

## РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

от 4800Н. Более высокие нагрузки создавались ударно (ударный коэффициент  $K_d$  от 2 до 100).

### Заключение

Результаты контроля осевой деформации с применением дифференциально - операторных сенсорных структур показывают, что в сложных конструкциях, характерных для ВТС, практически не действует принцип Сен-Венана, то есть отсутствует выравнивание напряжений в сечении структуры по мере удаления от точки приложения нагрузки.

Данное обстоятельство приводит к увеличению напряжений до  $\sigma_k = n \cdot \sigma_c$ , где  $n$  – число элементов структуры. При этом возникают условия создания косоугольного изгиба. Непостоянство качества материала увеличивает разрушительный эффект косоугольного изгиба. Однако, тяжелый монолитный ауриггер, создающий торцевую нагрузку, не становится разрушительно опасным, если в сопряжениях создана демпферная зона, обеспечивающая выравнивание нагрузки. Контроль ударных деформаций с оценкой контактной деформации дает наиболее эффективную оценку при измерениях с учетом скорости движения деформационных волн.

УДК: 621.3.08

## ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

А.Е. Гольдштейн, Г.В. Вавилова

Описана техническая реализация электрического метода измерения погонной емкости электрического кабеля непосредственно в производственной линии. Осуществлен анализ влияния на результаты измерения изменения электропроводности воды. Предложен способ отстройки от влияния этого изменения на результаты контроля.

**Ключевые слова:** кабель, погонная емкость, электропроводность воды.

### Введение

Погонная электрическая емкость и связанное с ней волновое сопротивление относятся к основным характеристикам ряда кабельных изделий, таких как кабели связи, кабели управления, радиочастотные кабели. Значение погонной емкости нормируется стандартами на соответствующие виды кабелей [1].

Метод измерения емкости кабеля регламентируется ГОСТ 27893-88 [2]. Данный стандарт определяет порядок выходного кон-

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осокин, Ю.А. Особенности контроля движения в субкритических фазах / Ю.А. Осокин. - Ползуновский вестник - № 2, 2010. С. - 145-148.
2. Осокин, Ю.А. Особенности температурного контроля в сложных технологических процессах / Ю.А. Осокин, М.В. Халин, Г.А. Литвиненко. – Ползуновский вестник - №2/2, 2005. С. - 173-174.
3. Осокин, Ю.А. Сенсорно-программные устройства в робототехнике / Ю.А. Осокин. - Ползуновский вестник № 2/2. Барнаул: Изд-во АГТУ, 2005. С. 145-148.
4. Порошков И.В. Курс лекций по физике. / И.В. Порошков. - М.: Высш. шк. 1965. - 496 с.
5. Александров, А.В. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин; Под ред. А.В. Александрова. М.: Высш. шк., 2003. - 560 с.:
6. Осокин Ю.А. Экстремальные параметры при сканирующей развертке пространственно разнесенного кода РПК. Ю.А. Осокин. / Оптические сканирующие устройства и измерительные приборы на их основе. – Барнаул: АПИ, 1988, - с.82 – 83.

Россия, 656049, Барнаул, пр. Ленина 46, АлтГТУ, кафедра информационных технологий, Осокин Ю.А., тел. 629026. E-mail: y-osokin@mail.ru

троля, который производится на отрезке готового кабеля. Данная методика не дает возможность контролировать емкость кабеля по всей его длине. Заключение о качестве изделия выносится уже после завершения изготовления кабеля.

В случае проведения контроля емкости в процессе производства указанные недостатки устраняются. Для измерения емкости используется трубчатый электрод, погруженный в воду, заполняющую охлаждающую ванну экструзионной линии. В результате измеряется

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2, 2013

## ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

емкость цилиндрического конденсатора, одной обкладкой которого является электропроводящая жила кабеля, а другой - вода, заполняющая пространство между изоляцией кабеля и трубчатым электродом, через который движется кабель в процессе производства.

Такой метод контроля широко используется в разработках ведущих зарубежных фирм, выпускающих приборы контроля для кабельной промышленности: Sikora, Zumbach, Proton Products.

Цель данной работы: провести анализ влияния изменения электропроводности воды на результаты измерения погонной емкости описанным методом; оценить эффективность одного из способов уменьшения этой зависимости.

### Схема эксперимента

На рисунке 1 приведена структурная схема измерителя погонной емкости. Измеритель емкости состоит из следующих блоков: генератора напряжения синусоидальной формы 1, трансформатора тока 2, преобразователя ток-напряжение 3, амплитудно-фазового детектора 4 и измерительного преобразователя. Составными элементами преобразователя [3] являются цилиндрический металлический корпус 5, трубчатый измерительный электрод 6, два дополнительных трубчатых электрода 7. Измерительный и дополнительные электроды изолированы от корпуса слоем диэлектрика 8. Контролируемый кабель 9 пропускается через трубчатые электроды преобразователя. Дополнительные электроды используются для обеспече-

ния однородности электрического поля на краях измерительного электрода. Электропроводящая жила кабеля и корпус преобразователя соединены с общей точкой (землей). Трубчатые электроды подключаются к генератору 1 переменного напряжения  $\dot{U}$ , имеющему угловую частоту  $\omega$ . Измерение силы тока в электрической цепи измерительного электрода осуществляется с использованием трансформатора тока 2. Преобразователь вместе с находящимся в нем участком контролируемого кабеля находится в воде, а точнее в водном электропроводящем растворе имеющихся в технической воде солей, кислот и оснований.

Электрическая схема замещения электрической цепи измерительного электрода показана на рисунке 2.

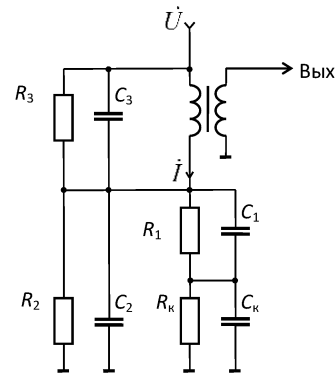


Рисунок 2. - Схема замещения электрической цепи измерительного электрода

Здесь  $C_k$  и  $R_k$  – емкость и активное сопротивление участка контролируемого кабеля, находящегося во взаимодействии с элек-

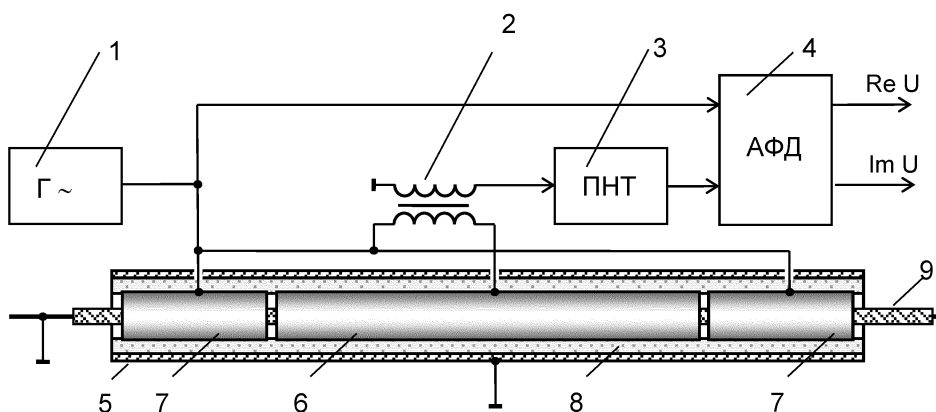


Рисунок 1. – Структурная схема измерителя емкости:

1 – генератор; 2 – трансформатор тока; 3 – преобразователь ток-напряжение; 4 – амплитудно-фазовый детектор; 5 – корпус преобразователя; 6 – измерительный электрод; 7 – дополнительные электроды; 8 – диэлектрик; 9 – кабель

#### РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

трическим полем измерительного электрода;  $C_1$  и  $R_1$  – емкость и активное сопротивление между измерительным электродом и диэлектрической оболочкой кабеля;  $C_2$  и  $R_2$  – емкость и активное сопротивление между измерительным электродом и землей (корпусом преобразователя и стенками охлаждающей ванны);  $C_3$  и  $R_3$  – емкость и активное сопротивление между измерительным и дополнительными электродами

В соответствии со схемой замещения, измеряемая с использованием трансформатора тока сила электрического тока  $\dot{I}$  является функцией не только переменного напряжения  $\dot{U}$  и величин  $C_k$  и  $R_k$ , определяющих параметры комплексного емкостного сопротивления контролируемого участка кабеля, но и величин  $C_1, R_1, C_2, R_2, C_3, R_3$ . Следует отметить, что указанные выше влияющие на результат измерения величины, и, главным образом активные сопротивления  $R_1, R_2, R_3$ , в значительной мере зависят от удельной электропроводности водного раствора.

#### Исследование влияния электропроводности воды

Электрическая проводимость воды зависит в основном от степени минерализации (концентрации растворенных солей, кислот и оснований) и температуры. Изменение удельной электрической проводимости водного раствора может происходить при изменении концентрации какой-либо примеси, химического состава примеси и при изменении температуры воды. Для отстройки от влияния всех трех перечисленных факторов применимы одинаковые методы.

Изменение удельной электропроводности водного раствора производилось растворением в изначально пресной воде поваренной соли  $\text{NaCl}$ , чем обеспечивалось изменение солености воды в диапазоне (0...2,5) ‰. Температура раствора и амплитуда переменного напряжения в процессе эксперимента поддерживались постоянными.

Для исследования влияния на результаты измерения емкости электрического кабеля изменения удельной электропроводности водного раствора были использованы образцы одножильных кабелей со значениями погонной емкости, находящимися в интервале от 160 пФ/м до 460 пФ/м с близкими значениями активной составляющей комплексного сопротивления.

За действительное значение погонной емкости принимался результат ее измерения в соответствии с ГОСТ 27893-88.

Полученные в результате эксперимента годографы относительного значения тока  $\dot{I}^*$  от изменения погонной емкости кабеля  $C$  и солености воды  $\lambda$  приведены на рисунке 3.

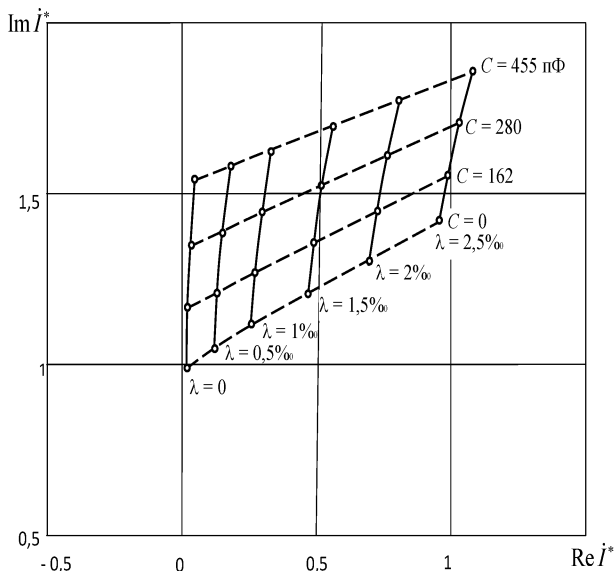


Рисунок 3 - Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля  $C$  и солености воды  $\lambda$

Отсутствие кабеля в преобразователе соответствует значению погонной емкости  $C = 0$ . В качестве нормирующего значения силы тока принималось его значение для случая  $C = 0$  и  $\lambda \rightarrow 0$ .

Анализ зависимостей (рисунок 3) показывает, что в качестве информативного параметра выходного сигнала электроемкостного преобразователя при измерении погонной емкости кабеля целесообразно использовать амплитуду тока  $\dot{I}^*$ , линейно возрастающую при увеличении погонной емкости кабеля.

Изменение электропроводности воды за счет изменения солености приводит к значительному увеличению амплитуды тока: от 35 % для больших значений  $C$  до 70 % для малых значений. Соответственно измерение погонной емкости без учета влияния электропроводности воды приведет к значительной погрешности результата измерения.

На рисунке 4 приведены результаты экспериментальных исследований в виде зависимости значения амплитуды тока  $\dot{I}^*$  от погонной емкости кабеля  $C$  и солености воды  $\lambda$ . На основе анализа этих данных можно найти функцию обратного преобразования измеренного значения тока в значение погонной емкости кабеля с учетом влияния элек-

ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

тропроводности воды.

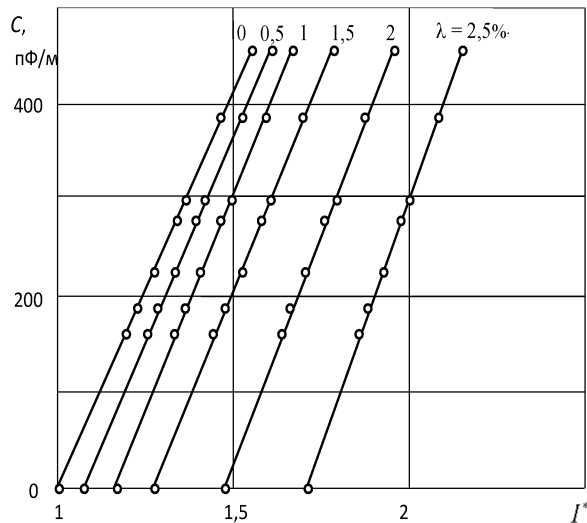


Рисунок 4 - Зависимость относительного амплитудного значения тока  $I^*$  от погонной емкости кабеля  $C$  и солёности воды  $\lambda$

Согласно представленным результатам, для определения величины погонной емкости кабеля  $C$  может быть использована линейная функция преобразования вида

$$C = C_{01}(\lambda) + k_1(\lambda) \cdot I^*, \quad (1)$$

где  $C_{01}(\lambda)$  и  $k_1(\lambda)$  – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями солёности воды.

Функции  $C_{01}(\lambda)$  и  $k_1(\lambda)$  с достаточной степенью точности описываются полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами конкретного электроемкостного преобразователя.

Значение солёности воды, необходимое для определения значений функций  $C_{01}(\lambda)$  и  $k_1(\lambda)$ , может быть определено как прямыми, так и косвенными измерениями. В данной работе исследован способ отстройки от влияния на результаты контроля изменения солёности воды на основе косвенных измерений.

С возрастанием электропроводности (солёности) воды монотонно возрастает фазовый угол  $\varphi$  между вектором тока  $I^*$  и мнимой осью комплексной плоскости и, соответственно, возрастает отношение  $t = \text{Re} I^* / \text{Im} I^*$ , равное  $\text{tg} \varphi$  (рисунок 2). Это дает возможность использовать результаты измерения комплексных составляющих

тока  $I^*$  для отстройки от изменения солёности воды.

По аналогии с (1) уравнение обратного преобразования значения амплитуды тока  $I^*$  в значение погонной емкости описывается линейной зависимостью

$$C = C_{02}(t) + k_2(t) \cdot I^*, \quad (2)$$

где  $C_{02}(t)$  и  $k_2(t)$  – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями величины  $t$ , отражающей электропроводность (солёность) воды.

Функции  $C_{02}(t)$  и  $k_2(t)$ , также как и функции  $C_{01}(\lambda)$  и  $k_1(\lambda)$ , с достаточной степенью приближения могут быть описаны полиномами второй степени, коэффициенты которых определяются конструктивными параметрами используемого электроемкостного преобразователя.

Численный эксперимент по обработке массива эмпирических данных, полученных для одножильных кабелей со значением погонной емкости в диапазоне (160...460) пФ/м при изменении солёности воды в диапазоне (0...2,5) ‰ показал отличие рассчитанных по формуле (2) значений погонной емкости от действительных значений не более, чем на 5%.

При уменьшении диапазона изменения электропроводности воды указанная погрешность измерения погонной емкости может быть кратно уменьшена.

#### Выводы

Таким образом, показано, что изменение удельной электропроводности воды, в которую погружен электроемкостной преобразователь оказывает существенное влияние на результат технологического контроля погонной емкости кабеля. Изменение удельной электропроводности воды может быть следствием изменения ее солёности, температуры или химического состава примесей. Предложен способ отстройки от влияния указанных факторов на результаты контроля, основанный на косвенном измерении удельной электропроводности и введении соответствующей поправки в функцию преобразования. Показано, что предложенный способ отстройки позволяет уменьшить погрешность измерения в несколько раз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 11326.0-78 «Радиочастотные кабели. Общие технические условия».

## РАЗДЕЛ 4. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

2. ГОСТ 27893-88 «Кабели связи. Методы испытаний».
3. Миляев, Д.В. Исследование первичного преобразователя измерителя емкости кабеля / Д.В. Миляев, Г.В.Вавилова, Е.И. Шкляр // Ползуновский вестник. - 2012 - №. 2-1 - С. 168-170

*Д.т.н., профессор Гольдштейн А.Е. - algol@tpu.ru, ст. преподаватель Вавилова Г.В. wgw@tpu.ru - каф. Информационно - измерительной техники Томский политехнический университет, (3822) 41-89-11.*

УДК: 66.074:66.084.08

# КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОАГУЛЯЦИИ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ НАНОМЕТРОВОГО РАЗМЕРА

В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, В.А. Нестеров, М.В.Хмелев, А.Н. Галахов, Р.Н. Голых

В статье представлены результаты исследований по определению эффективности ультразвуковой коагуляции готового нанодисперсного продукта. Созданный измерительный стенд позволил контролировать изменение концентрации наночастиц за счёт их укрупнения при наложении ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

**Ключевые слова:** акустическое воздействие, наноаэрозоль, коагуляция наночастиц, наноматериал.

### Введение

В различных отраслях промышленности реализуются технологические процессы, сопровождающиеся формированием в газовых средах готового продукта в виде частиц нанометрового размера. Ярким примером подобного процесса является получение нанодисперсного диоксида кремния SiO<sub>2</sub>.

При этом возникает задача высокоэффективного улавливания частиц готового продукта из газовых сред. Для улавливания готового продукта применяются аппараты сухой и мокрой пылеочистки, осадительные камеры, различные циклоны, электро и тканевые фильтры и др.

Наибольшее распространение в настоящее время получили инерционные и центробежные аппараты. Их эффективность при улавливании частиц с размерами до 1 мкм подтверждена широчайшим опытом промышленного применения. Однако, улавливание частиц с размерами менее 0,1 мкм в инерционных аппаратах оказывается малоэффективным.

Перспективным направлением увеличения эффективности улавливания нанодисперсных примесей диоксида кремния SiO<sub>2</sub> является их предварительная коагуляция в акустических полях высокой интенсивности [1].

Ультразвуковая коагуляция представляет собой процесс сближения и укрупнения взвешенных в газе или жидкости мелких твёрдых частиц, жидких капелек и газовых пузырьков под действием акустических колебаний звуковых или ультразвуковых частот [2].

В связи с отсутствием достоверных данных возникла необходимость в проведении исследований по определению эффективности процесса ультразвуковой коагуляции диоксида кремния SiO<sub>2</sub> (Аэросил). При проведении исследований было учтено следующее:

– при производстве диоксида кремния необходимо улавливать из газовой среды частицы, которые имеют нанометровый размер;

– частицы аэросила в значительной степени самопроизвольно агломерируют, поскольку диоксид кремния обладает сильно выраженными адгезионными свойствами [3];

– агломераты частиц имеют размер от 1 до 10 мкм и представляют собой пористый материал. Плотность агломератов принимается равной насыпной плотности неуплотнённого диоксида кремния, равной 50 г/дм<sup>3</sup>. При этом размер наименьших частиц аэросила составляет 50...60 нм, обладающих плотностью, равной 2200 кг/м<sup>3</sup>;

Для экспериментальных исследований процесса ультразвуковой коагуляции была использована ультразвуковая колебательная система (УЗКС) (устройство и внешний вид показаны рисунке 1) с излучателем, выполненным в виде изгибно-колеблющегося диска. Излучатель имел следующие технические характеристики:

- диаметр 320 мм;
- рабочая частота 21,5 кГц. [4]

Для наглядного подтверждения возможности коагуляции наночастиц был проведён эксперимент (рисунок 2), заключающийся в