УДК 621.3.015.33

ИМПУЛЬСНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

IMPULSE OVERVOLTAGES IN PROTECTION OF ELECTROTECHNICAL COMPLEXES

И. С. Сухачев, С. В. Воробьева
I. S. Suhachev, S. V. Vorobjeva

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Ключевые слова: ***заземление; импульсное перенапряжение; надежность молниезащиты***
Key words: ***earth device***; ***impulse overvoltage; reliable lightning protection***

Добыча углеводородных флюидов — важнейшая область промышленности современной России. Низкая надежность молниезащиты питающих нефтегазопромыслы электрических сетей от перенапряжений приводит к серьезным экономическим потерям: любой перебой в электроснабжении нарушает функционирование систем жизнеобеспечения и, как следствие, требует проведения затратных восстановительных работ.

К возникновению перенапряжений сети приводит:

а) действие разрядов атмосферного электричества — индуктированные перенапряжения и перенапряжения от прямого удара молнии;

б) некачественное электроснабжение электрической энергии — прямое прохождение высоковольтных импульсов напряжения и непредсказуемое многократное отключение напряжения за короткие промежутки времени одновременно на основном и резервном вводах.

Последнее усугубляется возможностью возникновения аварийной ситуации самого дизель-электрического агрегата (ДЭА) [1] как резервного источника напряжения, которое сводится к невозможности запуска двигателя, низкому давлению масла в двигателе, повышению температуры двигателя, неисправности зарядного генератора, повышению частоты вращения двигателя, перегрузке генератора и отклонению напряжения генератора от номинального значения. Данная ситуация не отвечает требованиям бесперебойного электроснабжения приемников первой категории особой группы.

Источником импульсного перенапряжения или другого искажения электрического тока также может быть разрывающийся электрический контакт, приводящий к нелинейным формам искажений, которые характеризуются появлением ряда гармонических составляющих исходного напряжения. Во временной области нелинейные искажения тока проявляются в образовании импульса тока, представляющие собой амплитудное перенапряжение сети. Амплитуда импульсов тока при переключении контактов выключателей и контакторов может принимать различные значения, зависящие от физических параметров контактов и электрических параметров сети. Кроме проявления нелинейных искажений, электрический контакт силовых выключателей и контакторов подвергается приводящему их к выходу из строя тепловому воздействию. Для сохранения электротехнического комплекса необходимо минимизировать влияние источника возникновения импульсных перенапряжений.

Как правило, таким источником в системах электроснабжения в основном являются молнии. Удар молнии рядом со зданием или вблизи линий электропередачи приводит к внезапному повышению напряжения с 230 В до 3÷6 кВ. На опорах, удаленных от места удара молнии, перенапряжения, электродинамические воздействия, напряжение на гирляндах изоляторов будут значительны.

Учитывая, что в Тюменской области значение среднегодовой продолжительности гроз составляет 40 часов, необходим анализ ситуаций при их воздействии на объекты нефтегазового комплекса, включая предприятия электросвязи, которые относятся к электроприемникам первой категории и в нормальных режимах работы должны обеспечиваться электро-

энергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв электроснабжения может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. Предприятие электросвязи дополнительно классифицируется как объект особой группы электроприемников первой категории, для которого предусмотрено дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания — ДЭА.

Электропитание рассматриваемого в статье объекта связи осуществляется от двух отдельно стоящих трансформаторных подстанций — ТП1 и ТП2. Молниезащита как трансформаторных подстанций, так и аппаратуры связи (приемопередающая антенна, высокочастотные усилители, кабели связи), состоит из установленного на вышке связи молниеприемника в виде одиночного штыря и собственного контура заземления.

Ранее в работе [2] указывалось о некоторых особенностях автоматизированного расчета параметров молниезащиты и заземления. В расчетах оценивается степень надежности защиты аппаратуры и самого объекта. Стоит отметить, что проблема надежности и безотказности заземления с учетом современных требований помехоустойчивости в комплексе с электробезопасностью связана с диагностикой и остаточным ресурсом систем молниезащиты и заземления [3]. Произведем оценку надежности молниезащиты ТП1, ТП2 и вышки связи, с требуемой степенью защиты $P_{м1} = P_{м2} = P_{м3} = 0,99$, с учетом исходных данных, представленных на рисунке 1.

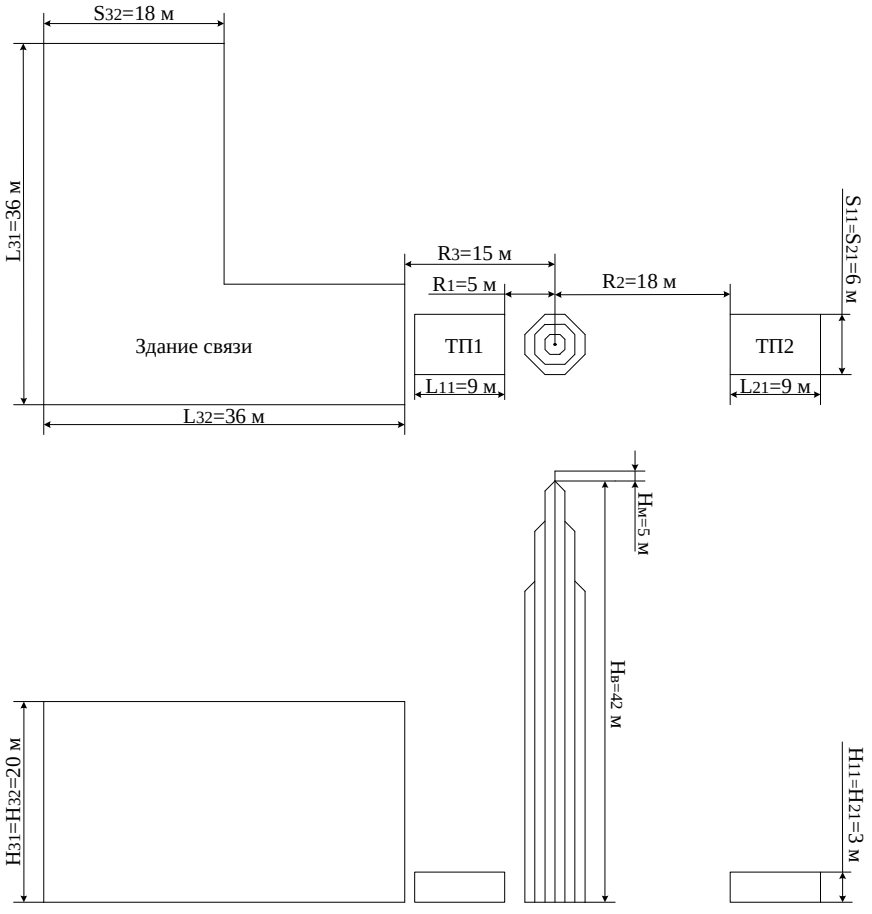

Рис. 1. ***План расположения объектов:***
Нв — высота вышки связи; Нм — высота молниеприемника в виде штыря;
Hi — высота i-го объекта; Li — длина i-го объекта; Si — ширина i-го объекта; R1 — расстояние от оси вышки связи до ТП1; R2 — расстояние от оси вышки связи до ТП2;
R3 — расстояние от оси вышки связи до здания связи

Алгоритм расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода включает определение [4]:

- высоты h_0 конуса зоны защиты:

$$h_0 = 0,8h_м,$$

где $h_м$ – высота молниеотвода, м;

- радиуса r_0 конуса основания зоны защиты:

$$r_0 = \left[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot (h_м - 30)\right] \cdot h_м;$$

- радиуса горизонтального сечения r_x на высоте вышки связи h_B:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_B)}{h_0}.$$

Условия надежности для вышки связи, ТП1 и ТП2 будут соблюдены при высоте молниеотвода $h_м = 53,8$ м, тогда:

- высота конуса зоны защиты $h_0 = 43,04$ м;
- радиус конуса основания зоны защиты $r_0 = 41,21$ м;
- высота вышки связи $h_B = 42$ м;
- радиус горизонтального сечения $r_x = 1$ на высоте вышки связи h_B.

В существующем комплексе молниезащиты высота молниеприемника составлет 47 м, то есть обеспечивается степень защиты только порядка 0,8, а значит, повышается вероятность атмосферного воздействия на объекты.

Возникновение разряда атмосферного электричества возможно или при поражении ТП1 (ТП2) молнией (событие С1), или при вторичном воздействии молнии (событие С2), или при заносе в него высокого потенциала (событие С3) [5].

Вероятность Q разряда атмосферного электричества в i-ом элементе объекта вычисляется по формуле

$$Q_i = 1 - \prod_{n=1}^{3} (1 - Q_i(C_n)), \quad (1)$$

где $i = 1$ для объекта ТП1, $i = 2$ для объекта ТП2; $Q_i(C_n)$ — вероятность реализации одной из причин:

а) $Q_i(C_1)$ — вероятность поражения i-го элемента объекта молнией в течение года;

б) $Q_i(C_2)$ — вероятность вторичного воздействия молнии на i-ый элемент объекта в течение года;

в) $Q_i(C_3)$ — вероятность заноса в i-ый элемент объекта высокого потенциала в течение года; n — порядковый номер причины.

Поражение i-го элемента объекта молнией возможно при совместной реализации двух событий — прямого удара молнии (событие t_2) и отсутствия неисправности системы молниезащиты, неправильного конструкторского исполнения или отказа молниеотвода (событие t_1).

Вероятность $Q_i(C_1)$ вычисляют по формуле [5]

$$Q_i(C_1) = Q_i(t_1) \cdot Q_i(t_2), \quad (2)$$

где $Q_i(t_1)$ — вероятность отсутствия неисправности системы молниезащиты, неправильного конструктивного исполнения или отказа молниеотвода, защищающего i-ый элемент объекта; $Q_i(t_2)$ — вероятность прямого удара молнии в i-ый элемент объекта в течение года.

Расчетное значение $Q_i(t_2)$ имеет следующий вид [5]:

$$Q_i(t_2) = 1 - \exp(-N_{у.м.} \cdot \tau_p) = 1 - \exp(-1944 \cdot 10^{-6} \cdot 1) = 1,000 - 0,998 = 0,002,$$

где $N_{у.м.}$ — число прямых ударов молний в объект за год для объектов прямоугольной формы [4]; τ_p — продолжительность периода наблюдения, год.

$$N_{у.мi} = (S_i + 6 \cdot H_i) \cdot (L_i + 6 \cdot H_i) \cdot n_y \cdot 10^{-6} = (9 + 6 \cdot 3) \cdot (6 + 6 \cdot 3) \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 1944 \cdot 10^{-6},$$

где для Тюменской области принимаем значение среднегодовой продолжительности гроз — 40 часов и отвечающей ей удельной плотности ударов молний в землю $n_y = 3$, приходящихся на один км^2 [4].

В предположении, что ошибки при проектировании молниезащиты отсутствуют, а элементы молниеотвода (молниеприемник, шины и заземление) находятся в исправном состоянии, рассчитаем вероятность отсутствия неисправности по формуле [5]

$$Q_i(t_1) = 1 - P_{м1} = 1 - 0,8 = 0,2 .$$

Тогда по формуле (2) получим

$$Q_i(C_1) = 0,002 \cdot 0,2 = 0,0004 .$$

Вероятность $Q_i(C_2)$ вторичного воздействия молнии на i-ый элемент объекта в течение года вычисляется по формуле [4]

$$Q_i(C_2) = Q_i(t_2) \cdot Q_i(t_3), \qquad (3)$$

где $Q_i(t_3)$ — вероятность отказа защитного заземления в течение года.

Поскольку заземление исследуемого объекта выполнено согласно требованиям ПУЭ [6] и подвергается периодической проверке, можно предположить, что $Q_i(t_3) = 0$, соответственно $Q_i(C_2) = 0$ согласно формуле (3).

Можно также предположить, что вероятность $Q_i(C_3)$ заноса в i-ый элемент объекта высокого потенциала в течение года ничтожно мала.

Таким образом, согласно выражению (1), вероятность Q_i разряда атмосферного электричества в i-ом элементе составит

$$Q_i = 1 - 1 + Q_i(C_1) = 1 - 1 + 0,0004 = 0,0004 .$$

Очевидно, что вероятность Q_{1-2} одновременного появления двух событий Q_1 и Q_2, то есть одновременный удар молний в точку расположения ТП1 и ТП2, можно вычислить по следующей формуле:

$$Q_{1-2} = Q_1 \cdot Q_2 = 0,0004 \cdot 0,0004 = 16 \cdot 10^{-8} .$$

Взаимосвязь ударов молний с возникновением импульсных перенапряжений системы электроснабжения объектов в открытых источниках информации не освещена и требует специального исследования. Однако можно сказать, что прохождение токов в десятки и сотни тысяч Ампер по площади земли, ограниченной контуром заземления, вблизи трансформаторных подстанций (ТП1 и ТП2) определенно вызовет проявление скачков питающего напряжения в виде импульсных помех. Вероятность появления этих импульсных помех применительно к исследуемым объектам равна значениям $Q_1 = 4 \cdot 10^{-4}$, $Q_2 = 4 \cdot 10^{-4}$ и $Q_{1-2} = 16 \cdot 10^{-8}$.

Здание связи также подвержено вероятному удару молний. Молниезащита здания обеспечивается теми же элементами, что и молниезащита ТП1 и ТП2. По аналогии расчета вероятность поражения здания связи молнией составляет

$$Q_3 = 2,4 \cdot 10^{-2} .$$

Выводы

- Установлено, что настоящая система молниезащиты комплекса связи не удовлетворяет требованиям надежности защиты, равной 0,99. Одним из вариантов решения проблемы может быть увеличение высоты молниеотвода до 53,8 м на вышке связи и установка одного или нескольких молниеотводов на здании связи. Для выбора оптимальной системы защиты предлагается использование программного обеспечения [2].
- Возникновение импульсных перенапряжений в системе электроснабжения связано либо с внезапным появлением импульсов напряжения большой амплитуды при питании от основного источника, либо с переключением системы автоматического включения резерва (АВР).
- Установлена возможность устранения причин возникновения импульсов перенапряжения, сохранения дорогостоящей коммутационной аппаратуры и приведения в соответствие с требованием бесперебойного электроснабжения приемников первой категории особой группы применительно к рассматриваемому объекту.

- Необходимо совершенствование: системы электропитания, что улучшит качество электроэнергии; защиты от перенапряжений дорогостоящего оборудования, что упростит обслуживание системы и будет отвечать требованиям бесперебойного электроснабжения приемников первой категории особой группы.

Список литературы

1. Смирнов О. В., Сафонов А. В., Кулешов А. Н., Щетинин Д. Ю., Юдин В. С. Способ синхронизации синхронных генераторов электроагрегатов // Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень, 2014. – № 4. – С. 103-107.
2. Смирнов О. В., Сухачев И. С. О некоторых особенностях устройства заземления и расчета молниезащиты // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2014. – № 2. – С. 102-106.
3. Сухачев И. С., Смирнов О. В., Воробьева С. В., Михалева Т. В. Диагностика, повышение надежности и остаточный ресурс некоторых систем защиты // Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2015. – № 1. – С. 105-108.
4. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО 153-34.21.122-2003). – СПб.: ДЕАН, 2005. – 64 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
6. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.– 600 с.

Сведения об авторах

Сухачев Илья Сергеевич, *аспирант кафедры «Электроэнергетика», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. +79829210000, e-mail: ilya@suhachev.com*

Воробьева Сима Васильевна, *д. т. н., профессор кафедры «Техносферная безопасность», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. +79129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru*

Information about the authors

Suhachev I. S., *graduate student of Department «Electroenergetics», Tyumen State Oil and Gas University, phone: +79829210000, e-mail: ilya@suhachev.com*

Vorobjeva S. V., *doctor of Technical Sciences, professor of the chair «Technosphere Safety», Tyumen State Oil and Gas University, phone: +79129275191, e-mail: svorobeva@mail.ru*