

*А.Я.ДМИТРИШИН*, мл. науч. сотр., ИИПТ НАН Украины, Николаев

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕКЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИМПУЛЬСНОГО КОНДЕНСАТОРА ДЛЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО КОМПЛЕКСА С ПОМОЩЬЮ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

На основі розрахунку електричного поля на краю обкладки секції конденсатора методом конформних відображень видано рекомендації щодо конструкції діелектричної системи високовольтного імпульсного конденсатора для заглибного електророзрядного комплексу.

Recommendations about construction of dielectric system of high-voltage pulse capacitor for downhole electrodischarge complex on base of calculation of electrical field by method of conformal displays are given.

На основе расчета электрического поля на краю обкладки секции конденсатора методом конформных отображений выданы рекомендации относительно конструкции диэлектрической системы высоковольтного импульсного конденсатора для погружного электроразрядного комплекса.

**Введение.** Как показали исследования в работе [1], дальнейшее повышение энергоемкости высоковольтных импульсных конденсаторов для погружных электроразрядных комплексов, применяемых для интенсификации добычи полезных ископаемых, возможно за счет применения в качестве рабочего диэлектрика секции конденсатора диэлектрических систем на основе полимерных пленок, пропитанных низковязкой диэлектрической жидкостью.

Применение новых диэлектрических систем требует многосторонних исследований, однако основным фактором, определяющим допустимую рабочую напряженность электрического поля, а, следовательно, удельные энергетические характеристики конденсатора, является электрическое поле в секции конденсатора.

Как указано в работе [2], основной причиной выхода из строя конденсатора является электрический пробой на краю обкладок секции. Как показали исследования [3], в высоковольтных импульсных конденсаторах для погружных электроразрядных комплексов наиболее слабым компонентом диэлектрической системы изоляции секции является пропитывающая жидкость, электрическая прочность которой снижается из-за применения в качестве конденсатора температурного расширения элегаза ( $\text{SF}_6$ ).

**Цель** данной работы – определение коэффициента усиления электрического поля и областей повышенной напряженности в пропитывающем диэлектрике на краю обкладок секции, что позволит выбрать оптимальную конструкцию диэлектрической системы на основе полимерных пленок для созда-

ния высоковольтного импульсного конденсатора с повышенными удельными энергетическими характеристиками.

В процессе изготовления секции конденсатора слои жидкости и пленки принимают положение, показанное на рис. 1.

Для расчета электрического поля в секции конденсатора можно применить модель секции со сдвинутыми обкладками (рис. 2), предложенную в работе [4] и решенную методом конформных отображений.

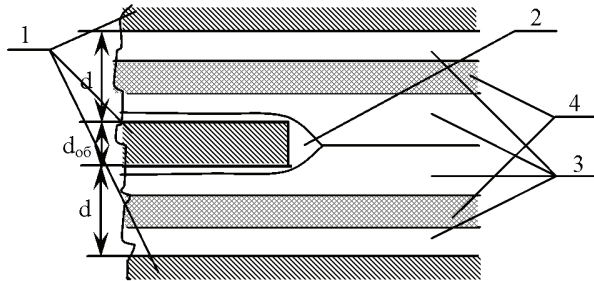


Рисунок 1 – Расположение слоев пленки и пропитывающей жидкости на краю обкладок секции конденсатора: 1 – обкладки секции; 2 – пропитывающая жидкость; 3 – пленочный диэлектрик первого типа; 4 – пленочный диэлектрик второго типа

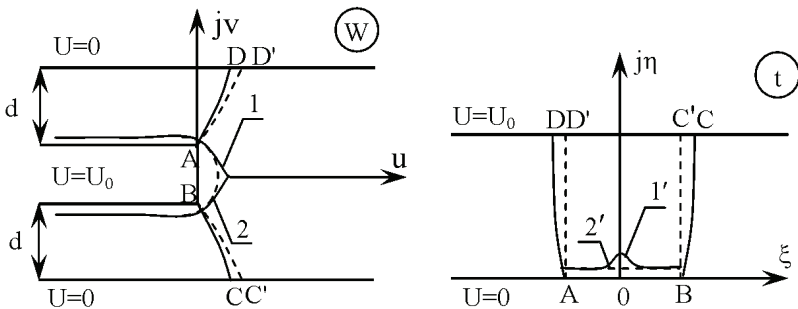


Рисунок 2 – Расчетная модель края секции конденсатора со сдвинутыми обкладками

Для однородного диэлектрика коэффициент усиления электрического поля  $K_{y0}$  на расстоянии  $r$  от острого края обкладки может быть вычислен по формуле [4]:

$$K_{y0} = \sqrt[3]{\frac{d}{\pi \cdot a_n \cdot k_T}} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{r}}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина диэлектрика;  $k_T$  – поправочный коэффициент [4],  $k_T = 1,5$ ;  $a_n$  – геометрический коэффициент;

$$a_n = \sqrt{1 - (1 / (1 + \frac{1}{2} \cdot n))^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – отношение толщины обкладки  $d_{об}$  к толщине диэлектрика  $d$ .

Для неоднородного диэлектрика можно записать:

$$K_y = K_{yo} \cdot K_{но}, \quad (3)$$

где  $K_y$  – коэффициент усиления поля в неоднородном диэлектрике;  $K_{но}$  – коэффициент неоднородности диэлектрика.

Как показали исследования, проведенные в ИИПТ НАН Украины, наиболее оптимальной конструкцией пленочной диэлектрической системы является система на основе трех слоев пленки.

Коэффициент неоднородности трехслойного пленочного диэлектрика можно определить по формуле:

$$K_{но} = \left[ \frac{d_{жс}}{d} + \frac{\varepsilon_{жс}}{\varepsilon_{nl1}} \cdot \frac{d_{nl1}}{d} + \frac{\varepsilon_{жс}}{\varepsilon_{nl2}} \cdot \frac{d_{nl2}}{d} \right]^{-1}, \quad (4)$$

где  $d_{жс}$ ,  $d_{nl1}$ ,  $d_{nl2}$  – суммарные толщины слоев жидкости, первой пленки, второй пленки, соответственно;  $\varepsilon_{жс}$ ,  $\varepsilon_{nl1}$ ,  $\varepsilon_{nl2}$  – относительные диэлектрические проницаемости слоев жидкости, первой пленки, второй пленки, соответственно.

Для использования в конструкции секции высоковольтного импульсного конденсатора скважинных устройств на основании данных работы [5] были предложены следующие диэлектрические системы:

- полиэтилентерефталатная, состоящая из трех слоев пленки ПЭТ-КЭ ( $\varepsilon = 3,2$ ), толщиной  $d = 40$  мкм;
- комбинированная полипропиленово-полиэтилентерефталатная, состоящая из двух слоев пленки ПП-КСШ ( $\varepsilon = 2,2$ ) и одного слоя пленки ПЭТ-КЭ ( $\varepsilon = 3,2$ ), толщиной  $d = 39$  мкм.

В качестве пропитывающих жидкостей были выбраны трансформаторное масло Т-1500 ( $\varepsilon = 2,2$ ) и полиметилсилоксановая жидкость ПМС-20 ( $\varepsilon = 2,6$ ).

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента усиления электрического поля в жидком диэлектрике от расстояния  $r$  до острого края обкладки для каждой из выбранных систем.

Используя формулы (1)-(4), можно также определить расстояние  $r_n$ , на котором коэффициент усиления поля в неоднородном диэлектрике  $K_{yno} = 2$ , что соответствует границе резко неоднородного поля.

Анализируя приведенные зависимости, можно отметить, что в случае применения комбинированной изоляции при пропитке обеими жидкостями коэффициент усиления поля и область повышенной напряженности меньше, чем при применении изоляции на основе одной пленки. Так, для пропитки трансформаторным маслом при применении комбинированной изоляции  $r_n = 2$  мкм, а при применении одной пленки –  $r_n = 3$  мкм. При пропитке полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20 при применении комбинированной изоляции  $r_n = 1,2$  мкм, а при применении одной пленки –  $r_n = 2$  мкм. Следова-

тельно, использование комбинированной пленочной системы улучшает при-  
электродные условия на краю обкладки секции конденсатора.

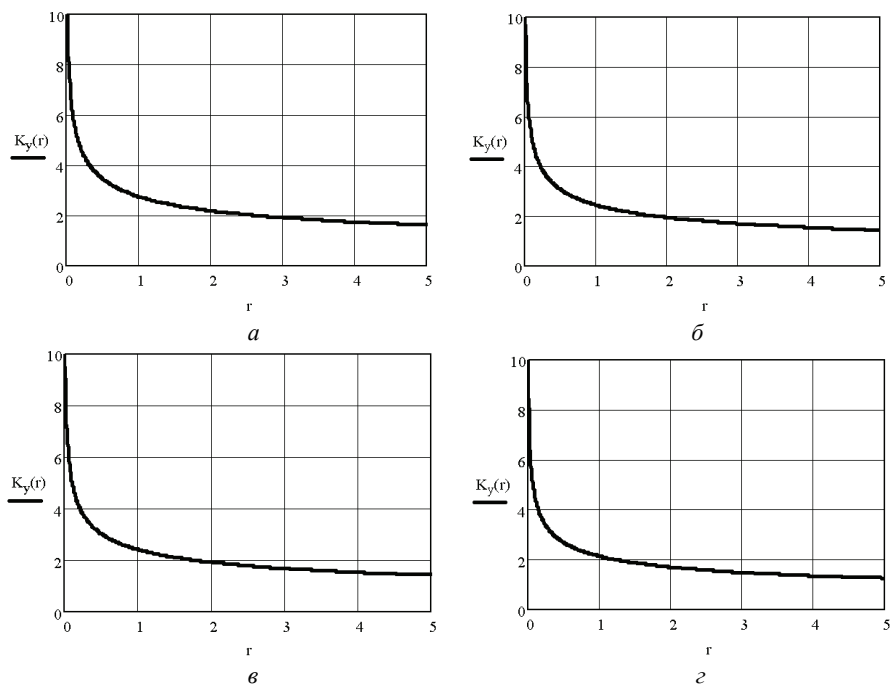


Рисунок 3 – Зависимости коэффициента усиления электрического поля в жидком ди-  
электрике от расстояния до острого края обкладки для пленочных диэлектрических  
систем: *а* – полиэтилентерефталатная система, пропитанная трансформаторным мас-  
лом Т-1500; *б* – комбинированная полипропиленово-полиэтилентерефталатная систе-  
ма, пропитанная трансформаторным маслом Т-1500; *в* – полиэтилентерефталатная систе-  
ма, пропитанная полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20; *г* – комбинированная  
полипропиленово-полиэтилентерефталатная система, пропитанная полиметилсилокса-  
новой жидкостью ПМС-20

Что касается выбора пропитывающей жидкости, то при применении по-  
лиметилсилоксановой жидкости ПМС-20 коэффициент усиления электриче-  
ского поля ниже, чем при использовании трансформаторного масла, т.е. ис-  
пользование жидкого диэлектрика с большей диэлектрической проницаемо-  
стью уменьшает неоднородность электрического поля.

Учитывая вышесказанное, можно сделать **вывод**, что с точки зрения рас-  
чета электрического поля наиболее оптимальной диэлектрической системой  
для изоляции секции высоковольтного импульсного конденсатора для по-  
гружного электроразрядного комплекса является комбинированная полипро-

пиленово-полиэтилентерефталатная система, пропитанная полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-20.

**Список литературы:** 1. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Швец И.С. Оценка достигнутого уровня и перспективы создания высоковольтных импульсных конденсаторов погружных электроразрядных комплексов // Электротехника. – 2007. – № 8. – С. 48-51. 2. Рудаков В.В. Распределение электрического поля у края обкладки конденсатора с комбинированным диэлектриком // Вестник ХГПУ. – 1998. – Вып. 25. – С. 12-16. 3. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Онищенко Л.И., Топоров С.О. Исследование влияния электрически прочных газов на электрофизические характеристики жидких диэлектриков // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XIII Международной школы-семинара (21-25 августа 2007). – Николаев: КП «Николаевская областная типография», 2007. – С. 164-166. 4. Титов М.Н. Расчет электрического поля на краю секции конденсатора // Электричество. – 1979. – № 11. – С. 56-58. 5. Гребенников И.Ю., Гунько В.И., Дмитришин А.Я., Михайлов И.Г., Онищенко Л.И., Фецул Т.А. Исследование зависимости ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов с пленочным диэлектриком от режимов эксплуатации // Электротехника. – 2006. – № 6. – С. 38-41.

*Поступила в редколлегию 24.10.2011*