

# Оценка влияния высоковольтных ЛЭП переменного тока на проектируемый газопровод и технические решения по его устранению

*А.И. Яблчанский (ОАО «Газпром») (ОАО «Гипроспецгаз»)*

В последнее время в ОАО «Газпром» большое внимание уделяется качеству изоляционного покрытия как на вновь строящихся газопроводах, так и при их капитальном ремонте. При строительстве новых газопроводов используются трубы с заводской полимерной изоляцией с малым коэффициентом старения (менее 0,06/год) и высоким переходным электрическим сопротивлением (не менее  $3 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$  для уложенного в грунт трубопровода).

На подземном газопроводе с высоким качеством изоляционного покрытия, проходящем по территории с насыщенной сетью высоковольтных линий электропередачи (ЛЭП) переменного тока, могут возникать опасные электрические напряжения по отношению к земле, величина которых превосходит допустимую по правилам техники безопасности величину напряжения прикосновения для обслуживающего персонала. Наведенные в трубопроводе переменные токи, стекающие в землю через дефекты в изоляции, могут приводить к коррозионным повреждениям катодно-защищенного трубопровода.

В настоящее время каких-либо действующих нормативных документов, регламентирующих допустимые величины наведенного напряжения переменного тока на газопроводе, в Российской Федерации не существует. Отсутствуют и методики определения величины наведенного в трубопроводе напряжения под влиянием источников переменного тока на стадии разработки проектной документации.

Задача оценки возможного опасного влияния линий электропередачи переменного тока на магистральный газопровод (МГ) при подготовке проектной документации решалась впервые для газопровода Ямал-Европа, выполненного из труб с высококачественной заводской полиэтиленовой изоляцией. В связи с отсутствием действующих отечественных нормативно-технических документов за основу был принят документ TRL-71 (Технические предписания в области коррозионной катодной защиты), отвечающий требованиям и нормам DVGW, разработанный и согласованный участниками проекта (ОАО «Газпром», ГП «Белтрансгаз», PGNIG (Польша), СП «ВИНГАЗ») [1]. Данным документом были определены только допустимые величины напряжения прикосновения, безопасные для обслуживающего персонала:

- не более 65 В при длительном воздействии;
- не более 1000 В в режиме короткого замыкания ЛЭП на землю.

Вопросам оценки коррозионной опасности подземных сооружений, расположенных в зонах влияния переменного тока промышленной частоты, посвящены работы М.А. Толстой и Э.И. Иоффе [2]. Установлена допустимая плотность переменного тока, не приводящая к увеличению коррозии (не более  $20 \text{ А/м}^2$ ).

Вышеперечисленные критерии применялись при разработке проектной документации магистральных газопроводов Ямал-Европа, Россия-Турция (проект «Голубой поток»), СРТО-Торжок, СЕГ (Северо-Европейский газопровод) и многих других.

В общем случае при разработке проектной документации в части устранения опасного влияния высоковольтных ЛЭП переменного тока на газопровод решаются две основные задачи:

- оценка возможной величины наведенного переменного напряжения существующих ЛЭП на проектируемый газопровод;
- разработка мероприятий по снижению опасного влияния ЛЭП на газопровод при его наличии.

В ОАО «Гипроспецгаз» первая задача решается на стадии инженерных изысканий по следующей технологии.

По трассе проектируемого газопровода в местах ее прохождения вблизи существующих ЛЭП переменного тока выполняются электрометрические измерения с целью определения величины напряженности электрического поля  $E$  промышленной частоты в земле. Одновременно в соответствующих службах ведется сбор информации о действующих текущих токах / в ЛЭП на момент измерений, их максимально возможных рабочих токах  $I_{\text{дм}}$  и токах короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  ЛЭП на землю в случае ее обрыва. Эти данные, включая информацию по значениям удельного электрического сопротивления грунтов, расстоянию от газопровода до ЛЭП, высоте опор ЛЭП, длине сближения ЛЭП с газопроводом, являются основой для расчета величин наведенных напряжений прикосновения  $dU$  труба-земля в конкретном газопроводе.

В зависимости от полученных расчетных величин  $dU$  в проектной документации при необходимости предусматриваются мероприятия по снижению наведенных величин напряжения до безопасного уровня. При этом оценивается возможная величина плотности переменного тока утечки через дефекты в изоляции и соответствие ее допустимым значениям.

Процесс оценки влияния ЛЭП на проектируемый газопровод рассмотрим на конкретном примере.

Проектируемый МГ на участке длиной 10 км ( $L_2$ ) проходит в одном коридоре с высоковольтной ЛЭП переменного тока напряжением 330 кВ на удалении 60 м от нее (рис. 1). Параметры трубопровода и результаты инженерно-геофизических изысканий по трассе трубопровода на участке сближения представлены ниже.

### **Параметры трубопровода, подверженного влиянию ЛЭП**

Диаметр $D$ , мм	1420,0
Толщина стенки трубопровода $h_t$ , мм	17,0
Глубина укладки трубопровода $h$ , м	1,5
Электрическое сопротивление стали трубы $\rho_t$ , Ом·мм <sup>2</sup> /м	0,245
Относительная магнитная проницаемость стали $\mu$	200,0
Сопротивление изоляции трубопровода $R_{\text{и}}$ , Ом·м <sup>2</sup>	$3 \cdot 10^5$
Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	5,0
Толщина изоляционного покрытия $h_i$ , мм	3,0

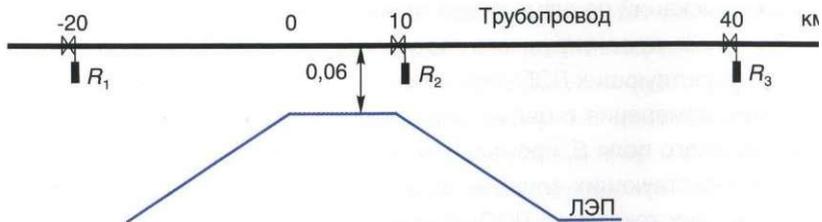


Рис. 1. Схема газопровода на участке его сближения с ЛЭП: R1, R2, R3 - контуры защитных заземлений на крановых узлах с сопротивлением растеканию 2 Ом

### Результаты инженерно-геофизических изысканий по трассе трубопровода на участке, подверженном влиянию высоковольтной ЛЭП переменного тока

Рабочая частота ЛЭП $f$ , Гц	50,0
Рабочее напряжение ЛЭП $B$ , кВ	330,0
Действующий ток ЛЭП $I_{дт}$ , кА	0,6
Допустимый ток нагрузки ЛЭП $I_{дн}$ , кА	1,2
Ток короткого замыкания ЛЭП на землю $I_{кз}$ , кА	10,0
Высота опоры ЛЭП $h_0$ , м	22,0
Расстояние от крана до участка сближения $L_1$ км	20,0
Длина участка сближения $L_2^*$ , км	10,0
Расстояние до крана после сближения $L_3$ , км	30,0
Расстояние между осями трубопровода и ЛЭП $u_{лэп}$ , м	60,0
Напряженность поля по оси трубопровода $E_r$ , В/м	0,025
Удельное электрическое сопротивление земли $\rho$ , Ом·м	115,0

Пересчет напряжения промышленной частоты  $E_r$ , измеренного в земле по трассе трубопровода на участке сближения с ЛЭП, в напряжение прикосновения  $dU$  труба-земля выполняется на основе физико-математической модели, построенной в соответствии с теорией длинных линий с учетом влияния электромагнитных полей, создаваемых высоковольтными линиями электропередач на электропроводящие линейные объекты [4-6] по функциональной зависимости, расчет которой реализуется на ПК:

$$dU = f(D, h, h_1, h_2, \rho, \mu, R_m, \xi, f, L_1, L_2, L_3, u_{лэп}, h_0, I_{дт}, I_{дн}, I_{кз}, \rho, E_r).$$

Результаты расчетов индуцированных в трубопроводе величин напряжения прикосновения труба-земля  $dU$  и тока  $I_r$  в трубопроводе представлены на рис. 2.

\*На конце участка сближения МГ с ЛЭП на трубопроводе предусматривается линейный кран.

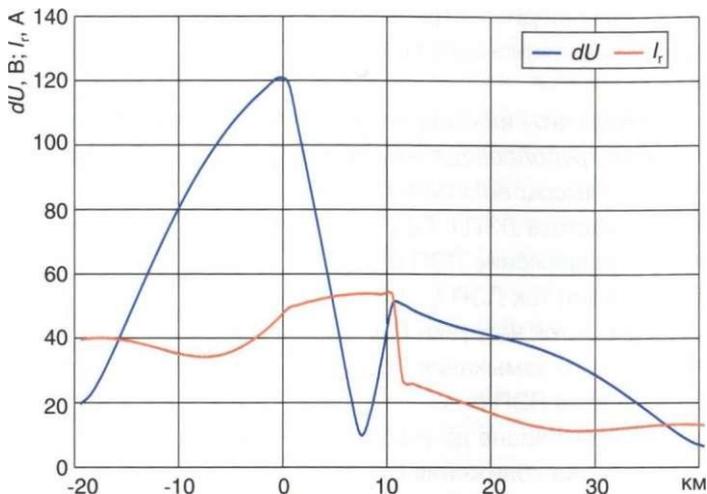


Рис. 2. Расчетные графики распределения по трубопроводу тока  $I_r$  и напряжения прикосновения  $dU$  труба-земля, вызванные влиянием высоковольтной ЛЭП переменного тока

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы.

Расчетный уровень переменного тока, индуцированного в газопроводе, составляет в среднем 30 А. Максимальное напряжение прикосновения  $dU$  наблюдается на километре 0 и составляет 120 В, что значительно превышает допустимое (65 В).

Величина индуцированного тока, стекающая через заземляющее устройство кранового узла на километре 10, составляет более 25 А.

Максимально возможная расчетная величина утечки индуцированного переменного тока при повреждении изоляции трубопровода в наиболее опасном месте (километр 0) не превысит  $3,58 \text{ A/m}^2$  при величине удельного сопротивления растеканию оголенного металла трубопровода не менее  $3,87 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ .

Максимально возможное расчетное значение напряжения прикосновения  $dU_{K3}$  в случае короткого замыкания ЛЭП на землю при величине взаимной индуктивности между ЛЭП и подземным трубопроводом, равной  $5,58 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  [5], и током короткого замыкания ЛЭП

$I_{K3} = 10 \text{ кА}$  может достигать 3,7 кВ, что также значительно превышает допустимую величину  $dU_{K3} = 1000 \text{ В}$ .

Снижение величины максимального напряжения прикосновения до 26 В при длительном влиянии ЛЭП и до 1000 В в случае короткого замыкания ЛЭП на землю достигается установкой дополнительных заземлителей на километрах 0 и 10 с сопротивлением растеканию, равным соответственно 0,3 и 0,4 Ом, в местах пучностей напряжений (рис. 3).

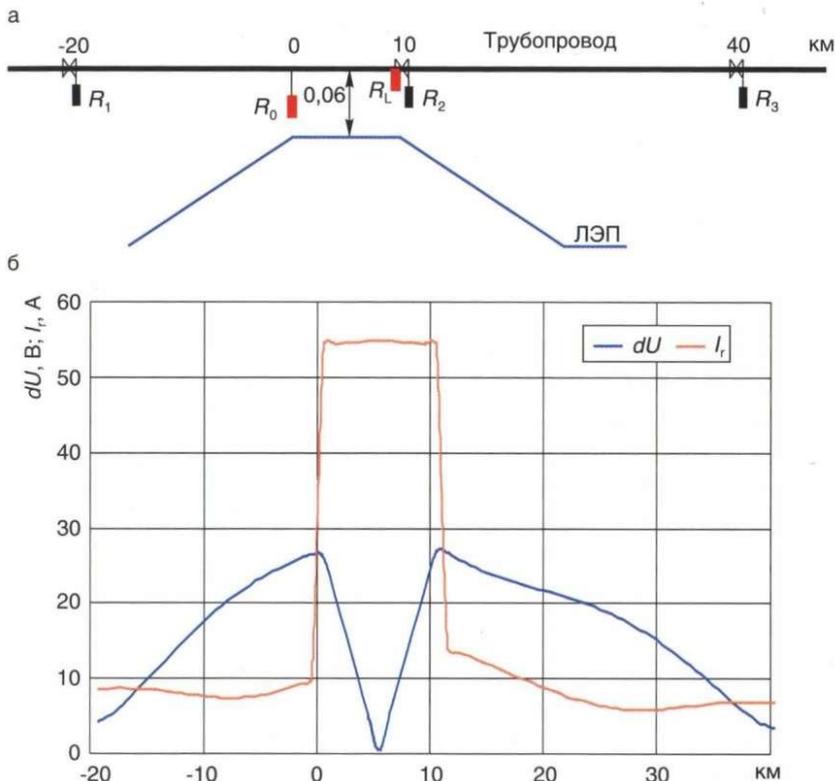


Рис.3 Схема газопровода с дополнительными заземлителями на километрах 0 ( $R_0 = 0,3$  Ом) и 10 ( $R_L = 0,4$  Ом) трубопровода (а) и расчетные графики распределения по трубопроводу  $I_r$  и  $dU$ , вызванные влиянием высоковольтной ЛЭП переменного тока (б)

Защитные заземления, устанавливаемые на трубопроводе для снижения напряжения прикосновения при длительном влиянии ЛЭП, выполняются ленточными из стали с цинковым покрытием или протекторов из алюминийно-цинкового сплава (рис. 4). Одновременно при этом снижается и напряжение прикосновения при коротком замыкании ЛЭП на землю. Требуемый ток для катодной защиты при этом увеличивается незначительно в связи с очень высоким отрицательным потенциалом цинка ( $U_{Zn} \approx -1$  В).

В случае, если по результатам оценки влияния ЛЭП на газопровод выявлена только вероятность кратковременного превышения напряжения прикосновения  $dU_{K3} > 1000$  В, вызванного коротким замыканием ЛЭП на землю, заземлители к трубопроводу подключаются через ионные (газовые) разрядники с напряжением срабатывания около 250 В для снятия перенапряжения с трубопровода до отключения защиты ЛЭП (рис. 5). Требуемый ток для катодной защиты при этом не увеличивается.

Требуемое количество защитных заземлений, их сопротивление растеканию и размещение по трассе трубопровода определяются расчетом для каждого конкретного случая.

Учитывая важность проблемы, касающейся устранения опасного влияния высоковольтных ЛЭП переменного тока на газопроводы с высоким качеством изоляционного покрытия (свыше  $3 \cdot 10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$ ), необходимо в ближайшее время разработать нормативные требования и методики выявления и устранения влияния ЛЭП на трубопровод.

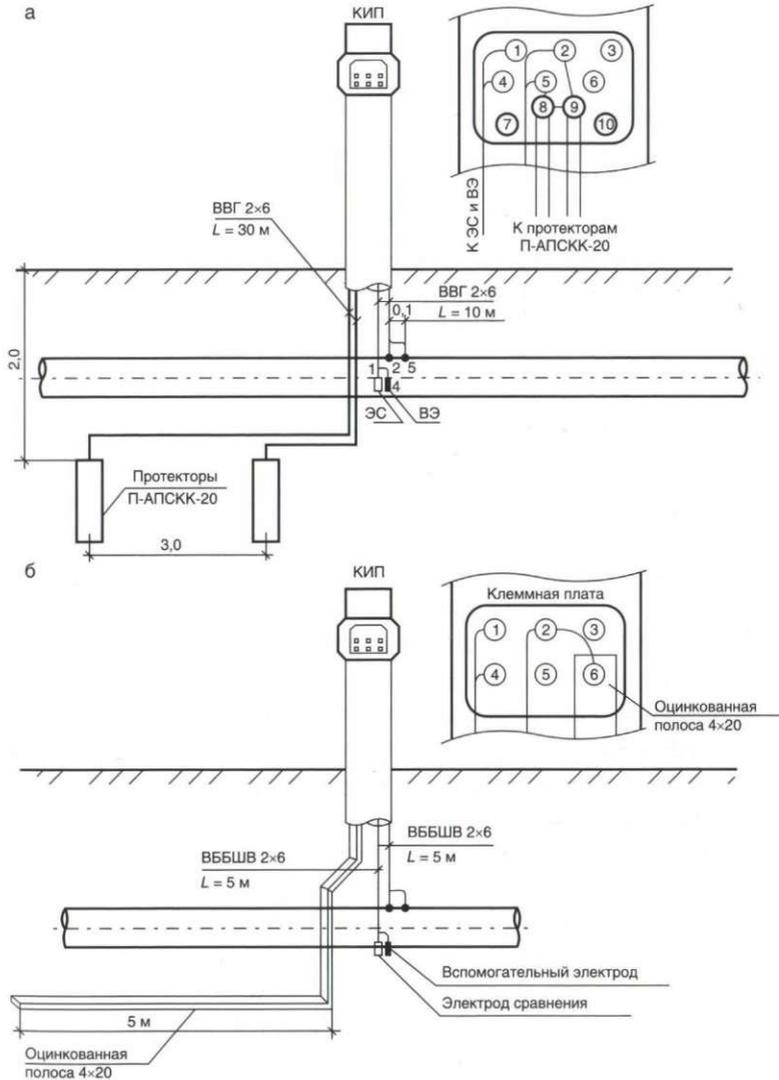


Рис. 4. Примеры защитных заземляющих устройств для снижения напряжения прикосновения труба-земля при опасном влиянии ЛЭП на газопровод: а - из алюминиево-цинкового сплава; б - из оцинкованной полосовой стали

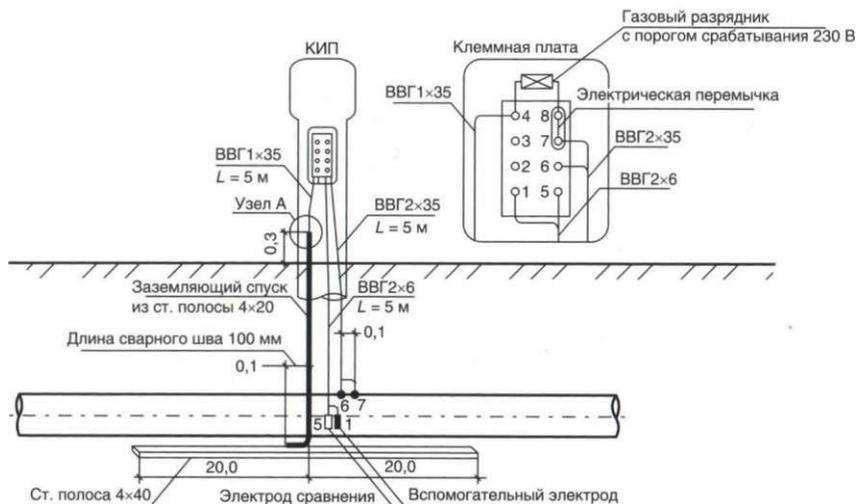


Рис. 5. Пример защитного заземляющего устройства для снижения кратковременного превышения напряжения прикосновения труба-земля, вызванного коротким замыканием ЛЭП на землю

#### Список литературы

1. Technische Richtlinien-71 (TRL-71). EMR-Technic Kathodischer Korrosionsschutz für Erdgasfernleitungen.
2. Толстая М.А., Иоффе Э.И., Потеминская И.В. Электрохимическая коррозия стальных подземных сооружений переменным током промышленной частоты // Газовое дело. - 1964. - № 3.
3. Бекман Б. Катодная защита: Справочник. - М.: Metallurgiya, 1992.-196 с.
4. Стрижевский И.В., Дмитриев В.И. Теория и расчет влияния электрифицированной железной дороги на подземные металлические сооружения. - М.: Стройиздат, 1967. - 247 с.
5. Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи. - М.: Связь, 1979. - 264 с.
6. Басаков С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами. - М.: Высшая школа, 1980. - 152 с.