

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО КОНТРОЛЯ ПОКРЫТИЙ ТРУБ В ПОТОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© 2024 г. Д.И. Антонов^{1,*}, М.С. Степанова^{2,**}, А.С. Мусихин^{3,***}, В.А. Сясько^{3,****},
К.А. Томский^{4,*****}

¹ВНИИМ им. Менделеева, Россия 190005 Санкт-Петербург, Московский пр-т, 19
²Санкт-Петербургский Горный университет, Россия 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2
³ООО «КОНСТАНТА», Россия 198095 Санкт-Петербург, Огородный пер., 21, литер А
⁴ООО «НТП «ТКА», Россия 192289 Санкт-Петербург, Грузовой проезд, 33, корп.1, литер Б
E-mail: *antonovden99@mail.ru; **stepanovamariya11.02.01@gmail.com;
musihinaleksei@mail.ru; *9334343@gmail.com; *****tka46@mail.ru

Поступила в редакцию 24.05.2024; после доработки 20.06.2024

Принята к публикации 21.06.2024

Рассмотрены вопросы обеспечения достоверности автоматизированного электроискрового контроля сплошности диэлектрических покрытий металлических труб диаметром до 1500 мм в условиях поточного производства. Выполнено моделирование системы генератор импульсного испытательного напряжения—электрод—диэлектрическое покрытие—металлическое основание. Проведены экспериментальные исследования нагрузочной способности и стабильности испытательного напряжения электроискрового дефектоскопа Корона 2.2 с применением усовершенствованного узла генерации при высоких емкостных нагрузках.

Ключевые слова: электроискровой дефектоскоп, поточное производство, автоматизированная система контроля, сплошность, испытательное напряжение.

ENSURING THE RELIABILITY OF AUTOMATED PULSE ELECTRIC SPARK CONTROL OF PIPE COATINGS IN IN-LINE PRODUCTION

© 2024 D.I. Antonov^{1,*}, M.S. Stepanova^{2,**}, A.S. Musikhin^{3,***}, V.A. Syasko^{3,****},
K.A. Tomsky^{4,*****}

¹D.I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM), 190005 St. Petersburg, Moskovsky Ave, 19
²Saint-Peterburg Mining University, 199106 St. Petersburg, 21st Line, 2
³LLC «KONSTANTA», 198095 St. Petersburg, Ogorodny Lane, 21
⁴TKA Scientific Instruments LLC, 192289, St. Petersburg, Freight passage, 33
E-mail: *antonovden99@mail.ru; **stepanovamariya11.02.01@gmail.com;
musihinaleksei@mail.ru; *9334343@gmail.com; *****tka46@mail.ru

The issues of ensuring the reliability of automated electric spark testing of the continuity of dielectric coatings on metal pipes with diameters up to 1.5 meters in the context of in-line manufacturing are addressed. A simulation of the “high-voltage pulse source – electrode – dielectric coating – metal substrate” system has been conducted. Experimental studies have been conducted to evaluate the load capacity and voltage stability of the Corona 2.2 holiday detector using an improved generator at high capacitive loads.

Keywords: holiday detector, in-line production, automated control system, continuity, test voltage.

DOI:

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время автоматизированный контроль сплошности покрытий металлических труб, с учетом обеспечения требований по электробезопасности, регламентируется проводить с использованием импульсного электроискрового метода неразрушающего контроля (НК) [1]. Однако при его реализации в поточном трубном производстве присутствует ряд факторов, оказывающих существенное влияние на производительность и достоверность контроля. В частности, повышенная электрическая емкость C_n системы электрод—диэлектрическое покрытие—металлическое основание обуславливает дополнительные требования по обеспечению выходной мощности генератора испытательного напряжения U_n и его стабильности при необходимости согласования скорости перемещения трубы с частотой следования импульсов. Выполненное моделирование процесса формирования импульсов испытательного напряжения в системе генератор импульсного испытательного напряжения—электрод—диэлектрическое покрытие—металлическое основание позволило исследовать влияние параметров объекта контроля — металлической трубы диаметром D до 1500 мм с защитным диэлектрическим покры-

тием толщиной d_n до 6 мм, перемещающейся со скоростью 0,3 м/с, на достоверность НК и стабильность высокого напряжения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для обеспечения стабильности импульса U_n , а также обеспечения достоверности контроля сплошности труб диаметром D до 1500 мм при C_n до 800 пФ (рис. 1), было проведено моделирование электрической эквивалентной схемы в программном пакете LTspice и предложено программно-аппаратное решение генератора (рис. 2), позволяющее обеспечить требуемое стандартами [3, 4] испытательное напряжение U_n на электродах.

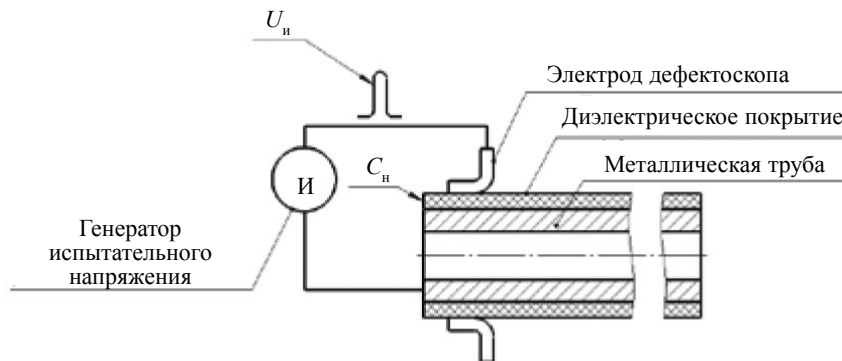


Рис. 1. Схематическое изображение металлической трубы с емкостной нагрузкой: И — генератор испытательного напряжения.

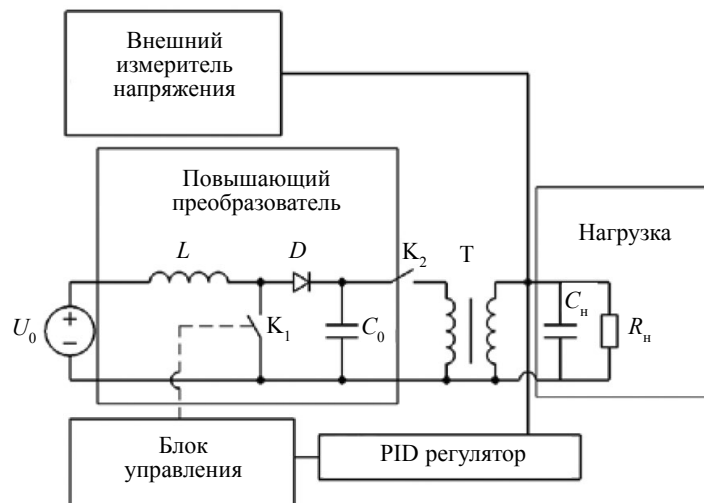


Рис. 2. Структурная схема генератора U_n : L — индуктивность; D — диод; K_1, K_2 — ключи; C_0 — накопительный конденсатор; T — повышающий трансформатор.

Для формирования импульса U_n повышающий преобразователь генерирует постоянное напряжение на емкости C_0 , равное $k \cdot U_0$, где k — коэффициент преобразования. При разряде емкости C_0 через ключ K_2 и первичную обмотку трансформатора T на вторичной обмотке трансформатора формируется импульс испытательного напряжения U_n , амплитуда которого зависит от параметров трансформатора T и эквивалентных нагрузочной емкости C_n и сопротивления R_n покрытия. Регулировка напряжения на электроде при изменении C_n и R_n в процессе контроля осуществляется с помощью программного пропорционально-интегрально-дифференцирующего (PID) регулятора, формирующего корректирующее воздействие на повышающий преобразователь. Внешний измеритель напряжения осуществляет контроль стабильности U_n в допустимом диапазоне (абсолютная допустимая погрешность задания и поддержания U_n не более $\pm 5\%$).

На основе представленной схемы было проведено моделирование системы «генератор импульсов испытательного напряжения — емкостная нагрузка» с C_H до 800 пФ (рис. 3). Рассмотрены различные варианты схемы генератора: двуканальная накачка, двухтрансформаторный высоковольтный (ВВ) блок и их комбинация. Подключение соответствующих элементов схемы (рис. 4) параллельно приводит к повышению испытательного напряжения и увеличению токопотребления при подаче на нагрузку.

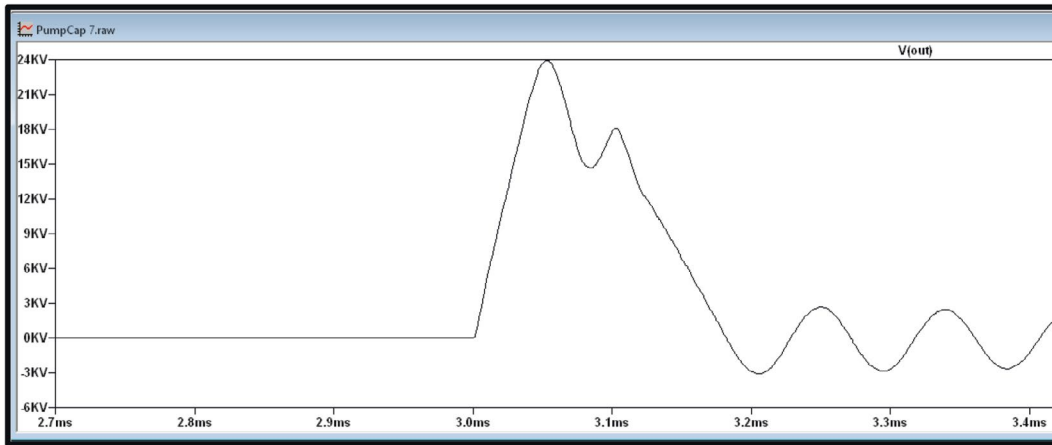


Рис. 3. Вид импульса U_H , полученного в результате моделирования в программном пакете LTSpice.

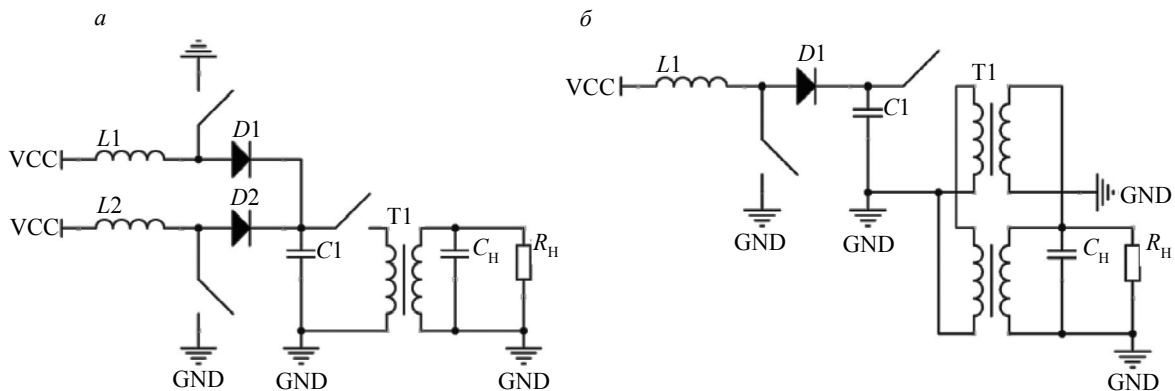


Рис. 4. Структурная схема генератора импульсов испытательного напряжения: двуканальная накачка (а); двухтрансформаторный ВВ блок (б).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе оптимизации схемы генератора импульсов испытательного напряжения обеспечено увеличение амплитуды его максимального значения во всем диапазоне C_H , соответствующих диапазону диаметров D контролируемых труб и толщин d_n покрытий по сравнению с существующей реализацией прибора Корона 2.2 (рис. 5) при обеспечении требуемой стабильности U_H .

При экспериментальных исследованиях установлено, что амплитуда максимального обеспечиваемого испытательного напряжения U_H также зависит от толщины покрытия. На рис. 6 приведены экспериментальные зависимости $U_H(d_n)$ для типовых значений C_H . Рост амплитуды максимального обеспечиваемого испытательного напряжения с увеличением толщины покрытия обусловлен повышением активного сопротивления системы электрод—покрытие—труба и снижением тока утечки соответственно.

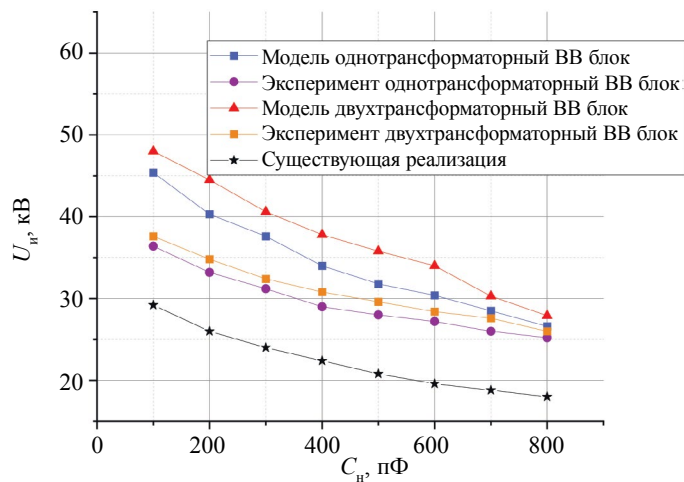


Рис. 5. Нагрузочная способность: зависимость максимального обеспечиваемого испытательного напряжения $U_{и}$ от емкости нагрузки $C_{н}$ при $d_{н} = 2$ мм.

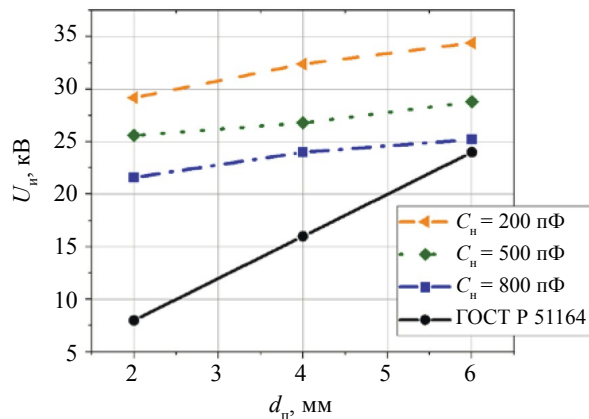


Рис. 6. Зависимость амплитуды максимального обеспечиваемого испытательного напряжения $U_{и}$ от толщины покрытия для различных фиксированных емкостей $C_{н}$.

ВЫВОДЫ

Результаты моделирования переходных процессов в системе генератор импульсного испытательного напряжения—электрод—диэлектрическое покрытие—металлическое основание, подтвержденные экспериментальными исследованиями, позволяют производить расчет параметров схемы электроискрового дефектоскопа и формируемого испытательного напряжения. Показано, что амплитуда максимального обеспечиваемого испытательного напряжения $U_{и}$ для труб большого диаметра также зависит от толщины покрытия, определяющего величину токов утечки, что до настоящего времени не учитывалось при разработке методик контроля.

Использование предложенных аппаратных и программных решений позволяет обеспечить амплитуду испытательного напряжения $U_{и}$, необходимую для контроля сплошности покрытий толщиной до 6 мм на металлических трубах диаметром до 1500 мм, и выявление сквозных и несквозных дефектов покрытий при скорости движения объекта контроля до 0,3 м/с использованием традиционно применяемых кольцевых электродов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль / Справочник. В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль. Вавилов В.П. Кн. 2: Электрический контроль. Подмастерьев К.В., Соснин Ф.Р., Корндорф С.Ф., Ногачева Т.Н., Пахолкин Е.В., Бондарева Л.А., Мужижкий В.Ф. М.: Машиностроение, 2004. 679 с.: ил. и цветная вкладка 24 с.
2. Мусихин А.С., Сясько В.А.. Электроискровой контроль сплошности защитных лакокрасочных покрытий// NDT World. 2018. V. 21. No. 2. P. 42—45. DOI: 10.12737//

3. ГОСТ Р 51164—98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. М.: Госстандарт России, 1998.
4. ГОСТ 34395—2018 Материалы лакокрасочные. Электроискровой метод контроля сплошности диэлектрических покрытий на токопроводящих основаниях. М: Стандартиформ, 2018. 10 с.

REFERENCES

1. Non-destructive testing: Reference book: In 7 t. Under the general ed. of V.V. Klyuev. T. 5: In 2 books. Book 1: Thermal control. Vavilov V.P. Book 2: Electrical control. Podmasteryev K.V., Sosnin F.R., Korndorf S.F., Nogacheva T.N., Pakholkin E.V., Bondareva L.A., Muzitsky V.F. М.: Mashinostroenie, 2004. 679 p.: ill. and color tab. 24 p.
2. *Musikhin. A.S., Syasko V.A.* Electric spark control of the continuity of protective coatings // NDTWorld. 2018. 21st century. No. 2. P. 42—45. DOI: 10.12737//
3. ГОСТ Р 51164—98. Steel pipe mains. General requirements for corrosion protection. Moscow: Gosstandart of Russia, 1998.
4. ГОСТ 34395—2018 Paint and varnish materials. An electric spark method for monitoring the continuity of dielectric coatings on conductive substrates. Moscow: Standartinform, 2018. 10 p.