооружения новых промышленных предприятий (и их очистных сооружений), являющихся источниками загрязнения атмосферы, а также плана развития сельского хозяйства с точки зрения применения химических удобрений и химической обработки посевов.

Трассы ВЛЭП, как правило, выбираются в обход залегания полезных ископаемых.

Выбор места установки опор производится с учетом рельефа, грунтовых условий, условий строительства, монтажа и эксплуатации.

Количество типов опор, примененных при проектировании ВЛЭП, обосновывается с учетом расхода материалов и обеспечения единой технологии строительства и эксплуатации.

Не рекомендуется применять типы опор, используемые в единственном числе, за исключением опор больших переходов и ответвительных опор.

На участках трассы, проходящих по землям, занятым сельскохозяйственными культурами, на больших переходах в населенной местности и в местах стесненных подходов к электростанциям и подстанциям рекомендуется применять двухцепные и многоцепные свободностоящие опоры.

Выбор высоты и типа опор ВЛЭП, устанавливаемых на обрабатываемых землях, производится, исходя из условия наименьшего изъятия земель сельскохозяйственного назначения.

При прохождении ВЛЭП, сооружаемых на стальных опорах, по массивам орошаемых и осушенных земель, земельным участкам, занятым сельскохозяйственными культурами или обладающими высоким плодородием почв, зонам санитарной охраны курортов, заповедникам, вблизи памятников культуры и истории в целях сохранения природного ландшафта и земельных угодий

дий, а также в стесненных условиях рекомендуется применять конструкции свободностоящих опор, обеспечивающих возможность их монтажа методом наращивания.

Выбор конструкции фазы (подвеска новых проводов большего сечения или дополнительных проводов в фазе) производится на основании технического обоснования.

## **2.2. Экологические требования к размещению электрических сетей**

При размещении объектов электроэнергетики необходимо учитывать следующие экологические требования:

- 1) определение относительно бесконфликтных участков для выбора вариантов площадок размещения подстанций и коридоров трассы ВЛ;
- 2) определение списка природных и социальных компонентов, для которых следует выполнить оценку размещения;
- 3) оценка относительно бесконфликтных участков для каждого природного компонента в категориях значения и чувствительности;
- 4) определение вариантов размещения в пределах относительно бесконфликтных участков;
- 5) сравнение вариантов и выбор наиболее оптимального, предлагаемого для реализации варианта.

## **2.3. Изъятие земель в постоянное и временное пользование**

Ширину полос земель и площади земельных участков, предоставляемых для электрических сетей напряжением (0,38 – 750) кВ, в состав которых входят воздушные и кабельные линии электропередачи, трансформаторные подстанции (в дальнейшем - подстанции), переключательные распределительные и секционирующие пункты устанавливают Ведомственные строительные нормы N 14278 тм-т1 «Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 - 750 кВ» (утв. Департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 20 мая 1994 г.).

При выборе, предоставлении и использовании земель для электрических

сетей должны соблюдаться «Земельный кодекс», «Положение о порядке возмещения убытков собственникам земли, землевладельцам, землепользователям, арендаторам потерь сельскохозяйственного производства» и другие нормативные акты.

Полосы земель для воздушных и кабельных линий электропередачи необходимы для временного краткосрочного пользования на период их строительства, а земельные участки для размещения опор воздушных линий электропередачи напряжением выше 1000 В, наземных сооружений кабельных линий электропередачи, подстанций, переключательных, распределительных и секционирующих пунктов - для бессрочного и постоянного пользования.

Земельные участки для монтажа опор воздушных линий электропередачи - для временного краткосрочного пользования.

Ширина полос земель и площади земельных участков, предоставляемых для электрических сетей напряжением более 750 кВ и опор больших переходов линий электропередачи всех напряжений, а также площади земельных участков подстанций, расположенных на грунте с высоким удельным сопротивлением (более 300 Ом×м) или имеющих устройство выносного контура заземления, определяются проектом, утвержденным Заказчиком в установленном порядке.

Ширина полос земель и площади земельных участков, предоставляемых во временное краткосрочное пользование, для временных сооружений на период строительства объектов электрических сетей, а также площади земельных участков, предоставляемых в постоянное, бессрочное и во временное краткосрочное пользование при техническом перевооружении, реконструкции, модернизации и расширении линий электропередачи и подстанций, определяются проектом, утвержденным Заказчиком в установленном порядке.

После завершения строительства объектов электрических сетей земли, предоставленные во временное пользование, должны быть приведены в состояние, в котором они находились до начала строительства.

Связанные с предоставлением земель в постоянное или временное поль-

зование потери и убытки, причиненные землевладельцам, землепользователям и арендаторам, возмещаются в установленном порядке. Средства на возмещение потерь и убытков целесообразно включить в стоимость сооружаемого объекта.

#### **2.4 Нормы отвода земель для линий электропередачи**

Площадь земельных участков  $F$  ( $\text{м}^2$ ), предоставляемых под опоры (включая оттяжки) воздушных линий электропередачи в постоянное пользование, определяется по формуле:

$$F = n(F_0 + f),$$

где  $F_0$  - площадь земли, занимаемая одной опорой в границах ее внешнего контура (включая оттяжки),  $\text{м}^2/\text{шт.}$ ;

$n$  - количество опор, шт.;

$f$  - площадь полосы земли вокруг внешнего контура опоры (включая оттяжки) шириной 1 м, на землях сельскохозяйственного назначения при установке ригелей с глубиной заложения до 0,8 м ширина полосы должна приниматься равной 1,5 м;  $\text{м}^2/\text{шт.}$

Для трехстоечных и порталных (двустоечных) свободно стоящих опор линий электропередачи напряжением 500 и 750 кВ:

$F_0$  - площадь земли, занимаемая одной стойкой в границах ее внешнего контура,  $\text{м}^2/\text{шт.}$ ;

$n$  - количество стоек, шт.

Для трехстоечных и порталных опор с оттяжками линий электропередачи напряжением 500 кВ и 750 кВ допускается определение площади земель  $F$ , предоставляемых под опоры в постоянное (бессрочное) пользование, по формуле:

$$F = n\pi R^2,$$

где  $R=1,5$  м - радиус круга с центром в месте закрепления стоек и оттяжек в

земле;

*n* - количество стоек и мест закрепления оттяжек в земле.

Земельные участки для размещения опор воздушных линий электропередачи напряжением (0,38 - 1,0) кВ и опор линий связи, обслуживающих электрические сети, в постоянное пользование не предоставляются.

Ширина полос земель для линий электропередачи, сооружаемых на землях, покрытых лесом, должна приниматься по согласованию с организациями и лицами, во владении которых находятся эти земли, с учетом требований "Правил устройства электроустановок", предъявляемых к ширине просек для линий электропередачи.

Ширина полос земель, предоставляемых на период строительства воздушных линий электропередачи, сооружаемых на унифицированных и типовых опорах, должна соответствовать требованиям, указанным в Постановлении Правительства РФ от 11 августа 2003 г. № 486 «Об утверждении Правил определения размеров земельных участков для размещения воздушных линий электропередачи и опор линий связи, обслуживающих электрические сети».

С учетом условий и методов строительства ширина полос может быть определена проектом, утвержденным заказчиком в установленном порядке, как расстояние между проводами крайних фаз (или фаз, наиболее удаленных от ствола опоры) плюс два метра в каждую сторону.

Для воздушных линий электропередачи напряжением 500 кВ и 750 кВ предоставление земли на период строительства производится тремя отдельными полосами шириной по 5 м под каждую фазу.

Ширина полос земель для линии электропередачи, строящихся на землях населенных пунктов, территориях предприятий, в труднопроходимой местности (в болотах, тундре, пустынях, горных условиях, затапливаемых поймах рек и т.п.) и на неунифицированных или нетиповых опорах, а также для строительства переходов через естественные и искусственные препятствия и временных дорог, необходимых на период строительства, определяется про-

ектом, утвержденным заказчиком в установленном порядке.

Площадки земельных участков, предоставляемых во временное пользование для монтажа унифицированных и типовых опор (нормальной высоты) воздушных линий электропередачи в местах их размещения должны быть не более приведенных в таблице 1.

Таблица 1

**Площадки земельных участков, предоставляемых во временное пользование для монтажа унифицированных и типовых опор (нормальной высоты) воздушных линий электропередачи в местах их размещения**

Опоры воздушных линий электропередачи	Площади земельных участков в м <sup>2</sup> , предоставляемые для монтажа опор при напряжении линии, кВ						
	0,38 - 20	35	110	150 - 220	330	500	750
1. Железобетонные							
1.1. Свободностоящие с вертикальным расположением проводов	160	200	250	400	-	-	-
1.2. Свободностоящие с горизонтальным расположением проводов	-	-	400	600	600	800	1200
1.3. Свободностоящие многостоечные	-	-	-	400	800	1000	-
1.4. На оттяжках (с 1-й оттяжкой)	-	500	550	300	-	-	-
1.5. На оттяжках (с 5-ю оттяжками)	-	-	1400	2100	-	-	-
2. Стальные							
2.1. Свободностоящие промежуточные	150	300	560	560	500	1200	2400
2.2. Свободностоящие анкерно-угловые	150	400	800	700	630	2000	3800
2.3. На оттяжках промежуточные	-	-	2000	1900	2300	2500	3000
2.4. На оттяжках анкерно-угловые	-	-	-	-	-	4000	-
3. Деревянные	150	450	450	450	-	-	-

С учетом условий и методов строительства эти площади допустимо определять проектом, утвержденным заказчиком в установленном порядке.

Проектом, утвержденным заказчиком в установленном порядке, также определяются вышеназванные площади для унифицированных и нетиповых опор.

Полосы земель и земельные участки для монтажа опор воздушных линий электропередачи напряжением 0,38 кВ, строящихся на землях населен-

ных пунктов и предприятий, на период строительства изъятию не подлежат.

Наземные кабельные сооружения (вентиляционные шахты, кабельные колодцы, подпитывающие устройства, переходные пункты) на землях сельскохозяйственного назначения, как правило, не размещаются.

Площади земельных участков, предоставляемых для размещения наземных кабельных сооружений, определяются проектом, утвержденным заказчиком в установленном порядке.

Ширина полос земель, предоставляемых во временное краткосрочное пользование для кабельных линий электропередачи на период строительства, должна приниматься для линий напряжением до 35 кВ не более 6 м, для линий напряжением 110 кВ и выше - не более 10 м.

Использование земель над кабельными линиями и под проводами воздушных линий по назначению должно осуществляться землевладельцами и землепользователями с соблюдением действующих Правил охраны электрических сетей.

Ширина полос земель и площади земельных участков, предоставляемых во временное пользование для капитального ремонта линий электропередачи, определяются документацией на проведение соответствующих работ, утвержденной заказчиком в установленном порядке.

#### **2.4 Нормы отвода земель для подстанций**

Площади земельных участков, отводимых для подстанций, распределительных и секционирующих пунктов с высшим напряжением от 6 до 20 кВ, должны быть не более значений приведенных в таблице 2.

*Таблица 2*

#### **Площади земельных участков, отводимых для подстанций, распределительных и секционирующих пунктов с высшим напряжением от 6 до 20 кВ**

Тип подстанций, распределительных и секционирующих пунктов	Площади отводимых земельных участков в м <sup>2</sup>
1. Мачтовые подстанции мощностью от 25 до 250 кВА	50
2. Комплектные подстанции с одним трансформатором мощностью от 25 до 630 кВ х А	50

Тип подстанций, распределительных и секционирующих пунктов	Площади отводимых земельных участков в м <sup>2</sup>
3. Комплектные подстанции с двумя трансформаторами мощностью от 160 до 630 кВ х А	80
4. Подстанции с двумя трансформаторами закрытого типа мощностью от 160 до 630 кВ х А	150
5. Распределительные пункты наружной установки	250
6. Распределительные пункты закрытого типа	200
7. Секционирующие пункты	80
<p><b>Примечания:</b> 1. Площади определены с учетом размеров заземляющих устройств и дополнением 1 м от них во все стороны. Для комплектной подстанции с выносным разъединителем (на концевой опоре) учитывался участок расположения опоры с разъединителем и ее заземляющего устройства.</p> <p>2. Площади не учитывают земельные участки для размещения концевых опор воздушных линий электропередачи напряжением 6 - 20 кВ и до 1 кВ.</p> <p>3. Площади указаны для типовых конструкций. Для нетиповых конструкций значения площадей определяются проектом, утвержденным в установленном порядке, в котором содержится обоснование отказа от типовых конструкций.</p> <p>4. Мачтовые и комплектные (КТП) подстанции 35/0,38 кВ требуют отвода земельного участка в 50 м<sup>2</sup>.</p>	

Площади земельных участков, отводимых для подстанций и переключательных пунктов с различными схемами электрических соединений распределительных устройств с внешним напряжением от 35 до 750 кВ должны быть не более значений, приведенных в таблицах 4 и 5 «Ведомственные строительные нормы N 14278 тм-т1 «Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,38 - 750 кВ» (утв. Департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 20 мая 1994 г.).

## **2.5 Расчет площади земельных участков изымаемых в постоянное (бессрочное) и во временное пользование**

### ***Отвод земельных участков в постоянное пользование***

В постоянное пользование земельные участки отводятся под промежуточные и анкерные угловые опоры и трансформаторные подстанции:

$$F_{пп} = F_{поп} + F_{пс},$$

где  $F_{поп}$  – площадь земельных участков, отводимых в постоянное пользование под промежуточные и анкерные угловые опоры, м<sup>2</sup>;

$F_{пс}$  – площадь земельных участков, отводимых в постоянное пользование под подстанции, м<sup>2</sup>.

Площадь земельных участков, отводимых в постоянное пользование под промежуточные и анкерные угловые опоры, рассчитывается по формуле

$$F_{\text{поп}} = F_{\text{по}} + F_{\text{ау}},$$

где  $F_{\text{по}}$  – площадь земельных участков отводимых в постоянное пользование под промежуточные опоры, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{ау}}$  – площадь земельных участков отводимых в постоянное пользование под анкерные угловые опоры, м<sup>2</sup>.

Расчет площади земельных участков  $F_{\text{по}}$  и  $F_{\text{ау}}$  зависит от конструкции опор (железобетонные, стальные).

Площадь земельных участков  $F$  (промежуточных или анкерных) в общем виде, предоставляемых под стальные опоры воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) в постоянное (бессрочное) пользование напряжением класса до 330 кВ, определяется по формуле (рисунок 1):

$$F = (A^2 + \pi\Delta^2 + 4A\Delta) \cdot n,$$

где  $A$  – сторона основания стальной опоры, м;

$\Delta$  – ширина полосы земли вокруг внешнего контура опоры, м;

$n$  – количество опор.

Размер  $\Delta$  зависит от категории земель. Для земель сельскохозяйственного назначения  $\Delta=1,5$  м, а для остальных категорий  $\Delta=1$  м.

Если воздушная линия состоит из  $n_{\text{по}}$  промежуточных опор и  $n_{\text{ау}}$  анкерных угловых опор, то площадь земельных участков отводимых под опоры такой линии можно рассчитать по формуле

$$F_{\text{поп}} = (A_{\text{по}}^2 + \pi\Delta^2 + 4A_{\text{по}}\Delta) \cdot n_{\text{по}} + (A_{\text{ау}}^2 + \pi\Delta^2 + 4A_{\text{ау}}\Delta) \cdot n_{\text{ау}}.$$

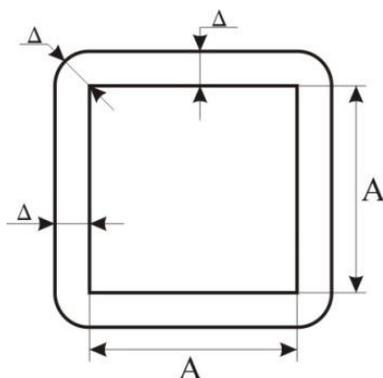


Рисунок 1 – К расчету площади земельных участков отводимых в постоянное пользование под стальные свободностоящие опоры ВЛЭП

Площадь земельных участков  $F$  в общем виде, предоставляемых под трехстоечные и порталные (двустоечные) свободно стоящие опоры линий электропередачи напряжением 500 и 750 кВ в постоянное (бессрочное) пользование, определяется по формуле

$$F = (A^2 + \pi\Delta^2 + 4A\Delta) \cdot n_{\text{стоек}} \cdot n,$$

где  $A$  – сторона основания стойки, м;

$\Delta$  – ширина полосы земли вокруг внешнего контура стойки, м;

$n_{\text{стоек}}$  – количество стоек и мест закрепления оттяжек в земле;

$n$  – количество опор.

Если воздушная линия состоит из  $n_{\text{по}}$  промежуточных опор и  $n_{\text{ау}}$  анкерных угловых опор, а промежуточная опора имеет  $n_{\text{стоек по}}$  и анкерная угловая опора -  $n_{\text{стоек ау}}$ , то площадь земельных участков отводимых под опоры такой линии можно рассчитать по формуле

$$F_{\text{поп}} = (A_{\text{по}}^2 + \pi\Delta^2 + 4A_{\text{по}}\Delta) \cdot n_{\text{стоек по}} \cdot n_{\text{по}} + (A_{\text{ау}}^2 + \pi\Delta^2 + 4A_{\text{ау}}\Delta) \cdot n_{\text{стоек ау}} \cdot n_{\text{ау}}.$$

Площадь земельных участков  $F$  в общем виде, предоставляемых под трехстоечные и порталные опоры с оттяжками линий электропередачи напряжением 500 кВ и 750 кВ в постоянное (бессрочное) пользование, допускается

определять по формуле

$$F = n\pi R^2,$$

где  $R=1,5$  м - радиус круга с центром в месте закрепления стоек и оттяжек в земле;

$n_{\text{стоек+от}}$  - количество стоек и мест закрепления оттяжек в земле.

Если воздушная линия состоит из  $n_{\text{по}}$  промежуточных опор и  $n_{\text{ау}}$  анкерных угловых опор, а промежуточная опора имеет  $n_{\text{стоек+от по}}$  и анкерная угловая опора -  $n_{\text{стоек+от ау}}$ , то площадь земельных участков отводимых под опоры такой линии можно рассчитать по формуле

$$F_{\text{поп}} = n_{\text{стоек+от по}} \cdot n_{\text{по}} \cdot \pi R_{\text{по}}^2 + n_{\text{стоек+от ау}} \cdot n_{\text{ау}} \cdot \pi R_{\text{ау}}^2.$$

Площадь земельных участков, отводимых под подстанции, определяется по формуле

$$F_{\text{пс}} = \sum_{i=1}^N F_{\text{пс}i},$$

где  $F_{\text{пс}i}$  - площадь земельных участков, отводимая под  $i$ -ю подстанцию, м<sup>2</sup>;

$N$  – количество подстанций.

### ***Расчет земельных участков отводимых во временное пользование***

Площадь земельных участков, предоставляемых во временное пользование, определяется по формуле:

$$F_{\text{ВП}} = F_{\text{ВЛ}} + F_{\text{МП}},$$

где  $F_{\text{ВЛ}}$  – площадь земельных участков отводимых во временное пользование под строительство ВЛЭП, м<sup>2</sup>;

$F_{мп}$  – площадь земельных участков отводимых во временное пользование под монтажные площадки для сборки опор, м<sup>2</sup>.

Земельные участки (части земельных участков), используемые хозяйствующими субъектами в период строительства, реконструкции, технического перевооружения и ремонта воздушных линий электропередачи, представляют собой полосу земли по всей длине воздушной линии электропередачи, ширина которой превышает расстояние между осями крайних фаз на 2 метра с каждой стороны.

Таким образом, ширина полосы земли, предоставляемой на период строительства, реконструкции, технического перевооружения и ремонта воздушных линий электропередачи, сооружаемых на унифицированных типовых опорах, определяется по формуле

$$F_{вл} = L_{влэп}(L_{ф-ф} + 4),$$

где  $L_{влэп}$  – длина трассы ВЛЭП, м;

$L_{ф-ф}$  – расстояние между крайними фазами на опоре, м.

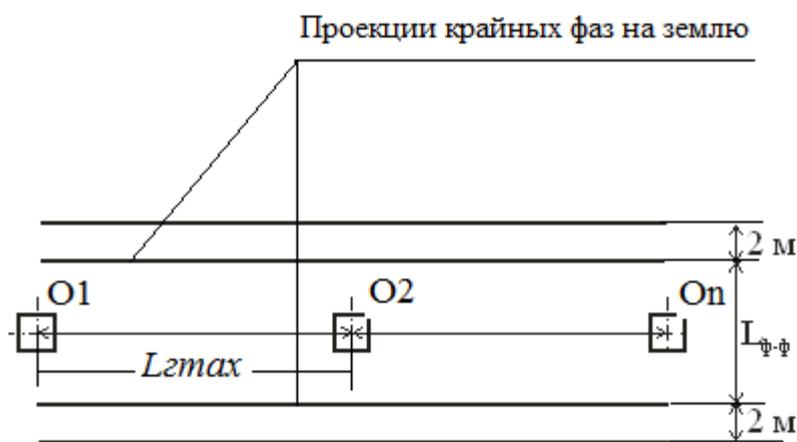
Если принять допущение, что расстояние между промежуточными и анкерными угловыми опорами равно максимальной длине габаритного пролета (выбирается по справочным данным в зависимости от шифра опоры). Тогда  $F_{вл}$  можно рассчитать по формуле (см. рисунок 2)

$$F_{вл} = (n_{по} + n_{ау} - 1)L_{гmax}(L_{ф-ф} + 4),$$

где  $n_{ау}$  – количество анкерных угловых опор, шт.;

$n_{по}$  – количество промежуточных опор, шт.;

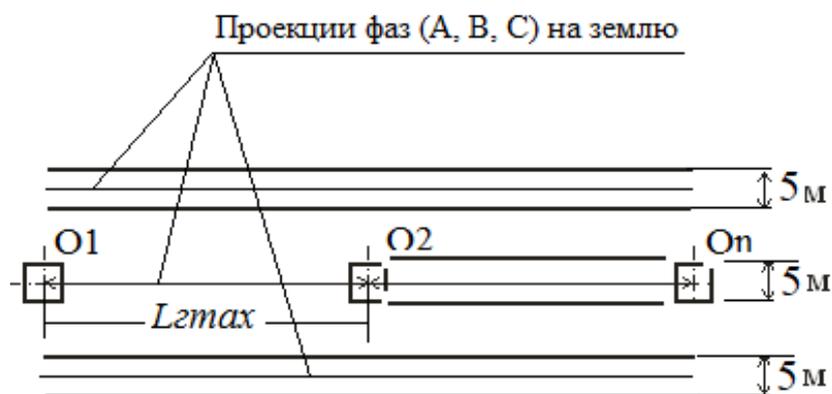
$L_{гmax}$  – максимальная длина габаритного пролета, м.



$O_1, O_2$  и т.д. – номер опоры

Рисунок 2 – К расчету  $F_{вл}$

Земельные участки (части земельных участков), используемые хозяйствующими субъектами при производстве указанных работ в отношении воздушных линий электропередачи напряжением 500, 750 и 1150 кВ с горизонтальным расположением фаз, представляют собой отдельные полосы земли шириной 5 метров для каждой фазы (рисунок 3).



$O_1, O_2$  и т.д. – номер опоры

Рисунок 3 – К расчету  $F_{вл}$

В этом случае, ширина полосы земли, предоставляемой на период строительства, реконструкции, технического перевооружения и ремонта воздушных линий электропередачи, сооружаемых на унифицированных типо-

вых опорах, определяется по формуле

$$F_{вл} = 5L_{влэп}n_{\phi},$$

где  $L_{влэп}$  – длина трассы ВЛЭП, м;

$n_{\phi}$  – количество фаз.

Для воздушных линий электропередачи напряжением 500, 750 и 1150 кВ расположение фаз горизонтальное и их количество 3.

В связи с этим последнее выражение можно записать в виде

$$F_{вл} = 15L_{влэп}.$$

Если принять допущение, что расстояние между промежуточными и анкерными угловыми опорами равно максимальной длине габаритного пролета (выбирается по справочным данным в зависимости от шифра опоры). Тогда  $F_{вл}$  можно рассчитать по формуле (см. рисунок 3)

$$F_{вл} = 15(n_{по} + n_{ay} - 1)L_{гmax}.$$

Площадь земельных участков, предоставляемых под монтажные площадки, определяется по формуле:

$$F_{мп} = n_{но}F_{но} + n_{ay}F_{ay},$$

где  $F_{но}$  – площадь земельных участков, отводимых под монтажные площадки промежуточных опор, м<sup>2</sup>;

$F_{ay}$  – площадь земельных участков, отводимых под монтажные площадки анкерных угловых опор, м<sup>2</sup>.

## 3 АКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ

### 3.1 Характеристики источников шума и шума

Шумом называют любой нежелательный звук или совокупность таких звуков. При гигиенической оценке шумов на рабочих местах следует иметь в виду их возможное мешающее, вредное или травмирующее действие на организм человека.

Звуком называют колебания частиц воздушной среды, воспринимаемые органом слуха.

По природе действия различают следующие шумы:

- 1) аэродинамические;
- 2) гидродинамические;
- 3) механические;
- 4) электромагнитные.

#### *Термины и определения*

*Звуковое давление* - переменная составляющая давления воздуха или газа, возникающая в результате звуковых колебаний, Па. Разность между мгновенным и статическим давлениями воздушной среды.

*Эквивалентный (по энергии) уровень звука,  $L_{Aэкв}$ , дБА, непостоянного шума* - уровень звука постоянного широкополосного шума, который имеет такое же среднеквадратичное звуковое давление, что и данный непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

*Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума  $ПДУ_{LA}$*  - это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушение здоровья у сверхчувствительных лиц. Соблюдение ПДУ шума

обеспечивает безопасность.

*Допустимый уровень шума*  $ДУ L_{LA}$  - это уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к шуму. Соблюдение *ДУ* шума обеспечивает комфорт.

*Максимальный уровень звука*,  $L_{Amax}$ , дБА, - уровень звука, соответствующий максимальному показателю измерительного, прямопоказывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или значение уровня звука, превышаемое в течение 1% времени измерения при регистрации автоматическим устройством.

#### *Классификация шумов, воздействующих на человека*

1. По характеру спектра шума выделяют:

- широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более 1 октавы;

- тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тоны. Тональный характер шума для практических целей устанавливается измерением в 1/3 октавных полосах частот по превышению уровня в одной полосе над соседними не менее чем на 10 дБ.

2. По временным характеристикам шума выделяют:

- постоянный шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день или за время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно»;

- непостоянный шум, уровень звука которого за 8-часовой рабочий день, за рабочую смену или во время измерения в помещениях жилых и общественных зданий, на территории жилой застройки изменяется во времени более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике шумомера «медленно».

3. Непостоянные шумы подразделяют на:

- колеблющийся во времени шум, уровень звука которого непрерывно изменяется во времени;

- прерывистый шум, уровень звука которого ступенчато изменяется (на 5 дБА и более), причем длительность интервалов, в течение которых уровень остается постоянным, составляет 1 с и более;

- импульсный шум, состоящий из одного или нескольких звуковых сигналов, каждый длительностью менее 1 с, при этом уровни звука в дБА и дБА, измеренные соответственно на временных характеристиках «импульс» и «медленно», отличаются не менее чем на 7 дБ.

### *Шумовые характеристики источников шума*

Октавный уровень звуковой мощности и скорректированный уровень звуковой мощности являются техническими характеристиками источника шума.

Логарифмическая мера звуковой мощности  $L_w$  (дБ), излучаемой источником, которая определяется по формуле

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0},$$

где  $W$  - абсолютное значение мощности источника, Вт;

$W_0$  - опорная звуковая мощность, Вт ( $W_0 = 10^{-12}$  Вт).

Октавные уровни звуковой мощности определяются в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами (31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000) Гц.

Корректированный уровень звуковой мощности  $L_{wA}$  (дБА) величина, равная десятикратному десятичному логарифму отношения звуковой мощности испытуемого источника шума, измеренной при частотной характеристике «А» шумомера, к мощности  $W_0$ :

$$L_{WA} = 10 \lg \frac{W_A}{W_0}.$$

Корректированный уровень звуковой мощности и октавные уровни звуковой мощности связаны соотношением

$$L_{WA} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{wi} + K_{Ai})},$$

где  $N$  - количество октавных полос ( $N=9$ );

$L_{wi}$  - уровень звуковой мощности в  $i$ -ой октавной полосе, дБ;

$K_{Ai}$  - частотная коррекция в соответствии с частотной характеристикой «А» для  $i$ -ой октавной полосы, дБ (приведена в таблице 3).

Таблица 3

### Частотные коррекции по характеристике «А»

Номинальная частота, Гц	Частотная коррекция по характеристике «А», дБ
31,5	-39,4
63	-26,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	+1,2
4000	+1,0
8000	-1,1

## Характеристики шума

Измеряемые и рассчитываемые акустические характеристики шума устанавливаются в зависимости от временных характеристик шума. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» устанавливаются следующие величины:

- для постоянного шума (уровень звука (дБА) и октавные уровни звукового давления (дБ);
- для колеблющегося во времени шума (эквивалентный уровень звука (дБА) и максимальный уровень звука (дБА);
- для импульсного шума (эквивалентный уровень звука (дБА) и максимальный уровень звука (дБА));
- для прерывистого шума (эквивалентный и максимальный уровни (дБА)).

Уровни звукового давления  $L_p$  в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами (31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000) Гц, определяемые по формуле

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0},$$

где  $p$  - среднее квадратическое значение звукового давления, Па;

$p_0$  - опорное звуковое давление, Па ( $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  Па).

Среднегеометрическая частота определяется по формуле

$$f_{ср} = \sqrt{f_{n-1} f_n},$$

где  $f_{n-1}$  - значение нижней границы октавной полосы, Гц;

$f_n$  - значение верхней границы октавной полосы, Гц.

Уровень звука – это энергетическая сумма октавных уровней звукового давления в нормируемом диапазоне частот, откорректированных по частотной характеристике А. Уровень звука  $L_A$  в дБА, измеренный на временной характеристике «медленно» шумомера, определяемый по формуле:

$$L_A = 20 \lg \frac{p_A}{p_0},$$

где  $p_A$  - среднеквадратичная величина звукового давления с учетом коррекции по характеристике «А», Па.

Уровень звука и октавные уровни звукового давления связаны соотношением

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{pi} + K_{Ai})},$$

где  $N$  - количество октавных полос ( $N=9$ );

$L_{pi}$  - уровень звуковой мощности в  $i$ -ой октавной полосе, дБ;

$K_{Ai}$  - частотная коррекция в соответствии с частотной характеристикой «А» для  $i$ -ой октавной полосы, дБ (приведена в таблице 3).

### **3.2 Нормирование акустических шумов**

Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах, допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки приведены в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (см. Приложение А).

Санитарные нормы являются обязательными для всех организаций и юридических лиц на территории Российской Федерации, независимо от форм собственности, подчинения и принадлежности и физических лиц, независимо от гражданства.

Ответственность за выполнение требований СН 2.2.4/2.1.8.562-96 возлагается в установленном законом порядке на руководителей и должностных

лиц предприятий, учреждений и организаций, а также граждан.

Контроль за выполнением Санитарных норм осуществляется органами и учреждениями Роспотребнадзора России в соответствии с Законом "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 19.04.1991.

Измерения проводятся в соответствии с МУК 4.3.2194-07 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях».

### **2.3 Шум, создаваемый трансформаторами**

Силовые трансформаторы (ТМ) являются характерным источником шума на территории населенных мест. В зависимости от типовой мощности и класса напряжения в ТМ применяют различные системы охлаждения:

1) с естественной циркуляцией воздуха и масла (система охлаждения вида М);

2) с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (система охлаждения вида Д);

3) с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ и НДЦ);

4) с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ и НМЦ).

В таблице 4 приведена информация о трансформаторах с различными системами охлаждения и характерными для них шумами.

*Таблица 4*

#### **Характерные шумы для трансформаторов с различными системами охлаждения**

№ п/п	Трансформатор	Характерные шумы по природе возникновения
1	с естественной циркуляцией воздуха и масла	электромагнитный шум
2	с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла	электромагнитный шум, аэродинамический шум
3	с принудительной циркуляцией воздуха и масла	электромагнитный шум, аэродинамический шум, гидродинамический шум

№ п/п	Трансформатор	Характерные шумы по природе возникновения
4	с принудительной циркуляцией воды и масла	электромагнитный шум, гидродинамический шум

Шум трансформаторов, особенно больших, в основном обусловлен двумя составляющими: электромагнитным шумом и аэродинамическим шумом, вызываемым вентиляционными устройствами. Маленькие трансформаторы охлаждаются без принудительных устройств, за счет конвекции воздуха, в связи, с чем аэродинамическая составляющая отсутствует.

Электромагнитный шум в ТМ возникает по следующим причинам:

- 1) магнитострикционный эффект;
- 2) силы, действующие на витки обмотки ТМ в магнитном поле;
- 3) силы Максвелла, возникающие в стыках и шиповых соединениях сердечника ТМ.

Магнитострикционный шум создается сердечником трансформатора. В процессе работы трансформатора как преобразователя напряжения на его сердечник воздействует периодически меняющаяся магнитная индукция. Из-за неизбежного магнитострикционного эффекта периодически изменяется длина сердечника. В результате возникают изгибные колебания ярма и стержней сердечника. У больших трансформаторов звуковая вибрация через масло в баке по «звуковым мостикам» передается на стенки бака и излучается в окружающее пространство в виде воздушного шума (рисунок 4). У небольших трансформаторов сам сердечник является излучателем.

Суммарный уровень шума трансформаторов определяется, как правило, электромагнитной составляющей, причем в любом случае она существенна в диапазоне частот приблизительно до 800 Гц, т.е. уровни шума в этом диапазоне значительно выше, чем на более высоких частотах. В шуме трансформатора преимущественно ощущаются тональные составляющие, частота которых соответствует удвоенной частоте сети (при частоте сети 50 Гц частота тональной составляющей равна 100 Гц), и их кратные гармоники, что

воспринимается на слух как низкое гудение.

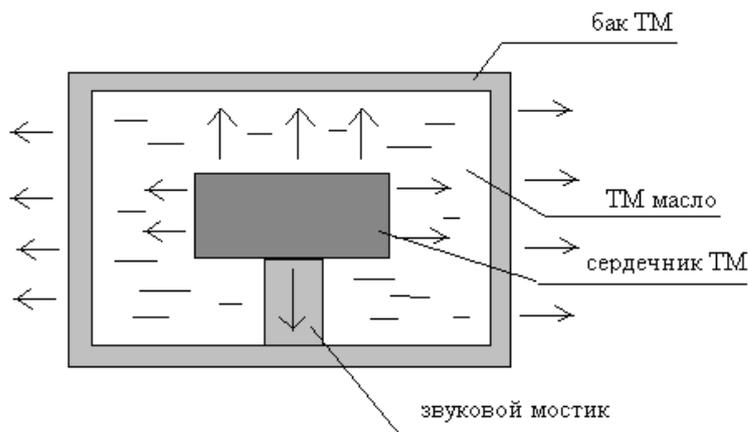


Рисунок 4 – Распространение электромагнитного шума, возникающего в сердечнике ТМ, во внешнюю среду

Шум трансформаторов в своей основе (в сердечнике) может быть снижен при использовании листов железа с возможно малой магнитострикцией. Магнитострикция резко уменьшается в случае повышенного содержания (более 4 %) кремния в металле. Холоднокатаный лист имеет значительно более низкую магнитострикцию, чем горячекатаной.

Магнитострикция листов с ориентированной зернистой структурой значительно ниже при потоке индукции, идущем вдоль направления проката, чем в перпендикулярном направлении. В случае определенного равномерного обжатия листов сердечника их изгибные колебания снижаются. Составной сердечник также способствует уменьшению шума. Каждая из выше перечисленных мер позволяет снизить уровень шума на (3-4) дБА.

При передаче звуковой энергии от сердечника к стенкам в трансформаторах стандартного исполнения примерно половина энергии передается по «звуковым мостикам» на днище бака, а остальная часть – через трансформаторное масло. Вместо жесткого крепления сердечника к днищу бака используются стальные пружины (виброизоляторы), а для снижения шума при передаче звуковой энергии через масло, мер пока не предложено.

Вибрации стенок бака, излучение которых является основной причиной шума больших трансформаторов, можно уменьшить установкой на них антивибраторов. Антивибраторы, имеющие форму прямоугольных параллелепипедов, состоят из резиновых элементов, крепящихся к стенкам бака, и установленных на них масс. Их собственная частота настроена на ту частоту стенки бака, при которой требуется существенное уменьшение амплитуды. Кроме того, для снижения шума трансформаторов с успехом применяют кожухи с эластичными стенками.

Собственные частоты элементов конструкции трансформатора должны быть соответствующим образом разнесены с частотами возбуждения, чтобы исключить ненужные результаты.

Аэродинамический шум вызван движением потока воздуха, который создается системой механической вентиляции. Спектр аэродинамического шума, вызванный циркуляцией воздуха, непрерывный вследствие случайных распределений многих завихрений, следующих по поверхности вращения. На этот шум с физиологическим эффектом для уха в виде визга наложены высокие тона, частота которых определяется геометрией путей циркуляции охлаждающего воздуха.

Аэродинамический шум можно снизить путем подбора малошумных вентиляторов, а также установкой звукопоглотителей.

Механический шум может возникнуть, например, по причине нарушения балансировки крыльчатки вентиляторов в системе механической вентиляции ТМ.

В таблице 5 приведены характеристики шума, создаваемого ТМ.

### **3.3.1 Расчет шума создаваемого трансформаторами**

Расчет шума, создаваемого ТМ может возникнуть в двух случаях:

- 1) при проектировании новой подстанции (ПС);
- 2) при реконструкции действующей ПС.

При проектировании новой подстанции необходимо определить ее расположение относительно прилегающей к ПС территории.

## Шум, создаваемый ТМ

Наименование фактора, источник, место проведения измерений	Уровень звука, дБА	Уровни звукового давления $L_{Pi}$ , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами $f_{CG}$ , Гц								
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Шум, ТМ 500 кВ, на расстоянии 3 м от ТМ	81	78	83	87	85	79	74	67	60	52
Шум, ТМ 220 кВ, на расстоянии 3 м от ТМ	75	77	81	79	74	74	70	66	58	50

При реконструкции действующей ПС, когда увеличивается мощность силовых ТМ, необходимо определить уровень звука в ближайшей точке на границе территории прилегающей к ПС, создаваемый источниками шума (ТМ) и сделать вывод о его соответствии санитарно-гигиеническим требованиям. Если есть превышение, то необходимо разработать мероприятия по уменьшению шума.

Рассмотрим случай, когда ТМ установлены на открытой территории ПС. Данная задача часто встречается при размещении ПС в сельской местности, когда ее необходимо разместить рядом с сельским населенным пунктом.

*Порядок расчета шума на примере проектировании новой подстанции*

1. По таблице 3 колонка № 13 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки» определяем допустимый уровень шума в зависимости от типа территории прилегающей к ПС (см. Приложение А). При этом необходимо принять во внимание, что для некоторых территорий допустимые уровни устанавливаются с учетом времени суток. В расчетах принимаем наиболее жесткие требования, установленные для времени суток с 23.00 часов и до 07.00 часов.

2. Определяем шумовые характеристики источника шума (модель ТМ известна из расчетной части проекта), согласно ГОСТ 12.1.024-87 ССБТ «Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля». В данном стандарте приводятся скорректированные уровни звуковой мощности трансформаторов в зависимости от типовой мощности, класса напряжения и вида системы охлаждения (см. Приложения Б, В, Г, Д). Скорректированные уровни звуковой мощности приняты в качестве нормируемой величины шумовой характеристики трансформатора.

Для трансформаторов со значениями типовой мощности, которые отличаются от ряда мощностей, приведенных в Приложениях Б, В, Г, Д, скорректированный уровень звуковой мощности определяют по ближайшей большей мощности.

3. Определяем минимальное расстояние от ПС до границы жилой застройки.

Известно, что если источник шума имеет показатель направленности равный 1, что можно принять для ТМ, и его скорректированный уровень звуковой мощности равен  $L_{WA}$ , то в любой точке полусферы радиусом  $R$  уровень шума создаваемый данным источником будет равным  $L_A$  (см. рисунок 5).

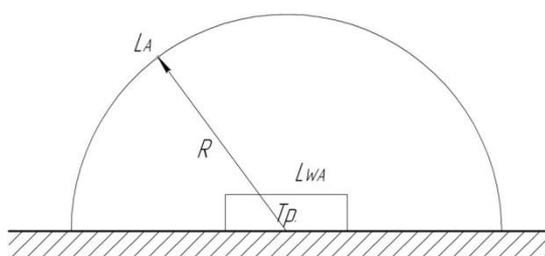


Рисунок 5 – Излучение шума трансформатором

В этом случае в соответствии с ГОСТ 12.1.024-87 справедливо соотношение

$$L_{WA} = L_A + 10 \lg \frac{S}{S_0},$$

где  $S$  - площадь поверхности полусферы,  $m^2$ ;

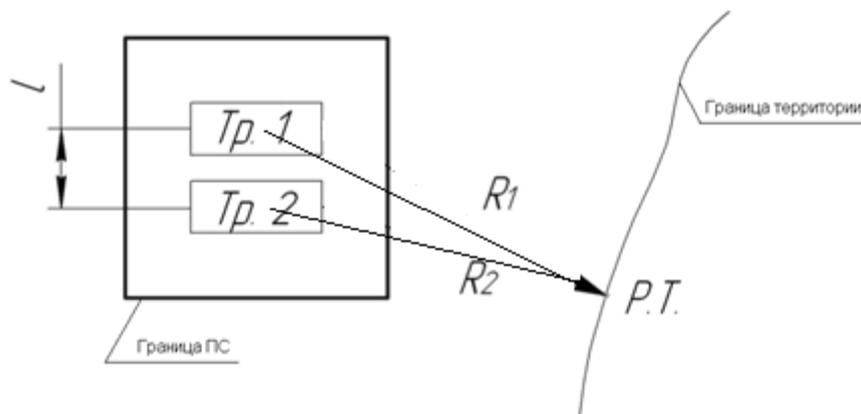
$$S_0 = 1 m^2.$$

Исходя из последней формулы при оценке шума, создаваемого трансформатором в эксплуатации, уровень звука на заданном расстоянии  $R$  от трансформатора ( $R > 30$  м) можно определить по формуле

$$L_A(R) = L_{WA} - 10 \lg \frac{S}{S_0}, \quad (1)$$

где  $S = 2\pi R^2$ .

Пусть на ПС расположены 2 ТМ и она расположена относительно рассматриваемой территории в соответствии со схемой приведенной на рисунке 7. Расстояния  $R_1$  и  $R_2$  неизвестны, а  $l$  - известно (из проекта).



Р.Т. – расчетная точка

Рисунок 6 – Схема расположения ПС относительно жилой застройки

Чтобы определить минимальное расстояние от источников, расположенных на ПС, до границы жилой застройки по формуле (1) необходимо принять следующие допущения:

- 1) так как расстояние между трансформаторами  $l$  небольшое и

$R_1 \gg l, R_2 \gg l$  то два и более источника можно заменить одним. При этом его скорректированный уровень звуковой мощности будет равен

$$L_{WAS} = 10 \lg \sum_{i=1}^N 10^{0,1 L_{WAi}},$$

где  $N$  - количество источников шума (ТМ);

$L_{WAi}$  - скорректированный уровень звуковой мощности  $i$ -го источника шума, дБА;

2) на границе жилой застройки уровень звука должен равен допустимому уровню звука  $L_A(R) = DV_{L_A}$ . Тогда  $R = R_{\min}$ .

Исходя из принятых допущений выражение (1) можно переписать в следующем виде

$$DV_{L_A} = L_{WAS} - 10 \lg \frac{2\pi R_{\min}}{S_0}.$$

Разрешив последнее уравнение, относительно  $R_{\min}$  получим минимальное расстояние от источников шума на ПС до границы прилегающей территории

$$R_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(L_{WAS} - DV_{L_A})}}{2\pi}}.$$

Любое  $R \geq R_{\min}$  будет обеспечивать соблюдение санитарных норм по шуму на прилегающей к ПС территории. В данном случае реализуется принцип «защита расстоянием», а  $R_{\min} = L_{CЗ}$  санитарно-защитная зона (СЗЗ) по шуму.

### *Порядок расчета шума на примере реконструируемой подстанции*

1. По таблице 3 колонка № 13 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах помещениях жилых общественных зданий и на территории жилой застройки» определяем допустимый уровень шума в зависимости от типа территории прилегающей к ПС (см. Приложение А). При этом необходимо принять во внимание, что для некоторых территорий допустимые уровни устанавливаются с учетом времени суток. В расчетах принимаем наиболее жесткие требования, установленные для времени суток с 23.00 часов и до 07.00 часов.

2. Определяем шумовые характеристики источника шума (модель ТМ известна из расчетной части проекта реконструкции ПС), согласно ГОСТ 12.1.024-87 ССБТ «Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля». В данном стандарте приводятся скорректированные уровни звуковой мощности трансформаторов в зависимости от типовой мощности, класса напряжения и вида системы охлаждения (см. Приложения Б, В, Г, Д). Скорректированные уровни звуковой мощности приняты в качестве нормируемой величины шумовой характеристики трансформатора.

Для трансформаторов со значениями типовой мощности, которые отличаются от ряда мощностей, приведенных в Приложениях Б, В, Г, Д, скорректированный уровень звуковой мощности определяют по ближайшей большей мощности.

3. По формуле (1) определяем уровни шума, создаваемые Tr1 и Tr2 (см. рисунок б)

$$L_{A1} = L_{WA} - 10 \lg \frac{2\pi R_1^2}{S_0},$$

$$L_{A2} = L_{WA} - 10 \lg \frac{2\pi R_2^2}{S_0},$$

где  $R_1$  и  $R_2$  расстояния от источников  $Tr1$  и  $Tr2$  до расчетной точки Р.Т. соответственно.

Суммарный уровень шума в Р.Т. можно определить по формуле

$$L_{A\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^2 10^{0,1L_{Ai}} .$$

Если  $L_{A\Sigma} \leq ДУ_{LA}$ , то предусматривать мероприятия по снижению шума не требуется.

Если  $L_{A\Sigma} > ДУ_{LA}$ , то необходимо:

- 1) определить требуемое снижение шума по формуле (2);
- 2) разработать мероприятия, обеспечивающие снижение шума не менее чем на величину  $\Delta L_{TP}$ .

### **3.3.2 Мероприятия по защите от шума, создаваемого трансформаторами**

1. Защита расстоянием (СП 51.13330.2011 «Защита от шума») (см. п. 2.1.3.1).
2. Экранирование источника шума (СП 51.13330.2011 «Защита от шума»).

Если фактический уровень шума  $L_A$  превышает допустимый уровень шума  $ДУ_{LA}$  для прилегающей к подстанции территории, то требуемое снижение уровня шума определяется по формуле

$$\Delta L_{TP} = L_A - ДУ_{LA} . \tag{2}$$

Принцип действия экранов основан на отражении, поглощении или рассеивании падающих на них звуковых волн. Эффективность экранов зависит от их размеров, материала, из которого они изготавливаются и частотного спектра шума, на пути которого они устанавливаются. Применяемые эк-

раны должны обеспечить снижение шума не менее  $\Delta L_{TP}$ .

Экраны могут быть в плане плоскими и П-, Г- и О - образной формы (в этом случае их эффективность повышается). Если экран окружает источник шума с трех сторон, он превращается в выгородку, эффективность которой приближается к эффективности бесконечного экрана. Размеры акустического экрана следует выбирать исходя из конкретных условий его применения и требуемой эффективности. По крайней мере, размеры экрана должны быть в три раза больше линейных размеров источника шума.

В качестве экранов можно использовать:

- искусственные экраны, например, зелёные насаждения, железобетонные и металлические экраны и т.п.;

- естественные экраны, например, насыпи, рельеф местности и т.п.

Если для снижения шума применяют комбинацию различных экранов, например, зеленые насаждения и экран, то общее снижение уровня шума определится по формуле

$$\Delta L_{ATp} = \Delta L_{Aэкp} + \Delta L_{Aзел},$$

где  $\Delta L_{Aэкp}$  - снижение уровня звука экранами, дБА;

$\Delta L_{Aзел}$  - снижение уровня звука зелеными насаждениями, дБА.

Зеленые насаждения представляют собой искусственные экраны, которые позволяют снизить уровень шума, создаваемый источником шума.

При посадке полос зеленых насаждений должно быть обеспечено плотное примыкание крон деревьев между собой и заполнения пространства под кронами до поверхности земли кустарником.

Полосы зеленых насаждений должны предусматриваться из пород быстрорастущих деревьев и кустарников, устойчивых к условиям воздушной среды в городах и других населенных пунктах и произрастающих в соответствующей зоне. Высота деревьев должна быть (5 – 8) м. Возможные посадки

зеленых насаждений приведены в таблице 6.

Таблица 6

### Снижение шума полосами зеленых насаждений

№ п/п	Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы зеленых насаждений, м	Снижение уровня звука $\Delta L_{A_{зел}}$ , дБА
1	Однорядная полоса при шахматной посадке деревьев внутри полосы  * * * * * * * * * * * * *	10 – 15	4 – 5
		16 – 20	5 – 8
2	Двухрядная полоса при расстоянии между рядами (3 – 5) м	21 – 25	8 – 10

В полосах зеленых насаждений должно быть обеспечено плотное прилегание крон деревьев между собой и заполнение пространства под кронами до земли кустарниками.

3. Звукоизоляция источника шума (СП 51.13330.2011 «Защита от шума»). В этом случае источники шума (силовые трансформаторы) размещаются в здании, которые выполняются из кирпича или железобетонных плит.

#### 3.4 Шум, создаваемый воздушными линиями электропередачи

Коронный разряд, является причиной того, что воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) являются источником акустических шумов.

Коронный разряд, или корона – это самостоятельный разряд, возникающий в резко неоднородных полях, в которых ионизационные процессы могут происходить только в узкой области вблизи электродов. К такого рода полям относится и электрическое поле проводов ВЛЭП.

Начальная напряженность коронного разряда  $E_n$  (кВ/см) определяется для провода радиусом  $r$  (см) по формуле

$$E_n = 24,5m\delta\left(1 + \frac{0,65}{(\delta r)^{0,38}}\right),$$

где  $m$  – коэффициент гладкости провода;

$\delta$  - относительная плотность воздуха.

Коэффициент гладкости провода учитывает форму поверхности витого провода и для различных марок находится в пределах  $m = 0,82-0,94$ . При инее, гололеде и изморози  $m = 0,6$ , в условиях дождя или снега коэффициент гладкости зависит от интенсивности осадков и принимается в пределах  $m = 0,57-0,73$ .

Из последней формулы следует, что интенсивность короны зависит от погодных условий и радиуса провода. Наиболее сильный акустический шум возникает при коронировании высоковольтных ВЛЭП во время дождя и снега. В хорошую погоду шумы возрастают при загрязнении проводов.

На проводах малых диаметров  $D < 1$  см корона возникает в лавинной форме. Зона ионизации достаточно однородна, свечение сосредоточено в узком чехле.

При больших диаметрах проводов  $D > 1$  см напряженность электрического поля в окрестности провода уменьшается значительно медленнее, чем вблизи проводов малого диаметра. Поэтому зона ионизации – “чехол” короны – имеет большие размеры, и даже при начальном напряжении лавины могут достигать критической длины. Корона возникает в этом случае сразу в стримерной форме. Структура зоны ионизации дискретна, светятся многочисленные стримерные каналы.

Механизм возникновения шума, создаваемого коронным разрядом:

1. В зоне коронного разряда происходит ионизация воздуха. Движение объемного заряда от проводов к земле и создает акустический шум. Спектр частот такого шума кратен 100 Гц и воспринимается на слух как шипение.

2. В зоне коронного разряда воздух нагревается до температуры более 2000 °С. В связи с этим вокруг стримера возникают вихревые потоки, скорость воздуха в которых достигает 20 м/с, что воспринимается на слух как треск (см. рис. 7).



Рисунок 7 – Образование вихревых потоков в зоне стримерной короны

В таблице 7 приведены зависимость уровня шума для ВЛЭП от класса напряжения и погодных условий.

Таблица 7

**Зависимость уровня шума для ВЛЭП от класса напряжения и погодных условий на расстоянии 100 м**

№ п/п	Класс напряжения ВЛЭП, кВ	Уровень шума, создаваемый ВЛЭП, дБА	
		во время дождя	во время тумана
1	400	40	34
2	750	49	40
3	1050	51-75	45
4	1150	55-62	53

### 3.4.1 Расчет шума создаваемого воздушными линиями электропередачи

Уровень звука  $L_A$  (дБА) при дожде, создаваемый одной фазой на расстоянии  $R$  (м) от проекции крайнего провода ВЛЭП на землю в зависимости от конструктивных параметров провода и максимальной напряженности электрического поля на поверхности провода  $E_{\max}$  (кВ/см) определяется по эмпирической формуле

$$L_A = 16 + 1,14E_{\max} + 9r_0 + 15\lg n - 10\lg R,$$

где  $r_0$  – радиус провода, см;

$n$  – число проводов в расщепленной фазе.

Уровень звука  $L_{A\Sigma}$  (дБА) создаваемый ВЛЭП определяется по формуле

$$L_{A\Sigma} = L_A + 10 \lg n_\phi, \quad (3)$$

где  $n_\phi$  – количество фаз на опоре.

*Расчет максимальной напряженности электрического поля на поверхности провода*

Максимальная напряженность электрического поля на поверхности провода (кВ/см) определяется по формуле

$$E_{\max} = K_y E_{cp},$$

где  $K_y$  - коэффициент, учитывающий усиление напряженности поля вследствие влияния зарядов на соседних проводах расщепленной фазы;

$E_{cp}$  - средняя рабочая напряженность электрического поля на поверхности проводов расщепленной фазы, кВ/м.

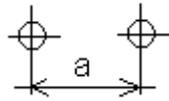
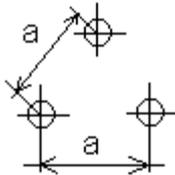
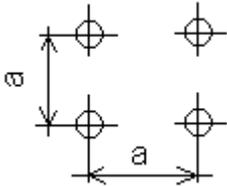
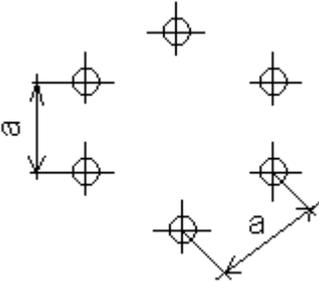
Коэффициент усиления рассчитывается по формуле

$$K_y = 1 + (n-1) \frac{r_0}{r_p},$$

где  $r_p$  - радиус расщепленной фазы, см.

Расчет радиуса расщепленной фазы  $r_p$  зависит от схемы расположения проводов в ней. Количество проводов в расщепленной фазе зависит от класса напряжения ВЛЭП. Класс напряжения дается по линейному напряжению в кВ. В таблице 8 приведены схемы размещения проводов в расщепленной фазе в зависимости от класса напряжения.

Таблица 8

№ п/п	Класс напряжения ВЛЭП, кВ	Количество проводов в расщепленной фазе	Схема размещения проводов в расщепленной фазе
1	330	2	
2	500	3	
3	750	4	
4	1150	6	

Например, для ВЛЭП 500 кВ в связи с тем, что провода в расщепленной фазе составляют равносторонний треугольник (см. рисунок 8), радиус расщепленной фазы можно рассчитать по формуле

$$r_p = \frac{a}{\sqrt{3}},$$

где  $a$  - шаг расщепления, см.

Средняя рабочая напряженность электрического поля на поверхности проводов расщепленной фазы

$$E_{cp} = \frac{U_{\phi}}{nr_0 \ln\left(\frac{S}{r_3}\right)},$$

где  $U_{\phi}$  - фазное напряжение, кВ;

$S$  - среднегеометрическое расстояние между фазами, см;

$r_3$  - эквивалентный радиус одиночного провода, имеющего ту же емкость, что и расщепленная фаза, см.

Фазное напряжение связано с линейным напряжением  $U_{л}$  (кВ) соотношением

$$U_{\phi} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}}.$$

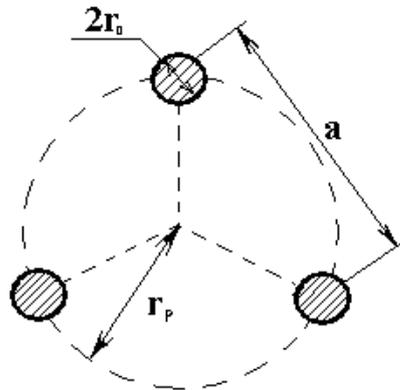


Рисунок 8 – Схема расположения проводов в расщепленной фазе ВЛЭП 500 кВ

Эквивалентный радиус провода  $r_{эв}$  рассчитывается по формуле

$$r_{эв} = \sqrt[n]{nr_0 r_p^{n-1}}.$$

Для ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов среднегеометрическое расстояние между фазами определяется по формуле

$$S = \frac{\sqrt[3]{2D_0}}{\sqrt[3]{\left(1 + \left(\frac{D_0}{2H}\right)^2\right)} \sqrt[3]{1 + \left(\frac{D_0}{H}\right)^2}},$$

где  $H$  – высота подвеса провода над поверхностью земли, м;

$D_0$  – расстояние между фазами, м.

При расчете шума наилучший вариант когда  $H = H_0$ , т.е. провода ВЛЭП располагаются наиболее близко к земле (см. рисунок 9).

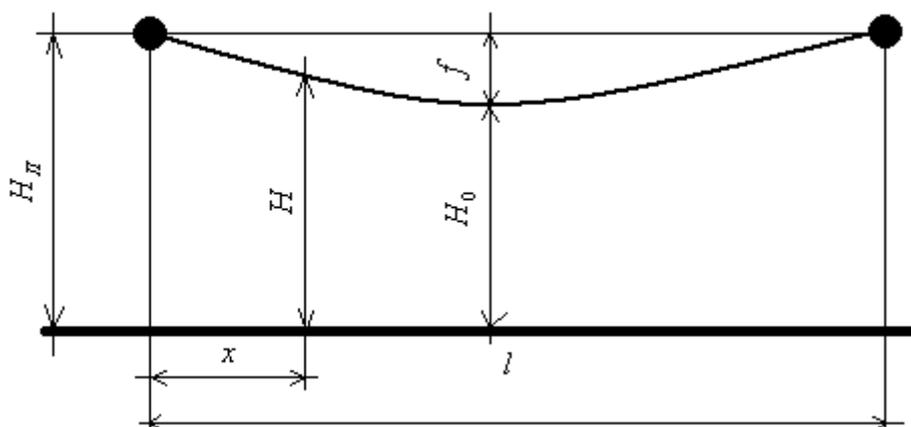


Рисунок 9 – К определению высоты размещения провода над землей

на разных расстояниях от опоры  $x$

$H_n$  - высота подвеса проводов на опоре, м;

$H$  - высота подвеса проводов на опоре на расстоянии  $x$ , м;

$H_0$  - габарит линии (на расстоянии  $l/2$  от опоры), м;

$l$  - длина пролета линии, м;

$f$  - стрела провеса провода, м.

На рисунке 10 приведена зависимость шума, создаваемого ВЛЭП 500 кВ, в зависимости от расстояния  $L_{A\Sigma} = f(R)$ .

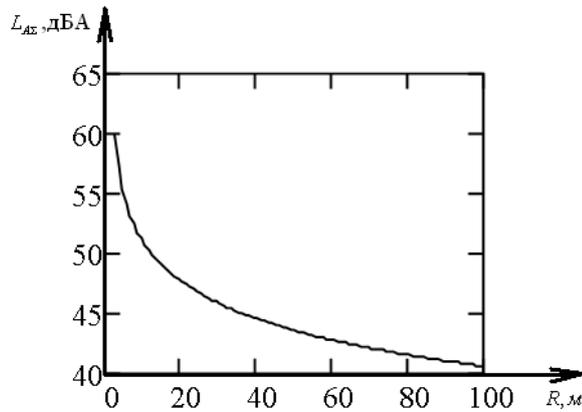


Рисунок 10 – Зависимость  $L_{A\Sigma} = f(R)$

$$a = 31 \text{ см}; H_0 = 8,65 \text{ м}; D_0 = 10,5 \text{ м}; r_0 = 1,26 \text{ см}$$

По формуле (3) можно определить минимальное расстояние от ВЛЭП до границы прилегающей территории, если принять  $L_{A\Sigma} = DV_{L_A}$  и  $R = R_{\min}$ :

$$R_{\min} = 10^{0,1(16+1,14E_{\max}+9r_0+15lg n+10lg n_{\phi}-DV_{L_A})}. \quad (4)$$

Любое значение  $R \geq R_{\min}$  будет обеспечивать соблюдение санитарных норм по шуму.

На практике конструктивные параметры ВЛЭП соответствуют оптимальным параметрам. Одним из важных параметров является шаг расщепления. На рисунке 11 показана зависимость максимальной напряженности электрического поля на поверхности провода от величины шага расщепления для значений  $H_0 = 8,65 \text{ м}; D_0 = 10,5 \text{ м}; r_0 = 1,26 \text{ см}$ .

Из результатов расчета следует, что  $a_{opt} = 26 \text{ см}$ , при этом  $E_{\max}$  принимает минимальное значение  $19,04 \text{ кВ/см}$ .

Если принять, что ВЛЭП проходит рядом с территорией прилегающей к селитебной зоне, для которой  $ДУ_{L_A}=45$  дБА, то для различных значений  $a$  в таблице 18 приведены рассчитанные по формуле (4)  $R_{min}$ . Расчеты приведены для  $a = 31$  см;  $H_0 = 8,65$  м;  $D_0 = 10,5$  м;  $r_0 = 1,26$  см. В таблице 9 жирным шрифтом выделено значение  $a_{opt}$  и минимальное значение  $R_{min}$ .

Таблица 9

**Минимальные расстояния от ВЛЭП до границы селитебной зоны в зависимости от шага расщепления**

$a$ , см	10	16	22	<b>25</b>	34	40	46	52	58	64	70	76	82
$R_{min}$ , м	59,92	43,66	40,08	<b>39,66</b>	40,54	42,02	43,88	45,98	48,26	50,68	53,21	55,84	58,56

Как следует из результатов расчета минимальный размер санитарно-защитной зоны для ВЛЭП по шуму ( $R_{min}$ ) соответствует оптимальному шагу расщепления  $a_{opt}$ . При таком шаге расщепления напряженность электрического поля на поверхности провода будет минимальна, следовательно, и интенсивность короны будет минимальна и уровень шума создаваемый ВЛЭП так же будет минимальным.

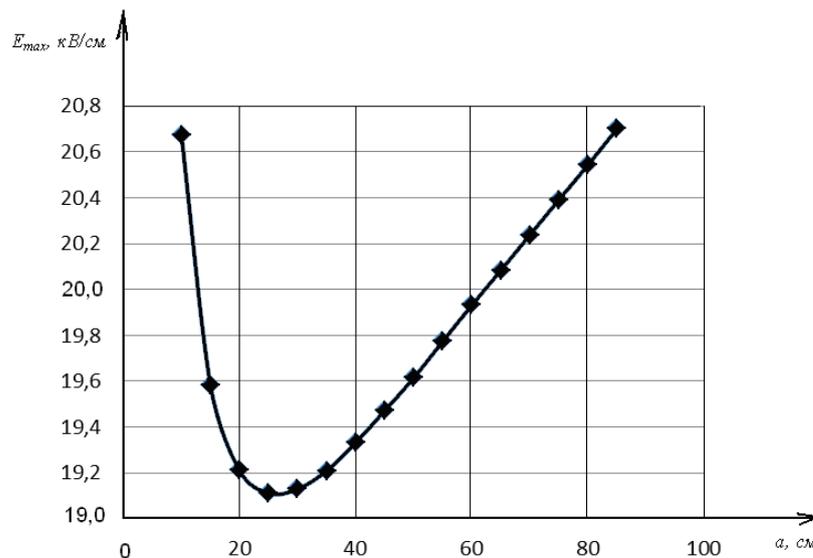


Рисунок 11 – Зависимость  $E_{max} = f(a)$

### 3.4.2 Мероприятия по защите от шума, создаваемого воздушными линиями электропередачи

1. Защита расстоянием (СП 51.13330.2011 «Защита от шума») (см. п. 3.4.1).

2. Оптимизация конструкции фазы ВЛЭП.

2.1. Расширенные провода.

Для уменьшения короны применяют провода большего диаметра, чем требуется для передачи мощности электрической энергии. В этом случае уменьшается напряженность электрического поля на поверхности провода.

При атмосферных осадках исключить коронирование проводов невозможно. Так как на территории России благоприятные погодные условия наблюдаются в течение (70 – 90) % годового времени, то диаметр проводов выбирают из условий исключения короны в хорошую погоду:

$$2r_0 \geq 0.011U_{ном}, U_{ном} = U_{л}.$$

Для ВЛЭП 110 кВ и 220 кВ наименьшие диаметры проводов, при которых исключается корона в хорошую погоду, соответственно составят 1,2 см и 2,4 см. Для ВЛЭП более высокого класса необходимо использовать провода еще большего диаметра, во многих случаях превышающего диаметр, выбранный из условия передачи по линии заданной мощности.

В таких случаях целесообразно иметь провода, площадь поперечного сечения которых по проводящему материалу и диаметру независимы. Это так называемые расширенные провода. Они имеют диаметр, при котором обеспечивается необходимое снижение напряженности поля на их поверхности, а для сокращения площади поперечного сечения делаются полыми или со стеклопластиковой сердцевиной. На рисунке 12 приведена фотография, полного расширенного провода для ВЛЭП 500 кВ ( $2r_0 = 4,5$  см).



Рисунок 12 – Расширенный полый провод

## 2.2 Расщепленные провода фаз (см. п. 3.4.1).

В настоящее время это широко распространенное на практике решение. Оно было предложено в 1910 году академиком В.Ф. Миткевичем. В этом случае каждая фаза линия состоит вместо одного провода большого диаметра из нескольких параллельных проводов относительно малого диаметра. В такой конструкции фазы удастся при требуемом суммарном сечении проводов существенно уменьшить максимальную напряженность поля на их поверхности. Решающим является то, что заряд каждого провода составляет только часть общего заряда расщепленной фазы.

Наиболее существенное влияние на максимальную напряженность электрического поля оказывает шаг расщепления  $a$ .

## 2.3 Изолированные провода.

## 4 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Источниками электромагнитного поля промышленной частоты являются электроустановки переменного тока (линии электропередачи, распределительные устройства, их составные части), электросварочное оборудование, физиотерапевтические аппараты, высоковольтное электрооборудование промышленного, научного и медицинского назначения.

Электроустановка - совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенная для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии.

ВЛЭП - устройство для передачи электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам и стойкам.

Электрическая сеть - совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линий электропередачи: предназначена для передачи и распределения электрической энергии.

### **4.1 Характеристики электромагнитного поля промышленной частоты**

Магнитное поле (МП) - одна из форм электромагнитного поля, создается движущимися электрическими зарядами и спиновыми магнитными моментами атомных носителей магнетизма.

Электрическое поле (ЭП) - одна из форм электромагнитного поля, создается электрическими зарядами или переменным магнитным полем.

Электромагнитное поле промышленной частоты (ЭМП ПЧ) это поле частотой  $f = 50$  Гц.

Фундаментальное соотношение между длиной  $\lambda$  и частотой электромагнитного поля  $f$  описывается формулой

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $c$  - скорость света в среде распространения, км/с ( $c = 300000$ ).

Подставляя в последнюю формулу значения для электромагнитного поля промышленной частоты, получим, что длина его волны равна 6000 км. В соответствии со схемой, приведенной на рисунке 13, человек по отношению к источнику электромагнитного поля промышленной частоты будет находиться в зоне индукции. Соответственно параметрами, характеризующими электромагнитное поле промышленной частоты, являются:

- напряженность электрического поля промышленной частоты (ЭП ПЧ)  $E$  (В/м);
- напряженность магнитного поля промышленной частоты (МП ПЧ)  $H$  (А/м).

Интенсивность МП ПЧ оценивается так же в единицах индукции магнитного поля (В) в мкТл, которые связаны с напряженностью ЭП ПЧ следующим соотношением:

$$H = V / \mu_0,$$

где  $\mu_0$  - магнитная постоянная, Гн/м ( $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ ).

При этом можно пользоваться следующими соотношениями  $1 \text{ А/м} \sim 1,25 \text{ мкТл}$  или  $1 \text{ мкТл} \sim 0,8 \text{ А/м}$ .

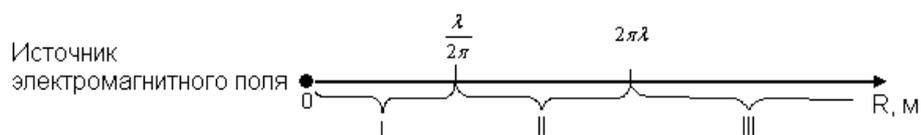


Рисунок 13 – Зоны излучения электромагнитного поля ( $\lambda$  – длина волны источника излучения)

- I – зона индукции; II – зона дифракции (промежуточная зона);
- III – волновая зона.

## **4.2 Нормирование электромагнитных полей промышленной частоты**

Предельно допустимые уровни (ПДУ) - уровни ЭМП ПЧ, воздействие которых не вызывают у людей заболеваний или отклонений в состоянии здоровья в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколения.

### **4.2.1 Электрическое поле промышленной частоты**

Санитарные нормы ЭП ПЧ для населения устанавливают «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты» (№ 2971-84 от 28 февраля 1984 года).

Термин "население" включает лиц, проживающих, работающих или временно находящихся вблизи ВЛ, в том числе работников сельхозпредприятий, автохозяйств и других организаций, проводящих работы вблизи ВЛ.

Санитарные нормы должны соблюдаться:

- при проектировании, сооружении и эксплуатации зданий, сооружений и зон организованного пребывания людей вблизи ВЛ;
- при проектировании, сооружении и эксплуатации ВЛ;
- при проведении работ вблизи ВЛ.

В качестве предельно допустимых уровней приняты следующие значения напряженности электрического поля:

- внутри жилых зданий - 0,5 кВ/м;
- на территории зоны жилой застройки - 1 кВ/м;
- в населенной местности, вне зоны жилой застройки (земли городов в пределах городской черты в границах их перспективного развития, пригородные и зеленые зоны, курорты, земли поселков городского типа, в пределах поселковой черты и сельских населенных пунктов, в пределах черты этих пунктов), а также на территории огородов и садов - 5 кВ/м;
- на участках пересечения ВЛ с автомобильными дорогами I-IV категории - 10 кВ/м;

- в ненаселенной местности (незастроенные местности, хотя бы и часто посещаемые людьми, доступные для транспорта и сельскохозяйственные угодья) - 15 кВ/м;

- в труднодоступной местности (не доступной для транспорта и сельскохозяйственных машин) и на участках, специально выгороженных для исключения доступа населения - 20 кВ/м.

При напряженности электрического поля выше 1 кВ/м должны быть приняты меры по исключению воздействия на человека ощутимых электрических разрядов и токов стекания.

Предельно допустимые значения напряженности нормируются для электрического поля, не искаженного присутствием человека. Напряженность электрического поля определяется на высоте 1,8 м от уровня земли, а для помещений - от уровня пола.

Контроль за соблюдением предельно допустимых уровней напряженности электрического поля следует производить:

- при приемке в эксплуатацию новых зданий, сооружений и зон организованного пребывания людей вблизи ВЛ;

- после проведения мероприятий по снижению уровней электрического поля ВЛ.

#### **4.2.2 Магнитное поле промышленной частоты**

Санитарные нормы МП ПЧ для населения устанавливают ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 «Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях».

Гигиенические нормативы распространяются на МП ПЧ, создаваемые элементами системы производства, передачи и распределения электроэнергии переменного тока промышленной частоты (кабельными линиями электропередачи, элементами системы электроснабжения класса напряжения  $\geq 220$  В, трансформаторными и распределительными устройствами трансформаторных подстанций, в том числе встроенных, воздушными линиями элект-

тропередачи напряжением 6-500 кВ), а также МП частотой 50 Гц, возникающими в металлоконструкциях и трубопроводах зданий и сооружений, в т.ч. создаваемые станциями катодной защиты.

Гигиенические нормативы направлены на предотвращение неблагоприятного влияния МП ПЧ на здоровье лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией и обслуживанием источников МП частотой 50 Гц: населения; лиц, профессионально не связанных с обслуживанием и эксплуатацией источников МП частотой 50 Гц, но подвергающихся их воздействию в процессе трудовой деятельности.

Нормирование МП частотой 50 Гц осуществляется дифференцированно в зависимости от места пребывания населения и категории лиц (нормативные значения представлены в таблице 10).

*Таблица 10*

**Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц**

№ п/п	Тип воздействия, территория	Интенсивность МП частотой 50 Гц (действующие значения), мкТл (А/м)
1	В жилых помещениях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных и медицинских учреждениях	5 (4)
2	В нежилых помещениях жилых зданий, общественных и административных зданиях, на селитебной территории, в том числе на территории садовых участков	10 (8)
3	В населенной местности вне зоны жилой застройки, в том числе в зоне воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ; при пребывании в зоне прохода воздушных и кабельных линий электропередачи лиц, профессионально не связанных с эксплуатацией электроустановок	20 (16)
4	В ненаселенной и труднодоступной местности с эпизодическим пребыванием людей	100 (80)

### **4.2.3 Мероприятия по защите от электрического поля промышленной частот**

1. Основным мероприятием защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого ВЛЭП, является создание санитарно-защитной зоны (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03) и строгое соблюдение требований, регламентирующих ее использование.

Санитарно-защитной зоной ВЛЭП является территория вдоль трассы ВЛ, в которой напряженность электрического поля превышает 1 кВ/м.

Для вновь проектируемых ВЛЭП, а также зданий и сооружений допускается принимать границы санитарно-защитных зон вдоль трассы ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности электрического поля по обе стороны отнесена следующих расстояниях от проекции на землю крайних фазных проводов в направлении, перпендикулярном к ВЛЭП;

20 м – для ВЛЭП напряжением 330 кВ;

30 м - для ВЛЭП напряжением 500 кВ;

40 м - для ВЛЭП напряжением 750 кВ;

55 м - для ВЛЭП напряжением 1150 кВ.

В пределах санитарно-защитной зоны запрещается:

- жилищное строительство и размещение зон отдыха;
- размещение предприятий по обслуживанию автотранспорта, складов нефтепродуктов;
- хранить и производить операции с горючими материалами всех видов;
- остановка транспорта, габариты которого превышают допустимые, ремонт машин и механизмов;
- проведение поливных работ поливальными машинами, водяная струя которых может войти в соприкосновение с проводами ВЛЭП;
- размещение незаземленных проводников большой протяженности (проволочные изгороди, растяжки для подвески винограда, хмеля и т.п.), доступных для населения;

- при расчистке трассы ВЛЭП валить одновременно несколько деревьев, влезать на деревья, а также работать при сильном ветре, тумане и гололеде.

На территории санитарно-защитной зоны ВЛЭП напряжением 750 кВ и выше запрещается:

- эксплуатировать машины и механизмы без защитных экранов, обеспечивающих снижение напряженности электрического поля на рабочих местах работающих;

- оставлять жилые здания и приусадебные участки;

- привлекать для сельскохозяйственных и других работ детей и подростков в возрасте до 18 лет.

Допускается:

- использование санитарно-защитной зоны ВЛЭП под размещение сельскохозяйственных культур, не требующих длительного пребывания людей при их обработке;

- сохранение и эксплуатация существующих жилых зданий и приусадебных участков, расположенных в пределах санитарно-защитной зоны ВЛЭП напряжением 330 - 500 кВ, при условии снижения напряженности электрического поля внутри жилых зданий и на открытой территории до значений, предусмотренных в СН 2971-84.

2. При организации работ в пределах санитарно-защитной зоны для снижения уровней электрического поля проводятся следующие мероприятия:

2.1. Движущиеся машины и механизмы (автомобили, трактора, сельскохозяйственные самодвижущиеся и прицепные агрегаты и т.п.) оснащаются надежным электрическим контактом с землей. Для заземления машин и механизмов на пневматическом ходу допускается использовать металлическую цепь, закрепленную на несущей раме.

2.2. Машины и механизмы, не имеющие металлических кабин, должны быть оборудованы защитными экранами, козырьками, соединенными с корпусом. Экраны и козырьки могут выполняться из листового металла или ме-

таллической сетки.

2.3. Для исключения электрических разрядов при контакте человека с проводниками их заземляют, протяженные проводники заземляют в нескольких местах и размещают перпендикулярно по отношению к ВЛЭП.

При проведении строительно-монтажных работ протяженные металлические изделия (трубопроводы, провода линий связи и т.п.) заземляются в местах работы и не менее чем в двух точках в других местах.

3. Сохраненные в пределах санитарно-защитной зоны здания защищаются заземленным экраном, металлические кровли надежно заземляются не менее чем в двух местах. При устройстве заземлений величина сопротивления не нормируется.

4. Для снижения напряженности электрического поля на открытых территориях устанавливаются, при необходимости, тросовые экранирующие устройства, а также железобетонные заборы, с этой же целью производится посадка деревьев и кустарников высотой не менее 2 м.

5. В местах пересечения дорог с ВЛЭП устанавливаются знаки, запрещающие остановку транспорта и, при необходимости, ограничивающие габариты транспортного средства.

6. В процессе подготовки и проведения работ вблизи ВЛЭП лица, ответственные за проведение этих работ, обязаны проводить инструктаж работающих и контролировать выполнение мер защиты от воздействия электрического поля и соблюдение требований техники безопасности.

7. В населенных пунктах, вблизи которых проходит ВЛЭП, предприятия электрических сетей совместно с органами местных Советов народных депутатов организуют разъяснительную работу среди населения по пропаганде мер безопасности при работах и нахождении людей вблизи ВЛЭП, а также проводят установку предупредительных знаков в местах повышенной опасности.

#### **4.2.4 Мероприятия по защите от магнитного поля промышленной частоты**

1. Защита человека от неблагоприятного влияния МП ПЧ осуществляется посредством снижения действующих на него уровней МП, создаваемых постоянно действующими источниками, размещенными как внутри, так и вне жилых и общественных зданий, в т.ч. на селитебной территории.

2. Обеспечение защиты населения от неблагоприятного влияния МП ПЧ достигается:

- удалением источников МП от мест проживания (принцип защита расстоянием);

- разработкой специальных инженерно-технических решений, позволяющих снизить уровни МП от уже имеющихся источников до значений ПДУ.

3. Снижение уровней МП ПЧ локальных источников может обеспечиваться применением экранов, изготовленных из материалов с высокой магнитной проницаемостью, либо применением средств активной компенсации МП ПЧ.

4. Снижение уровней МП ПЧ внутри зданий от источников, вызванных наличием токов утечки и несбалансированных токов в кабельных линиях и металлоконструкциях здания, включая системы трубопроводов, обеспечивается путем устранения токов утечки и дисбаланса токов.

5. Снижение уровней МП ПЧ на селитебных территориях и внутри жилых и общественных зданий от протяженных источников (включая воздушные и кабельные линии электропередачи) обеспечивается посредством применения контурных экранов, либо путем оптимального (с точки зрения само-и/или взаимокompенсации) расположения источников МП.

6. Владельцы (или уполномоченные лица) источников МП ПЧ Гц, зданий и территорий, где расположены эти источники, проходят обучение по вопросам обеспечения санитарно-эпидемиологических требований электромагнитной безопасности работающих и населения.

#### 4.2.5 Расчет электрического поля промышленной частоты, создаваемого высоковольтными воздушными линиями электропередач

Напряженность ЭП ПЧ  $E$  (кВ/м), создаваемая ВЛЭП с горизонтальным расположением проводов на расстоянии  $x$  от проекции средней фазы на землю на высоте  $h$  (м) от поверхности земли рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{CU_{\phi}}{4\pi\epsilon_0} \times \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2}, \quad (5)$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$  - коэффициенты;

$C$  - емкость фазы относительно земли, Ф/м;

$\epsilon_0$  - электрическая постоянная, Ф/м ( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ ).

Коэффициенты  $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$  рассчитываются по следующим формулам

$$k_1 = \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2};$$

$$k_2 = \frac{H-h}{m_A^2} + \frac{H+h}{n_A^2};$$

$$k_3 = \frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2};$$

$$k_4 = \frac{H-h}{m_B^2} + \frac{H+h}{n_B^2};$$

$$k_5 = \frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2};$$

$$k_6 = \frac{H-h}{m_C^2} + \frac{H+h}{n_C^2};$$

где  $m$  и  $n$  – отрезки, являющиеся гипотенузами соответствующих прямоугольных треугольников (см. рисунок 14), м.

Отрезки  $m$  и  $n$  определяют по следующим формулам

$$m_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H-h)^2};$$

$$n_A = \sqrt{(x+d)^2 + (H+h)^2};$$

$$m_B = \sqrt{x^2 + (H-h)^2};$$

$$n_B = \sqrt{x^2 + (H+h)^2};$$

$$m_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H-h)^2};$$

$$n_C = \sqrt{(x-d)^2 + (H+h)^2}.$$

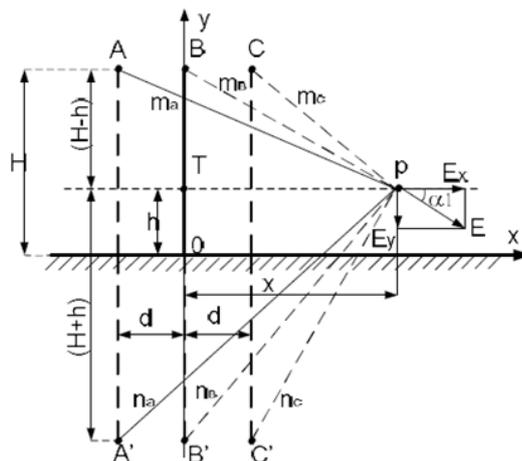


Рисунок 14 – К расчету напряженности ЭП ПЧ создаваемой ВЛЭП у поверхности земли на высоте  $h$  и расстоянии  $x$  от оси линии

Расчет напряженности ЭП ПЧ проводится на высоте  $h = 1,8$  м. Это свя-

зано с тем, что после реализации проекта проводится инструментальный контроль  $E$ , который в соответствии с «Методические указания по определению электромагнитного поля воздушных высоковольтных линий электропередачи и гигиенические требования к их размещению» (утв. Минздравом СССР 30.05.1986 № 4109-86) должен проводиться на высоте  $h = 1,8$  м.

Измерения уровней электрического поля производятся:

- на этапе предупредительного санитарного надзора - при приемке ВЛЭП в эксплуатацию;

- на этапе текущего санитарного надзора - при изменении ситуационных условий в местах размещения ВЛЭП (появление новых зданий, мест пребывания людей и т.п.);

- после проведения защитных мероприятий, направленных на снижение уровней электрического поля;

- в порядке плановых контрольных измерений (не реже одного раза в год).

Емкость фазы  $C$  (Ф/м) относительно земли на единицу длины линии с горизонтальным расположением проводов рассчитывается по формуле

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{2H_{cp} D_0}{r_{э\text{кв}} \sqrt[3]{(4H_{cp}^2 + D_0^2) \sqrt{H_{cp}^2 + D_0^2}}}},$$

где  $H_{cp}$  – средняя высота подвеса проводов над поверхностью земли, м;

$r_{э\text{кв}}$  – эквивалентный радиус провода, м.

Эквивалентный радиус провода можно так же рассчитать по следующей формуле

$$r_{э\text{кв}} = P^n \sqrt[n]{r_0 a^{n-1}},$$

где  $P$  - поправочный коэффициент.

Для  $n = 2$  и  $n = 3$  коэффициент  $P = 1$ , а для  $n = 4$   $P = 1,09$ .

Наибольшая напряженность ЭП ПЧ, создаваемая ВЛЭП, будет для значений  $H = H_0$  (см. рисунок 9), так как высота подвеса фаз над землей будет наименьшей.

На рисунке 15 приведены результаты расчета напряженности ЭП ПЧ по формуле (5) на разных расстояниях от оси ВЛЭП 500 кВ для значений  $a = 37$  см;  $H_0 = 8,65$  м;  $D_0 = 10,5$  м;  $r_0 = 1,26$  см.

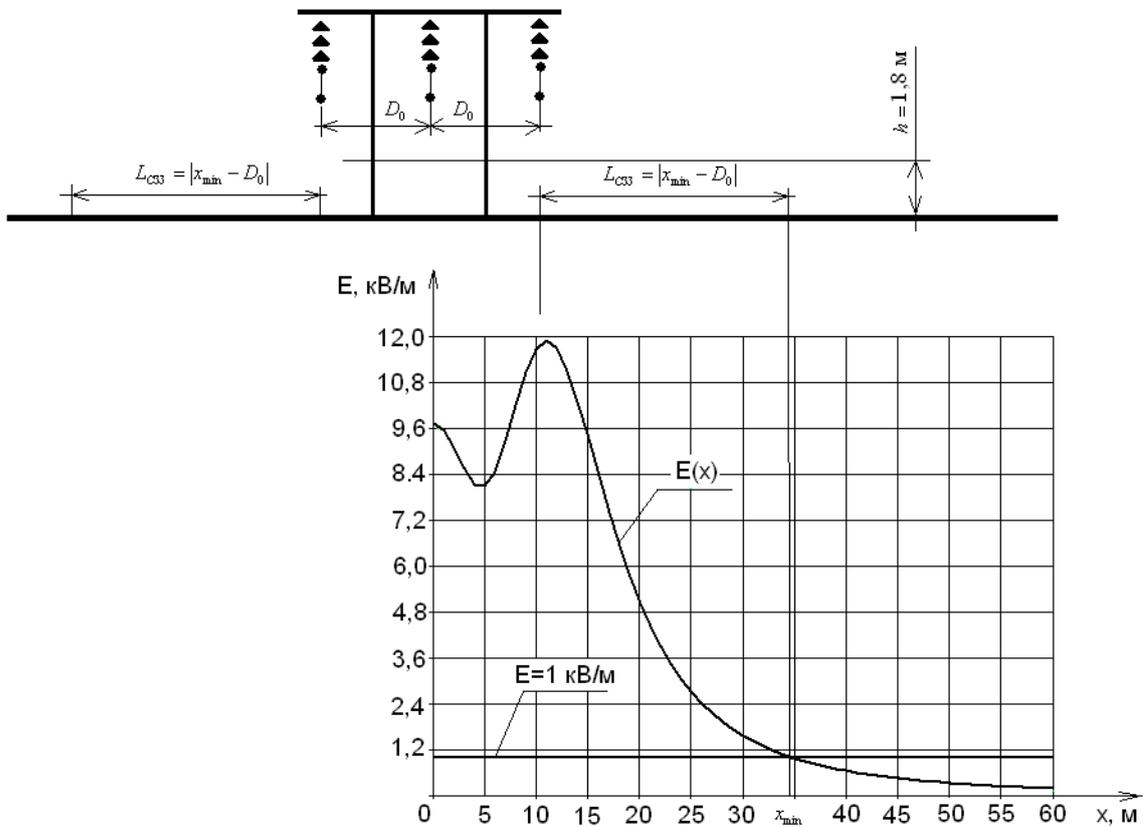


Рисунок 15 – Распределение напряженности ЭП ПЧ на разных расстояниях от оси ВЛЭП 500 кВ

Из определения СЗЗ для ВЛЭП по ЭП ПЧ с горизонтальным расположением проводов и без средств снижения напряженности электрического поля следует, что одна граница СЗЗ ВЛЭП это проекция крайней фазы на зем-

лю, которая находится на расстоянии  $D_0$  от оси линии. Другая граница СЗЗ в точке на расстоянии  $x_{\min}$  на высоте  $h = 1,8$  м в которой напряженность ЭП ПЧ равна 1 кВ/м. СЗЗ расположены по обе стороны от оси ВЛЭП. Таким образом, размер СЗЗ по ЭП ПЧ для ВЛЭП можно определить по формуле (см. рисунок 15)

$$L_{СЗЗ} = |x_{\min} - D_0|.$$

## 5 МАСЛОПРИЕМНИКИ, МАСЛООТВОДЫ И МАСЛОСБОРНИКИ

### 5.1 Открытые распределительные устройства

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях маслонаполненных силовых трансформаторов (реакторов) с количеством масла более 1 т в единице в соответствии с ПУЭ п. 4.2.69 (7 ред.) должны быть выполнены маслоприемники, маслоотводы и маслоборники с соблюдением следующих требований:

1) габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформатора (реактора) не менее чем на 0,6 м при массе масла до 2 т; 1 м при массе от 2 до 10 т; 1,5 м при массе от 10 до 50 т; 2 м при массе более 50 т. При этом габарит маслоприемника может быть принят меньше на 0,5 м со стороны стены или перегородки, располагаемой от трансформатора (реактора) на расстоянии менее 2 м.

2) объем маслоприемника с отводом масла следует рассчитывать на единовременный прием 100 % масла, залитого в трансформатор (реактор).

Объем маслоприемника без отвода масла следует рассчитывать на прием 100 % объема масла, залитого в трансформатор (реактор), и 80 % воды от средств пожаротушения из расчета орошения площадей маслоприемника и боковых поверхностей трансформатора (реактора) с интенсивностью 0,2 л/с·м<sup>2</sup> в течение 30 мин;

3) устройство маслоприемников и маслоотводов должно исключать переток масла (воды) из одного маслоприемника в другой, растекание масла по кабельным и др. подземным сооружениям, распространение пожара, засорение маслоотвода и забивку его снегом, льдом и т.п.;

4) маслоприемники под трансформаторы (реакторы) с объемом масла до 20 т допускается выполнять без отвода масла. Маслоприемники без отвода масла должны выполняться заглубленной конструкции и закрываться металлической решеткой, поверх которой должен быть насыпан слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной не менее 0,25 м, либо непо-

ристого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм. Уровень полного объема масла в маслоприемнике должен быть ниже решетки не менее чем на 50 мм.

Удаление масла и воды из маслоприемника без отвода масла должно предусматриваться передвижными средствами. При этом рекомендуется выполнение простейшего устройства для проверки отсутствия масла (воды) в маслоприемнике;

5) маслоприемники с отводом масла могут выполняться как заглубленными, так и незаглубленными (дно на уровне окружающей планировки). При выполнении заглубленного телеприемника устройство бортовых ограждений не требуется, если при этом обеспечивается объем маслоприемника, указанный в п. 2.

Маслоприемники с отводом масла могут выполняться:

с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м;

без металлической решетки с засыпкой гравия на дно маслоприемника толщиной слоя не менее 0,25 м.

Незаглубленный маслоприемник следует выполнять в виде бортовых ограждений маслонаполненного оборудования. Высота бортовых ограждений должна быть не более 0,5 м над уровнем окружающей планировки.

Дно маслоприемника (заглубленного и незаглубленного) должно иметь уклон не менее 0,005 в сторону приемка и быть засыпано чисто промытым гранитным (либо другой непористой породы) гравием или щебнем фракцией от 30 до 70 мм. Толщина засыпки должна быть не менее 0,25 м.

Верхний уровень гравия (щебня) должен быть не менее чем на 75 мм ниже верхнего края борта (при устройстве маслоприемников с бортовыми ограждениями) или уровня окружающей планировки (при устройстве маслоприемников без бортовых ограждений).

Допускается не производить засыпку дна маслоприемников по всей площади гравием. При этом на системах отвода масла от трансформаторов

(реакторов) следует предусматривать установку огнепреградителей;

6) при установке маслонаполненного электрооборудования на железобетонном перекрытии здания (сооружения) устройство маслоотвода является обязательным;

7) маслоотводы должны обеспечивать отвод из маслоприемника масла и воды, применяемой для тушения пожара, автоматическими стационарными устройствами и гидрантами на безопасное в пожарном отношении расстояние от оборудования и сооружений: 50 % масла и полное количество воды должны удаляться не более чем за 0,25 ч. Маслоотводы могут выполняться в виде подземных трубопроводов или открытых кюветов и лотков;

8) маслосборники должны предусматриваться закрытого типа и должны вмещать полный объем масла единичного оборудования (трансформаторов, реакторов), содержащего наибольшее количество масла, а также 80 % общего (с учетом 30-минутного запаса) расхода воды от средств пожаротушения. Маслосборники должны оборудоваться сигнализацией о наличии воды с выводом сигнала на щит управления. Внутренние поверхности маслоприемника, ограждений маслоприемника и маслосборника должны быть защищены маслостойким покрытием.

## **5.2 Закрытые распределительные устройства и подстанции**

В закрытых распределительных устройствах и подстанциях в соответствии с ПУЭ, п. 4.2.102 и п. 4.2.103 (7 ред.) должны предусматриваться мероприятия по защите окружающей среды от загрязнения трансформаторным маслом.

В закрытых отдельно стоящих, пристроенных и встроенных в производственные помещения ПС, в камерах трансформаторов и других маслонаполненных аппаратов с массой масла в одном баке до 600 кг при расположении камер на первом этаже с дверями, выходящими наружу, маслосборные устройства не выполняются.

При массе масла или негорючего экологически безопасного диэлектрика в одном баке более 600 кг должен быть устроен маслоприемник, расчи-

танный на полный объем масла, или на удержание 20 % масла с отводом в маслосборник.

При сооружении камер над подвалом, на втором этаже и выше, а также при устройстве выхода из камер в коридор под трансформаторами и другими маслonaполненными аппаратами должны выполняться маслоприемники по одному из следующих способов:

1) при массе масла в одном баке (полюсе) до 60 кг выполняется порог или пандус для удержания полного объема масла;

2) при массе масла от 60 до 600 кг под трансформатором (аппаратом) выполняется маслоприемник, рассчитанный на полный объем масла, либо у выхода из камеры - порог или пандус для удержания полного объема масла;

3) при массе масла более 600 кг:

маслоприемник, вмещающий не менее 20 % полного объема масла трансформатора или аппарата, с отводом масла в маслосборник. Маслоотводные трубы от маслоприемников под трансформаторами должны иметь диаметр не менее 10 см. Со стороны маслоприемников маслоотводные трубы должны быть защищены сетками. Дно маслоприемника должно иметь уклон 2 % в сторону приямка;

маслоприемник без отвода масла в маслосборник. В этом случае маслоприемник должен быть перекрыт решеткой со слоем толщиной 25 см чистого промытого гранитного (либо другой непористой породы) гравия или щебня фракцией от 30 до 70 мм и должен быть рассчитан на полный объем масла; уровень масла должен быть на 5 см ниже решетки. Верхний уровень гравия в маслоприемнике под трансформатором должен быть на 7,5 см ниже отверстия воздухоподводящего вентиляционного канала. Площадь маслоприемника должна быть более площади основания трансформатора или аппарата.

### **5.3 Расчет маслоприемника без отвода трансформаторного масла**

Если на открытом распределительном устройстве (ОРУ) установлен маслonaполненный силовой трансформатор и масса трансформаторного мас-

ла в нем масла более 1 т и меньше 20 тонн, то в соответствии с п. 4.2.69 «Правила устройства электроустановок» (ПУЭ - 7-я редакция) маслоприемник допускается выполнять без отвода масла.

Маслоприемники без отвода масла должны выполняться заглубленной конструкции и закрываться металлической решеткой, поверх которой должен быть насыпан слой чистого гравия или промытого гранитного щебня толщиной не менее 0,25 м, либо непористого щебня другой породы с частицами от 30 до 70 мм. Уровень полного объема масла в маслоприемнике должен быть ниже решетки не менее чем на 50 мм.

Удаление масла и воды из маслоприемника без отвода масла должно предусматриваться передвижными средствами. При этом рекомендуется выполнение простейшего устройства для проверки отсутствия масла (воды) в маслоприемнике

Объем маслоприемника без отвода масла следует рассчитывать на прием 100 % объема масла, залитого в трансформатор (реактор), и 80 % воды от средств пожаротушения из расчета орошения площадей маслоприемника и боковых поверхностей трансформатора (реактора) с интенсивностью 0,2 л/с·м<sup>2</sup> в течение 30 мин.

Габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформатора (реактора) не менее чем на  $\Delta \geq 0,6$  м при массе масла до 2 т;  $\Delta \geq 1$  м при массе от 2 до 10 т;  $\Delta \geq 1,5$  м при массе от 10 до 50 т;  $\Delta \geq 2$  м при массе более 50 т. При этом габарит маслоприемника может быть принят меньше на 0,5 м со стороны стены или перегородки, располагаемой от трансформатора (реактора) на расстоянии менее 2 м.

Конструкция маслоприемника без отвода масла приведена на рисунке 16. На рисунке 16 показаны размеры для расчета длины и ширины маслоприемника.

Длину  $A_{mn}$  и ширину  $B_{mn}$  маслоприемника исходя из выше сказанного можно определить по формуле (см. рисунок 17)

$$A_{мп} = A_T + 2\Delta,$$

$$B_{мп} = B_T + 2\Delta,$$

где  $A_m$  – длина трансформатор, м;

$B_m$  – ширина трансформатора, м.

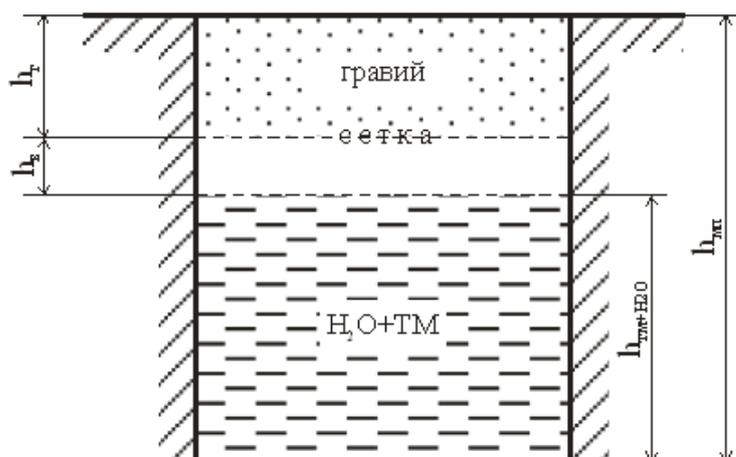


Рисунок 16 – Конструкция маслоприемника без отвода трансформаторного масла и воды (эскиз)

Площадь маслоприемника:

$$S_{мп} = A_{мп}B_{мп}.$$

Объем маслоприемника без отвода масла рассчитываем по формуле

$$V_{мп} = V_{тм} + 0,8V_{вода},$$

где  $V_{тм}$  – объем трансформаторного масла, м<sup>3</sup>;

$V_{вода}$  – объем воды от средств пожаротушения, м<sup>3</sup>.

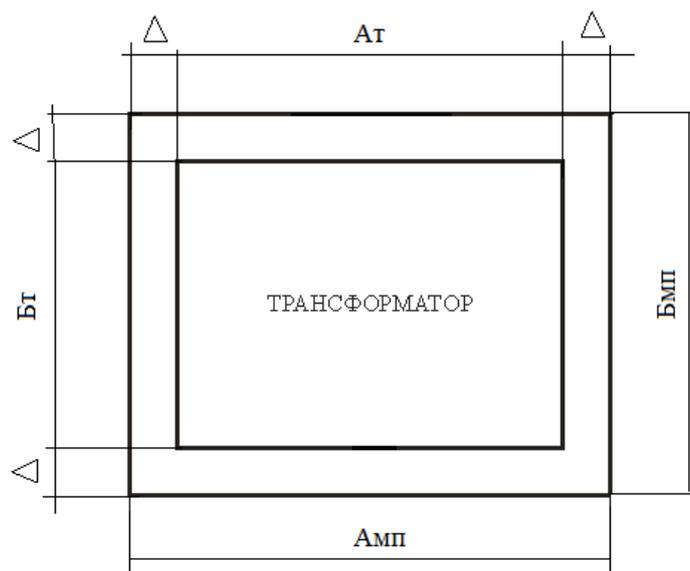


Рисунок 17 – К расчету габарита маслоприемника

Объем трансформаторного масла определяется по формуле

$$V_{тм} = \frac{M_{тм}}{\rho_{тм}},$$

где  $M_{тм}$  – масса трансформаторного масла, кг;

$\rho_{тм}$  – плотность трансформаторного масла, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{тм} = (880 - 890)$  кг/м<sup>3</sup>).

Объем воды от средств пожаротушения определяется по формуле:

$$V_{воды} = 0,8It(S_{мп} + S_{БПТ}),$$

где  $I$  – интенсивность пожаротушения, л/(с·м<sup>2</sup>) ( $I = 0,2$  л/(с·м<sup>2</sup>);

$t$  – нормативное время пожаротушения, мин ( $t = 30$  мин);

$S_{БПТ}$  – площадь боковой поверхности трансформатора, м<sup>2</sup>.

Площадь боковой поверхности трансформатора равна:

$$S_{БПТ} = 2H_m(A_m + B_m),$$

где  $H_m$  – высота трансформатора, м.

Глубина маслоприемника равна

$$\square_{мп} = \square_{тм} + \square_{воды} + \square_{в} + \square_{гр},$$

где  $\square_{тм}$  – глубина маслоприемника для приема 100 % трансформаторного масла, м;

$\square_{воды}$  – глубина маслоприемника для приема 80 % воды от средств пожаротушения, м;

$\square_{в}$  – глубина воздушного зазора между решеткой с гравием и смесью трансформаторного масла и воды в маслоприемнике, м (не менее 50 мм);

$\square_{гр}$  – толщина гравия (щебня), м (не менее 0,25 м).

Или последнюю формулу можно переписать в виде

$$h_{мп} = \frac{V_{тм}}{S_{мп}} + \frac{V_{воды}}{S_{мп}} + h_{в} + h_{гр}.$$

#### 5.4 Расчет маслоприемника с отводом трансформаторного масла

Для предотвращения растекания масла и распространения пожара при повреждениях маслонаполненных силовых трансформаторов (реакторов) с количеством масла более 1 т в единице должны быть выполнены маслоприемники, маслоотводы и маслосборники с соблюдением следующих требований:

1) габариты маслоприемника должны выступать за габариты трансформатора (реактора) не менее чем на 0,6 м при массе масла до 2 т; 1 м при массе от 2 до 10 т; 1,5 м при массе от 10 до 50 т; 2 м при массе более 50 т. При этом габарит маслоприемника может быть принят меньше на 0,5 м со стороны стены или перегородки, располагаемой от трансформатора (реактора) на рас-

стоянии менее 2 м.

2) объем маслоприемника с отводом масла следует рассчитывать на единовременный прием 100 % масла, залитого в трансформатор (реактор).

3) маслоприемник с отводом масла выполняется в случае, если объем масла в единице маслonaполненного оборудования более 20 т.

4) маслоприемники с отводом масла могут выполняться как заглубленными, так и незаглубленными (дно на уровне окружающей планировки). При выполнении заглубленного маслоприемника устройство бортовых ограждений не требуется, если при этом обеспечивается объем маслоприемника, указанный в п. 2.

5) маслоприемники с отводом масла могут выполняться:

- с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м;

- без металлической решетки с засыпкой гравия на дно маслоприемника толщиной слоя не менее 0,25 м.

Незаглубленный маслоприемник следует выполнять в виде бортовых ограждений маслonaполненного оборудования. Высота бортовых ограждений должна быть не более 0,5 м над уровнем окружающей планировки.

Дно маслоприемника (заглубленного и незаглубленного) должно иметь уклон не менее 0,005 в сторону приемка и быть засыпано чисто промытым гранитным (либо другой непористой породы) гравием или щебнем фракцией от 30 до 70 мм. Толщина засыпки должна быть не менее 0,25 м.

Верхний уровень гравия (щебня) должен быть не менее чем на 75 мм ниже верхнего края борта (при устройстве маслоприемников с бортовыми ограждениями) или уровня окружающей планировки (при устройстве маслоприемников без бортовых ограждений).

Допускается не производить засыпку дна маслоприемников по всей площади гравием. При этом на системах отвода масла от трансформаторов (реакторов) следует предусматривать установку огнепреградителей;

Длину  $A_{mn}$  и ширину  $B_{mn}$  маслоприемника исходя из выше сказанного

можно определить по формуле (см. рисунок 36)

$$A_{mn} = A_m + 2\Delta,$$

$$B_{mn} = B_m + 2\Delta,$$

где  $A_m$  – длина трансформатора, м;  
 $B_m$  – ширина трансформатора, м.

Площадь маслоприемника:

$$S_{mn} = A_{mn}B_{mn}.$$

Примем следующую конструкцию маслоприемника - с установкой металлической решетки на маслоприемнике, поверх которой насыпан гравий или щебень толщиной слоя 0,25 м. В этом случае конструкция маслоприемника с отводом масла, с учетом выше перечисленных требований, приведена на рисунке 18.

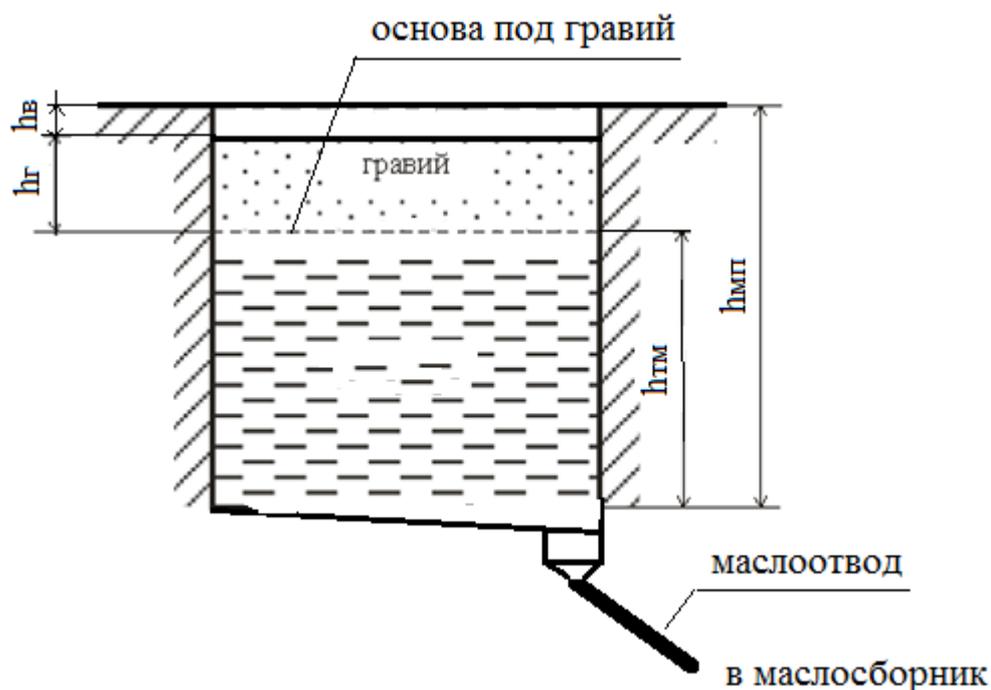


Рисунок 18 - Конструкция маслоприемника с отводом трансформаторного масла и воды (эскиз)

Объем трансформаторного масла определяется по формуле

$$V_{тм} = \frac{M_{тм}}{\rho_{тм}},$$

где  $M_{тм}$  – масса трансформаторного масла, кг;

$\rho_{тм}$  – плотность трансформаторного масла, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_{тм} = (880 - 890)$  кг/м<sup>3</sup>).

Глубина маслоприемника с отводом трансформаторного масла принятой конструкции равна

$$\square_{мп} = \square_{тм} + \square_{\epsilon} + \square_{зр},$$

где  $\square_{тм}$  – глубина маслоприемника для приема 100 % трансформаторного масла, м;

$\square_{\epsilon}$  – глубина воздушного зазора между гравием на решетки и нулевой отметки ОРУ, м (не менее 75 мм);

$\square_{зр}$  – толщина гравия (щебня), м (0,25 м).

Глубину маслоприемника для приема 100 % трансформаторного масла рассчитываем по формуле

$$h_{тм} = \frac{V_{тм}}{S_{мп}}.$$

## 5.5 Расчет маслоотвода и маслосборника

При принятых выше обозначениях и требованиях к маслосборнику его объём должен быть не менее

$$V_{мс} \geq V_{тм} + V_{воды},$$

$$V_{воды} = 0,8It(S_{мп} + S_{БИТ}),$$

$$V_{mm} = \frac{M_{mm}}{\rho_{mm}}.$$

В качестве маслосборника можно использовать стандартные емкости. При это в грунте верхний уровень маслосборника должен располагаться ниже дна маслоприемника с отводом масла. Это обеспечит стекание трансформаторного масла и воды, используемой при пожаре, из маслоприемника с отводом масла в маслосборник за счет сил гравитации.

Расчет маслоотводов приведен в «Рекомендации по проектированию систем отвода масла от трансформаторов на подстанциях» № 11099ТМ-Т от 03,12.90 г.

## 6 РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА

### 6.1 Общие требования

1. На первом занятии преподаватель выдает студентам индивидуальные задания.

2. Форма оформления расчетно-графической работы приведена в Приложении Е). Расчетно-графическая работа оформляется на листах формата А4, машинописный вариант.

3. Перед защитой преподаватель проверяет расчетно-графическую работу. В случае выявленных недостатков расчетно-графическая работа возвращается на доработку. В случае отсутствия замечаний допускается к защите.

### 6.2 Порядок выполнения расчетно-графической работы

1. Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия, изложенного в данном методическом пособии и рекомендуемой.

2. Ознакомиться с соответствующими нормативными правовыми актами, регламентирующими нормативные значения исследуемых факторов, приведенными в рекомендуемой литературе.

3. Ознакомиться с методикой расчета.

4. Выполнить индивидуальное задание, провести анализ полученных результатов, сделать вывод.

5. Оформить результаты расчета.

8. Защитить расчетно-графическую работу.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды / Г.Н. Александров : Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. – 360 с.
2. Базуткин В.В., Ларионов, Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений : Изоляция и перенапряжение в электрических системах / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь; под общ. Ред. В.П. Ларионова : Учебник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
3. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках : Учебное пособие для вузов / П.А. Долин. – М.: Энергия, 1979. – 408 с.
4. Лазароиу Д.Ф., Бикир Н. Шум электрических машин и трансформаторов : Пер. с рум. / Д.Ф. Лазароиу, Н. Бикир. – М.: Энергия, 1973. – 271 с.
5. Охрана окружающей среды в электроэнергетике [Электронный ресурс] : сб. учеб. метод. материалов для направления подготовки 20.03.01 "Техносферная безопасность" / АмГУ, ИФФ ; сост. А. Б. Булгаков. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2017. - 97 с.  
[http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/9048.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/9048.pdf).
6. Справочник по технической акустики : Пер. с нем. / Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
7. Тупов В.Б. Охрана окружающей среды от шума в энергетике / В.Б. Тупов. – М.: Издательство МЭИ, 1999. – 192 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Допустимые уровни звукового давления, уровни звука, эквивалентные и на территории жилой застройки

№ п/п	Назначение территорий	Время суток	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц										Уровни звука $L_A$ и эквивалентные уровни звука $L_{Aэкв}$ , дБА	Максимальные уровни звука $L_{Amax}$ , дБА
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	<b>45</b>	60	
		с 23 до 7 ч	76	59	48	40	34	30	27	25	23	<b>35</b>	50	
2	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23 ч	90	75	66	59	54	50	47	45	44	<b>55</b>	70	
		с 23 до 7 ч	83	67	57	49	44	40	37	35	33	<b>45</b>	60	
3	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23 ч	93	79	70	63	59	55	53	51	49	<b>60</b>	75	
		с 23 до 7 ч	86	71	61	54	49	45	42	40	39	<b>50</b>	65	
4	Площадка отдыха на территории больниц и санаториев		76	59	48	40	34	30	27	25	23	<b>35</b>	50	
5	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений		83	67	57	49	44	40	37	35	33	<b>45</b>	60	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с естественной циркуляцией воздуха и масла (система охлаждения вида М)

Типовая мощность, кВ·А	Корректированный уровень звуковой мощности $L_{WA}$ , дБА, для классов напряжения, кВ		Типовая мощность, кВ·А	Корректированный уровень звуковой мощности $L_{WA}$ , дБА, для классов напряжения, кВ	
	6-35	110; 150		6-35	110; 150
100	59	-	1600	75	-
160	62	-	2500	76	78
250	65	-	4000	79	80
400	68	-	6300	81	82
630	70	-	10000	83	84
1000	73	-			

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### **Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла (система охлаждения вида Д)**

Типовая мощность, МВ·А	Корректированный уровень звуковой мощности $L_{WA}$ , дБА, для классов напряжения, кВ		
	10-110	150	220; 330
10	87	-	-
16	88	89	-
25	89	90	-
32	90	91	94
40	91	92	97
63	95	96	99
80	98	99	102
125	102	103	105

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### **Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воздуха и масла (системы охлаждения видов ДЦ и НДЦ)**

Типовая мощность трансформатора, МВ·А	Корректированный уровень звуковой мощности $L_{WA}$ , дБА, для классов напряжения, кВ		
	110; 150	220; 330	500; 750
63	-	105	-
80	103	107	-
125	106	108	110
200	108	110	112
250	109	112	113
400	110	114	115
500	-	115	116

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Корректированные уровни звуковой мощности трансформаторов с принудительной циркуляцией воды и масла (системы охлаждения видов Ц, НЦ, МЦ и НМЦ)

Типовая мощность трансформатора, МВ·А	Корректированный уровень звуковой мощности $L_{WA}$ , дБА, для классов напряжения, кВ		
	150; 220	330; 500	750
160	105	-	-
200	107	108	-
250	109	110	-
400	111	112	-
630	112	114	115
1000	114	115	-
1250	-	116	-

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Форма и содержание отчета по РГР

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**(ФГБОУ ВО «АмГУ»)**

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_  
Направление подготовки бакалавров \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

Расчетно-графическая работа

Вариант № \_\_\_\_\_

по дисциплине: \_\_\_\_\_

Выполнил

студент группы \_\_\_\_\_ И.О.Ф.  
(подпись, дата)

Проверил

ученое звание, ученая степень \_\_\_\_\_ И.О.Ф.  
(подпись, дата)

Благовещенск 20\_\_\_\_\_

## Продолжение приложения Е

*I. Содержание*

*II. Условие задачи*

*III. Теоретическая часть*

*IV. Расчетная часть*

*V. Анализ результатов расчета*

*VI. Выводы*

*VII. Библиографический список*

*VIII. Приложения (при необходимости), например листинги программ по которым производились расчеты*

Учебное издание

**Булгаков Андрей Борисович,**  
*доцент кафедры безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО «АмГУ»,*  
*канд. техн. наук*

**Охрана окружающей среды в электроэнергетике**