

УДК 621.315.2.001.5

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛИ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГОННОЙ ЕМКОСТИ КАБЕЛЯ

А.В. Чапайкина, Г.В. Вавилова

Томский политехнический университет

E-mail: anastasija.ch@sibmail.com

**Чапайкина Анастасия Владимировна**, магистрант кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: nastasija.ch@sibmail.com  
Область научных интересов: технологический контроль емкости кабелей

**Вавилова Галина Васильевна**, старший преподаватель кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: gw@tpu.ru  
Область научных интересов: технологический контроль емкости кабелей

Описан метод измерения погонной емкости электрического кабеля непосредственно в процессе производства. Осуществлен анализ влияния электропроводности воды на результаты измерения емкости кабеля.

### Ключевые слова:

Кабель, погонная емкость, электропроводность воды.

Одним из важнейших параметров кабелей связи, определяющим качество передачи информации, является его емкость. Значение погонной емкости нормируется стандартами на соответствующие виды кабелей [1].

Экранированный кабель представляет собой цилиндрический конденсатор, одной обкладкой которого является токопроводящая жила, а второй – металлическая оболочка. Емкость кабеля рассчитывается по формуле

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

где  $\varepsilon_r$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляционного материала;  $\varepsilon_0$  – постоянная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;  $l$  – длина кабеля, м;  $R_2$  – диаметр внешнего проводника, мм;  $R_1$  – диаметр внутреннего проводника, мм.

ГОСТ 27893-88 [2] регламентирует порядок проведения выходного контроля, который проводится с отрезками кабеля конечной длины. Но в этом случае отсутствует возможность контроля емкости по всей длине кабеля. Измерение емкости кабеля непосредственно в процессе производства на стадии нанесения изоляции позволит устранить этот недостаток.

Технологический контроль емкости осуществляется непосредственно после экструзии. В этом случае кабель не имеет второго электрода, а вместо него используется вода охлаждающей ванны, куда помещается кабель сразу после нанесения изоляции.

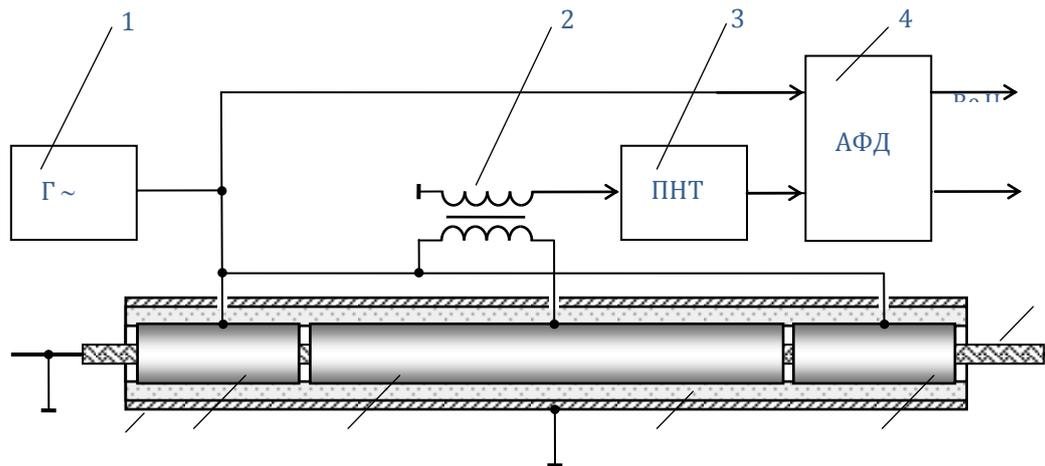
Для измерения емкости кабеля используется трубчатый электрод, внутри которой находится контролируемый кабель. Зазор между изоляцией кабеля и трубчатым электродом заполняется водой, создавая электрический контакт с электроизоляционной оболочкой.

Этот метод контроля широко используют зарубежные фирмы, выпускающие приборы контроля для кабельной промышленности: Sikora, Zumbach, Proton Products.

Цель работы: выявить зависимости результата измерения погонной емкости описанным методом от изменения электропроводности воды в охлаждающей ванне; оценить эффективность одного из способов уменьшения этой зависимости.

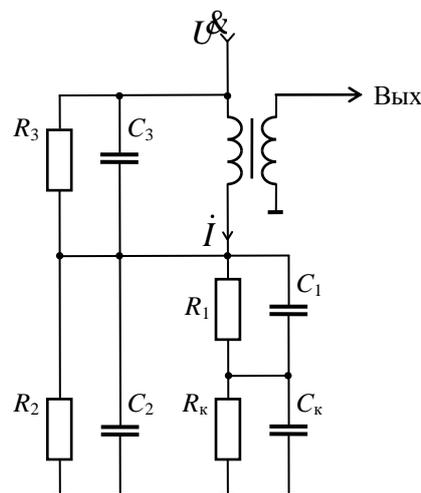
На рис. 1 приведена структурная схема измерителя погонной емкости. Измеритель емкости состоит из следующих блоков: генератора напряжения синусоидальной формы 1, трансформатора тока 2, преобразователя ток–напряжение 3, амплитудно-фазового детектора 4 и измерительного преобразователя. Составными элементами преобразователя являются цилиндри-

ческий 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 проходит через трубчатые электроды преобразователя. Дополнительные электроды используются для обеспечения однородности электрического поля на краях измерительного электрода. Электропроводящая жила кабеля и корпус преобразователя заземляются. Трубчатые электроды подключаются к генератору переменного напряжения  $\dot{U}$ , имеющему угловую частоту  $\omega$ . Измерение силы тока в электрической цепи измерительного электрода осуществляется при помощи трансформатора тока. 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.



**Рис. 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

Схема замещения электрической цепи измерительного электрода показана на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема замещения электрической цепи 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

Сила тока  $\dot{I}$  зависит не только переменного напряжения  $\dot{U}$  и параметров комплексного

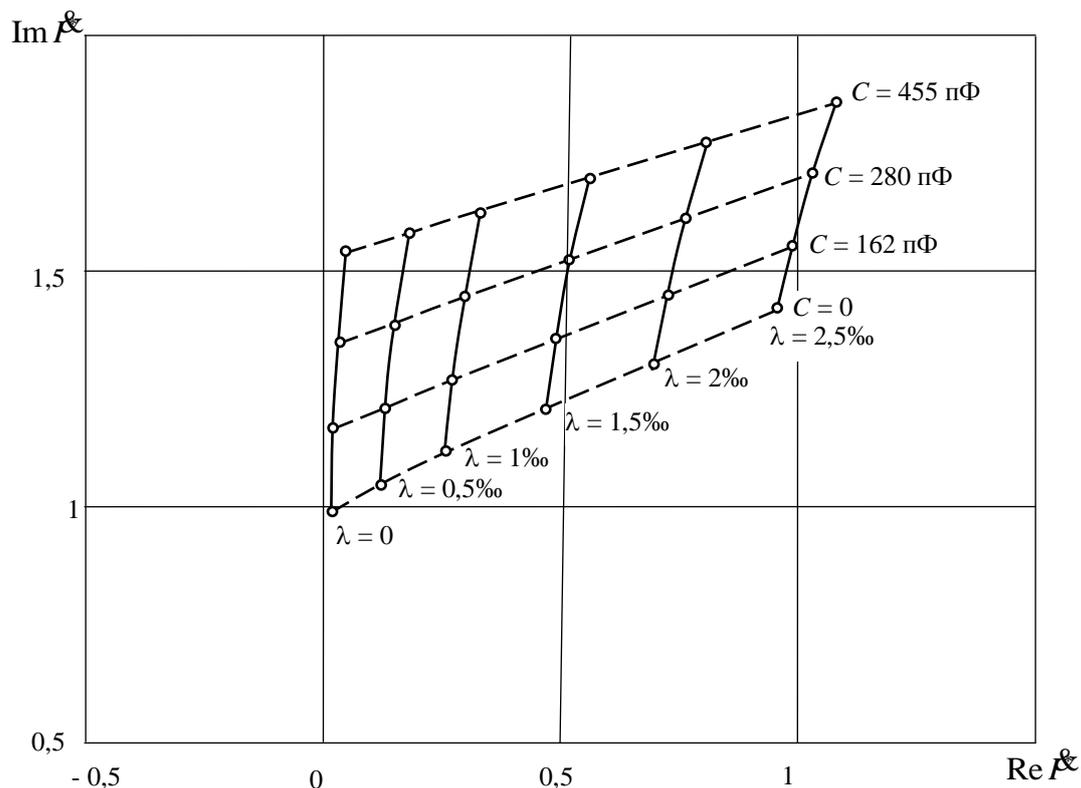
емкостного сопротивления исследуемого кабеля  $C_k$  и  $R_k$ , но и от величин  $C_1, R_1, C_2, R_2, C_3, R_3$ , значения которых в значительной мере зависят от удельной электропроводности воды экстрактивной ванны.

### Исследование влияния электропроводности воды

Электрическая проводимость воды в основном определяется наличием в ее составе растворенных примесей, а также температурой водного раствора. Для отстройки от влияния всех перечисленных факторов применимы одинаковые методы.

Растворение в пресной воде поваренной соли NaCl обеспечивало изменение удельной электрической проводимости воды. Диапазон изменения солёности составил (0...2,5) ‰. Во время эксперимента температура воды и амплитуда переменного напряжения  $U_{\&}$  поддерживались постоянными. В качестве образцов применялись куски одножильных кабелей с разной погонной емкостью от 160 до 460 пФ/м и приблизительно одинаковыми значениями активной составляющей комплексного сопротивления, действительное значение погонной емкости определялось методом, регламентированным в ГОСТ 27893-88 [2].

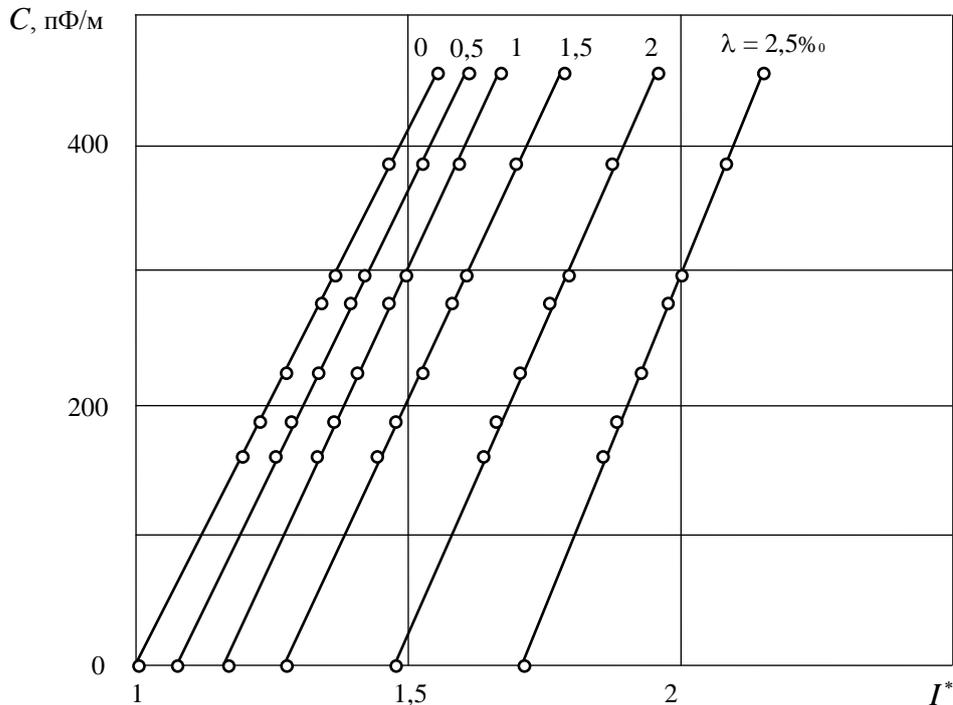
Результаты эксперимента получены в виде годографов относительного значения тока  $I_{\&}$  от изменения погонной емкости кабеля  $C$  и солёности воды  $\lambda$  (рис. 3). Значению погонной емкости  $C = 0$  характеризуется отсутствием кабеля в преобразователе. В качестве нормирующего значения силы тока принималось значение для случая  $C = 0$  и  $\lambda \rightarrow 0$ .



**Рис. 3.** Годографы сигнала электроемкостного преобразователя от изменения погонной емкости электрического кабеля  $C$  и солёности воды  $\lambda$

Анализ зависимостей (рис. 3) показывает, что амплитуда тока  $I_{\&}$  линейно возрастает при увеличении погонной емкости кабеля. Изменение концентрации соли приводит к значительному увеличению амплитуды тока: от 35 % для больших значений емкости до 70 % для малых значений. Следовательно, результат измерения емкости кабеля без учета влияния электропроводности воды будет содержать значительную погрешность.

На основе экспериментальных данных (рис. 4) можно найти функцию обратного преобразования значения амплитудного значения тока  $I^*$  в значение погонной емкости кабеля для различной концентрации соли в воде.



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

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

Уравнение обратного преобразования значения амплитуды тока  $I^*$  в значение погонной емкости можно описать линейной функцией преобразования вида

$$C = C_0(t) + k(t) \cdot I^*, \quad (1)$$

где  $C_0(t)$  и  $k(t)$  – постоянная составляющая и коэффициент пропорциональности, являющиеся функциями величины  $t$ , отражающей удельную электропроводность (солёность) воды.

Функции  $C_0(t)$  и  $k(t)$  определяются конструктивными параметрами электроемкостного преобразователя и могут с достаточной степенью точности описываться полиномами второго порядка.

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 эффективность описанного способа отстройки от влияния изменения солёности воды на результаты контроля погонной емкости электрического кабеля. Отличие рассчитанных по формуле (1) значений погонной емкости от действительных значений не превышает 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 температуры, концентрации 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 позволяет уменьшить погрешность измерения в несколько раз.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. ГОСТ 11326.0-78. Радиочастотные кабели. Общие технические условия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 35 с.
2. ГОСТ 27893-88. Кабель связи. Методы испытаний. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 25 с.

Поступила 30.10.2013 г.