

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт энергетики и транспортных систем
Кафедра «Техника высоких напряжений, электроизоляционная
и кабельная техника»

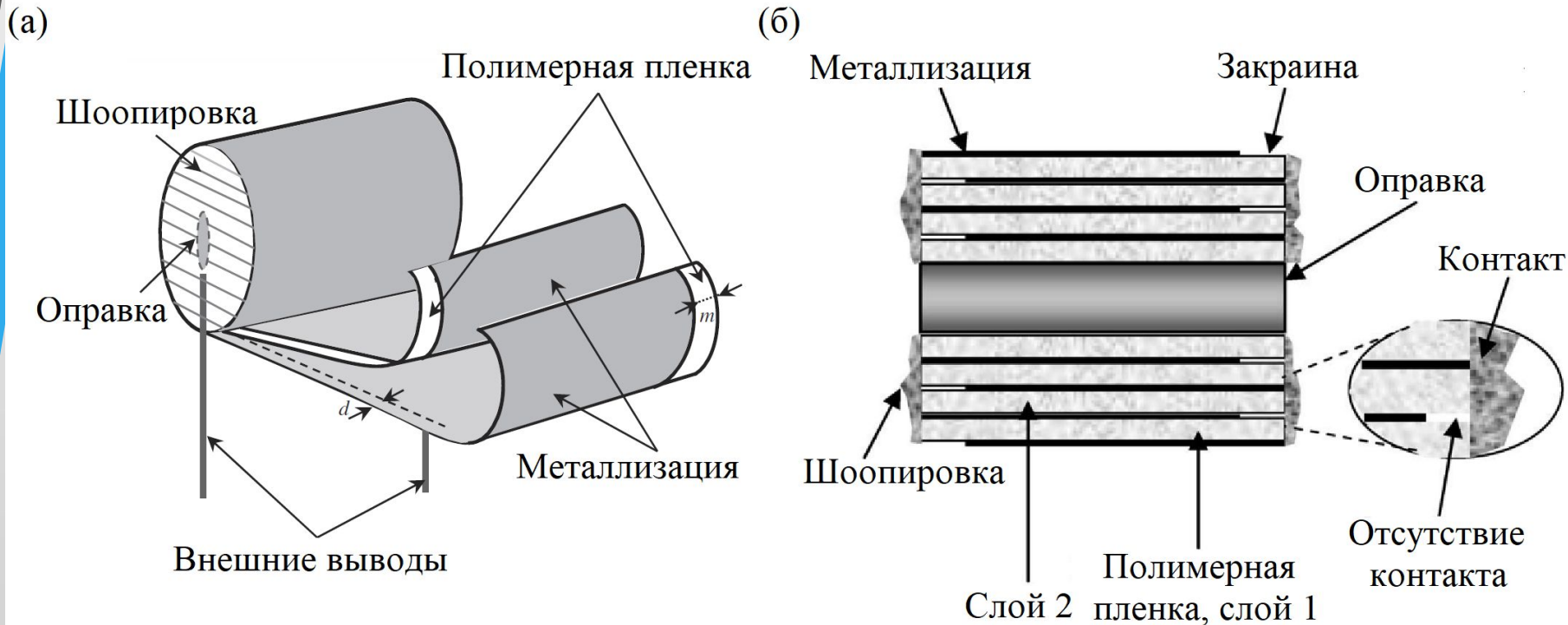
**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
МАГИСТРА**

**РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МЕТАЛЛОПЛЕНОЧНЫХ
КОНДЕНСАТОРОВ В РЕЖИМАХ ВЫСОКОЙ
ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ**

Выполнил студент
гр.23241/32 Гливенко Д.Ю.

Руководители:
асс., к.т.н. Иванов И.О.
доцент, к.т.н. Емельянов О.А.

Конструкция металлопленочных конденсаторов (МПК)



$$W_{уд} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 E^2}{2} \cdot k - \text{удельная запасаемая энергия конденсатора}$$

Цели и задачи исследования

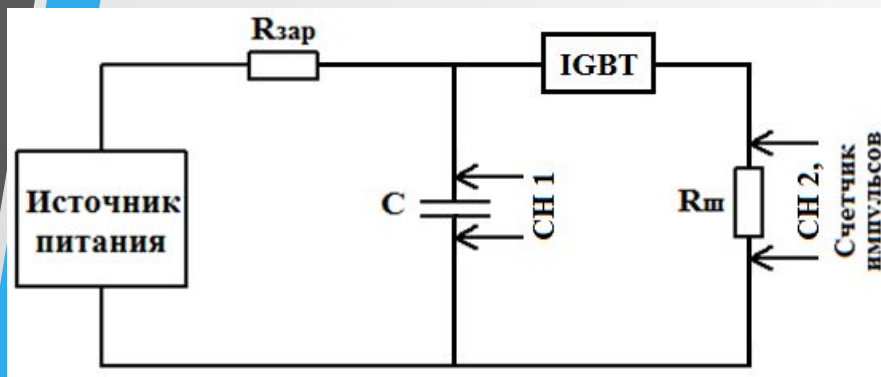
Цель работы: исследование влияния высоких токовых нагрузок на работоспособность МПК.

Задачи:

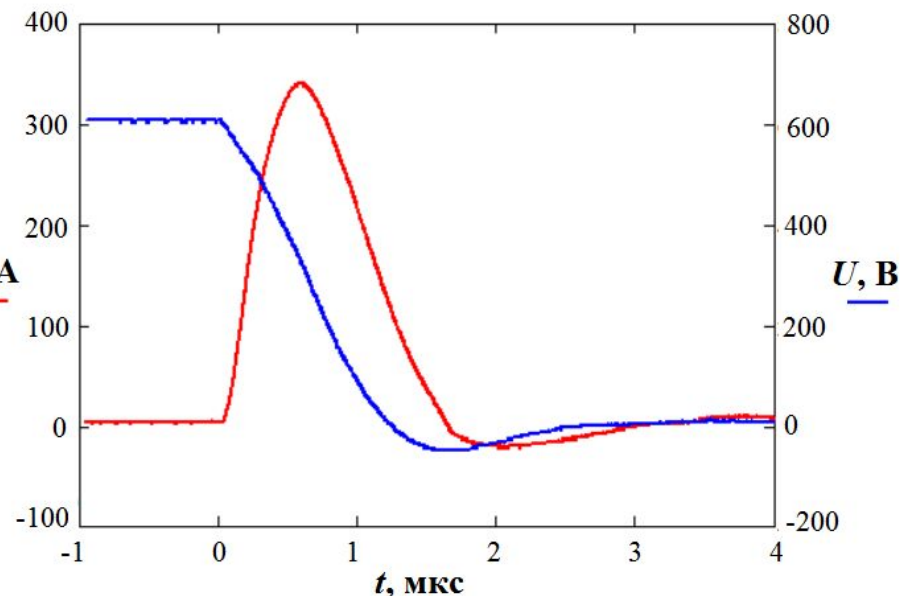
- 1) создать испытательную установку и разработать экспериментальную методику для исследования влияния высоких токовых нагрузок на работоспособность МПК;
- 2) теоретически и экспериментально исследовать процесс разрушения контактных узлов МПК;
- 3) выявить закономерности разрушения контактных узлов МПК.

Электрическая схема экспериментальной установки (а) и форма тока $I(t)$ и напряжение $U(t)$ на конденсаторе (б)

(а)



(б)



$R_{\text{зар}} = 1 \text{ кОм}$ – зарядное сопротивление;
 $R_{\text{ш}} = (0.5 - 1) \text{ Ом}$ – токовый шунт;
 C – исследуемый конденсатор.

Предельно допускаемая
амплитуда импульсного тока
 $I_{\text{м}} = 1.5 - 66 \text{ А}$.

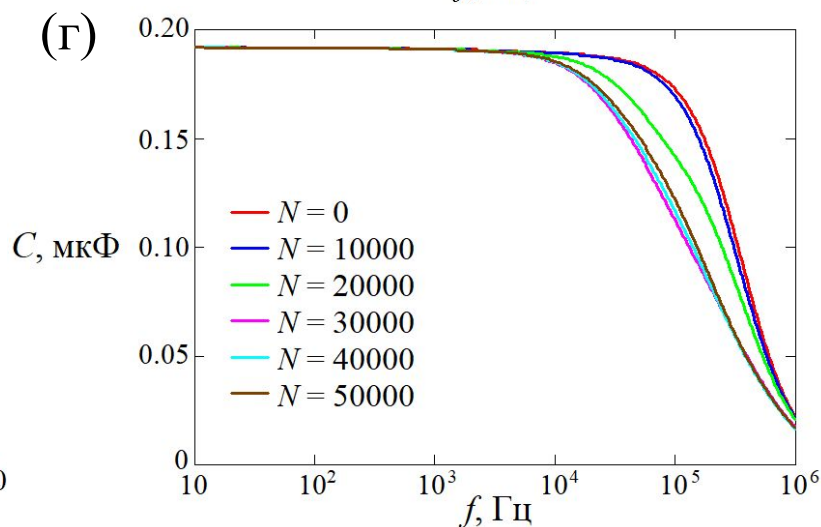
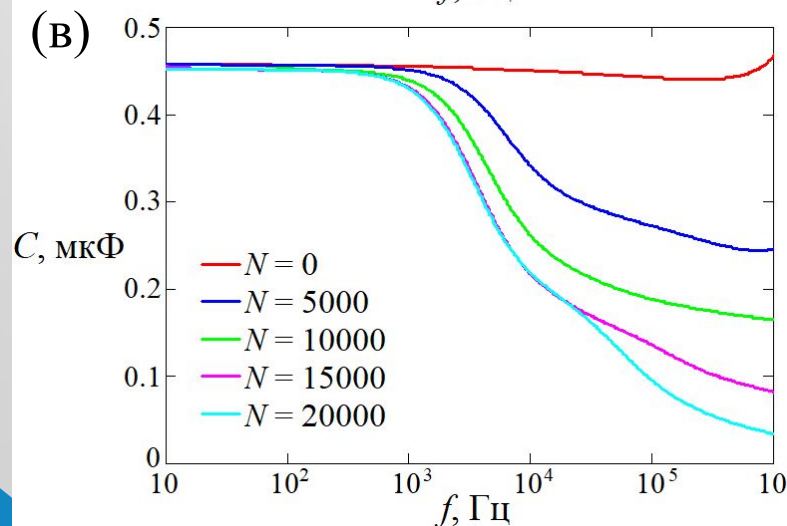
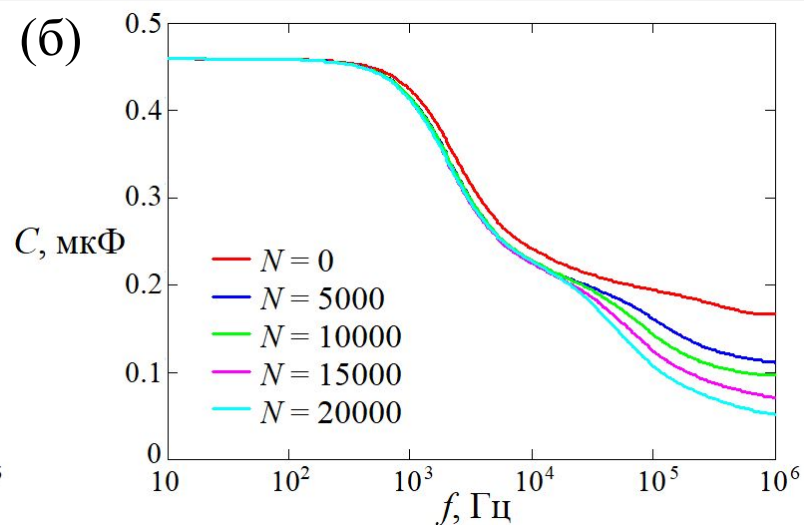
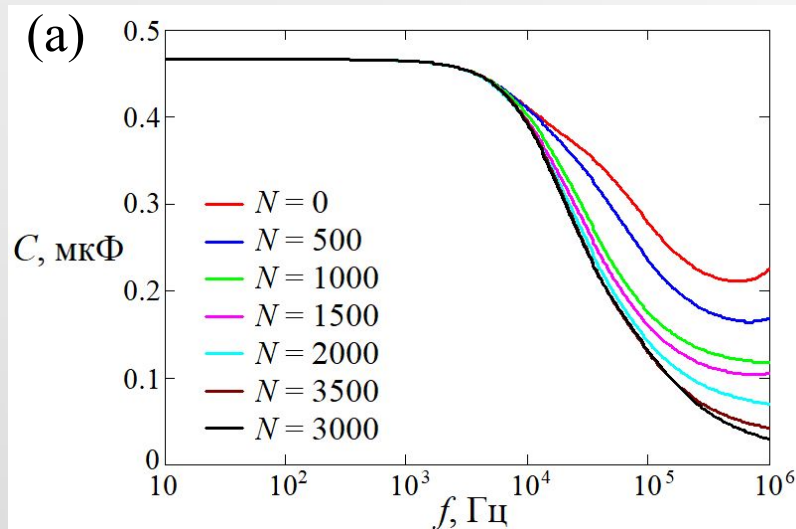
Объекты исследования:

К78-2, К73-11, К73-17;

$U_{\text{н}} = 63 - 630 \text{ В}$;

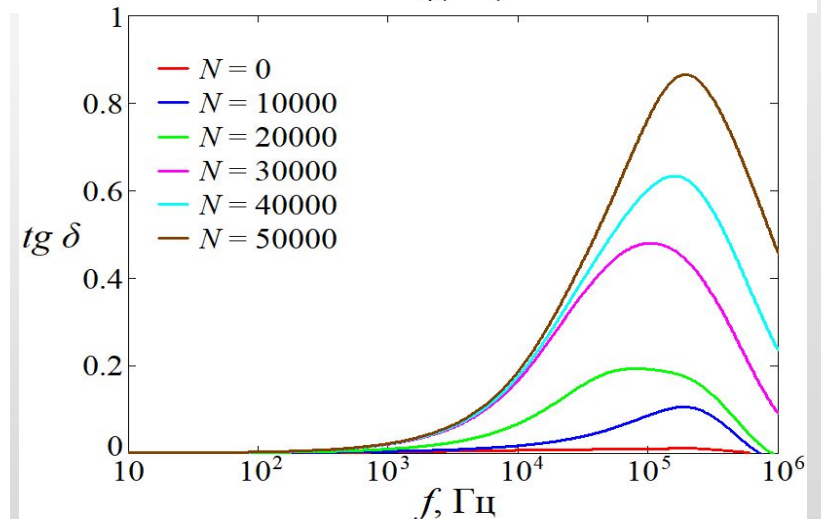
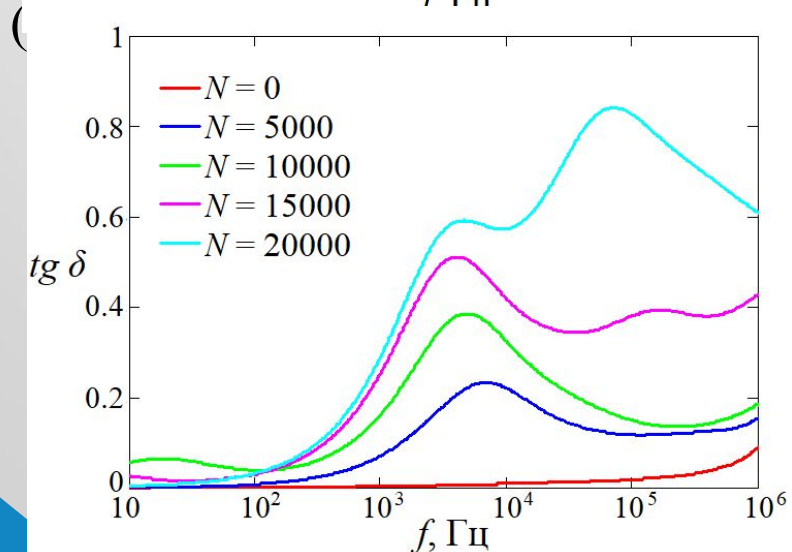
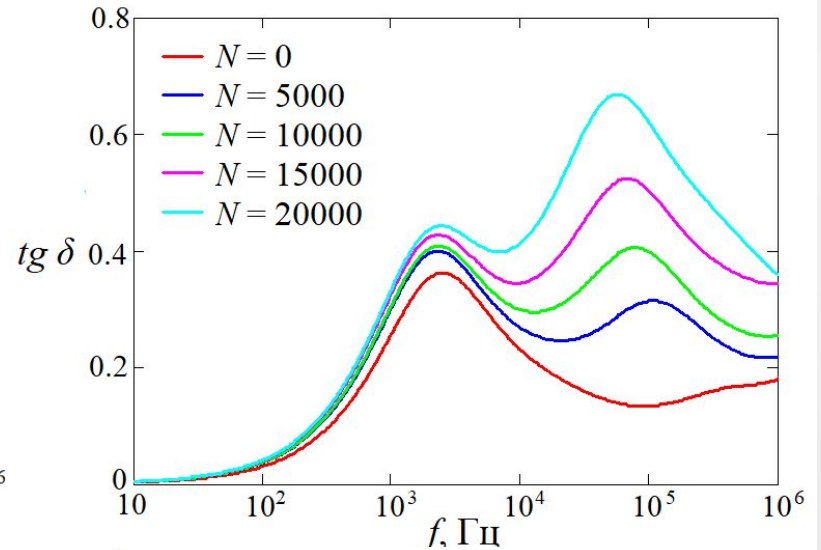
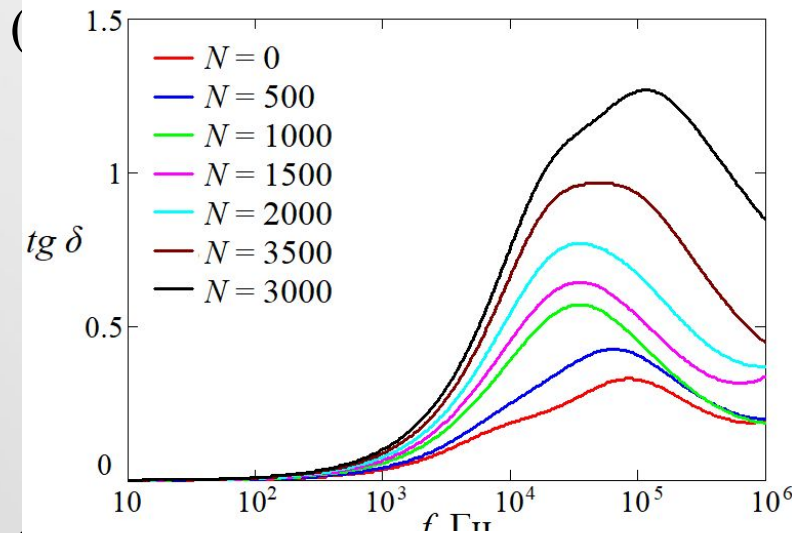
$C_{\text{н}} = 0.1 - 2.2 \text{ мкФ}$.

Зависимости емкости конденсаторов от частоты после N циклов заряд-разряд



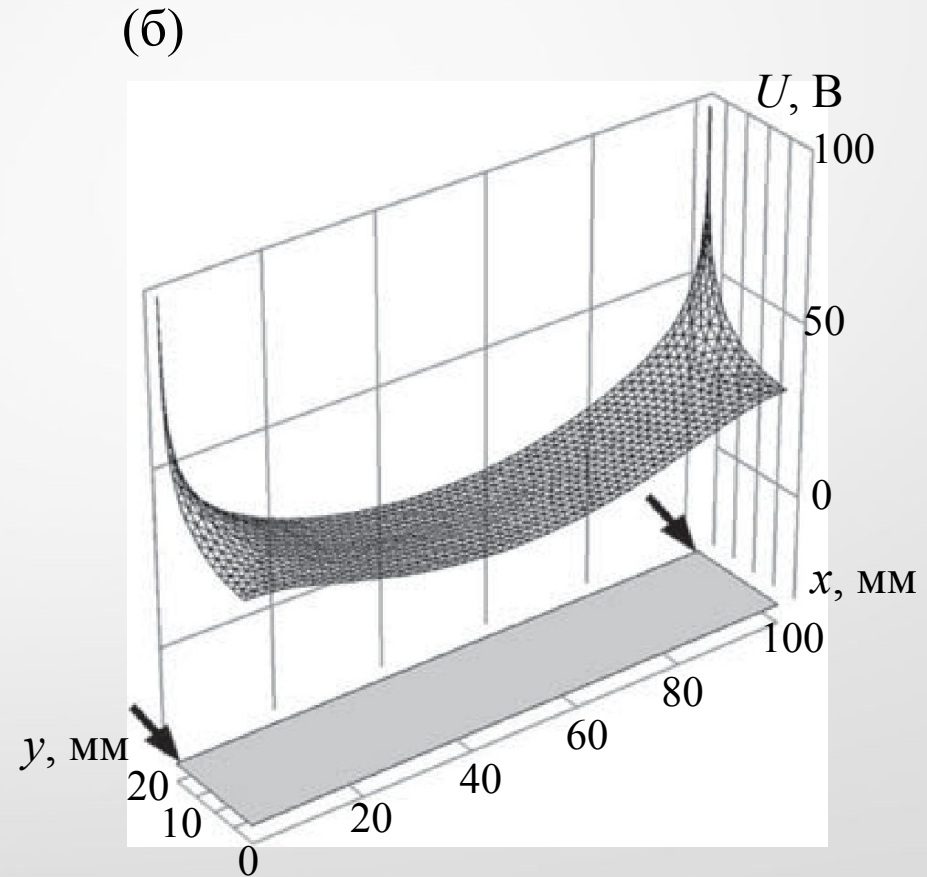
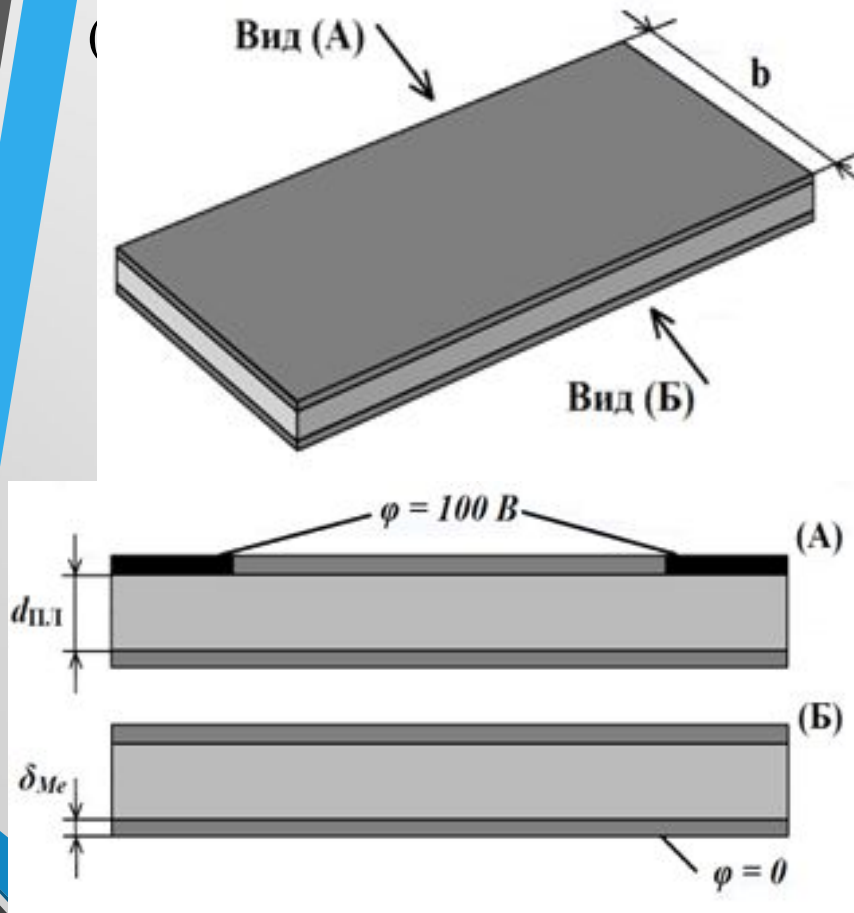
К73-11 $U_H = 630$ В $C_H = 0.47$ мкФ

Зависимости емкости конденсаторов от частоты после N циклов заряд-разряд



К73-11 $U_H = 630 \text{ В}$ $C_H = 0.47 \text{ мкФ}$

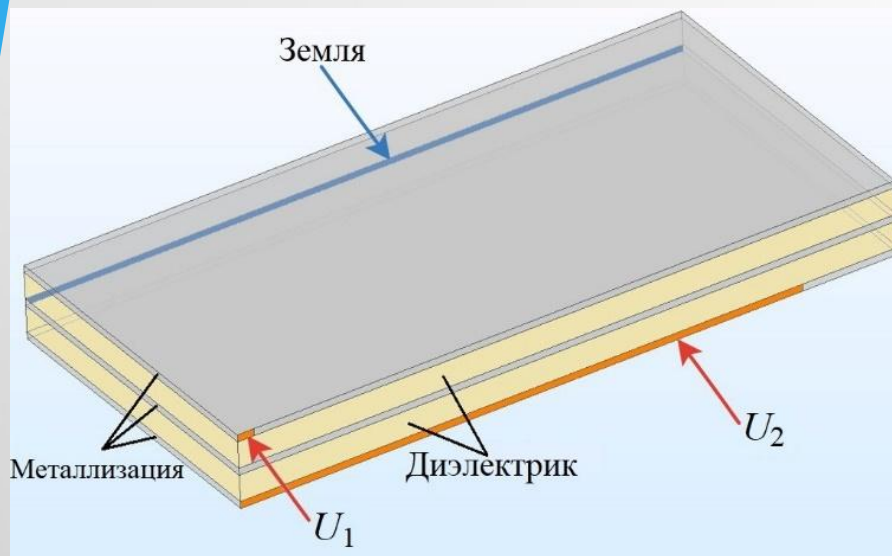
Геометрическая модель численного моделирования (а) и распределение потенциала по поверхности электрода при неравномерном подводе тока (б)



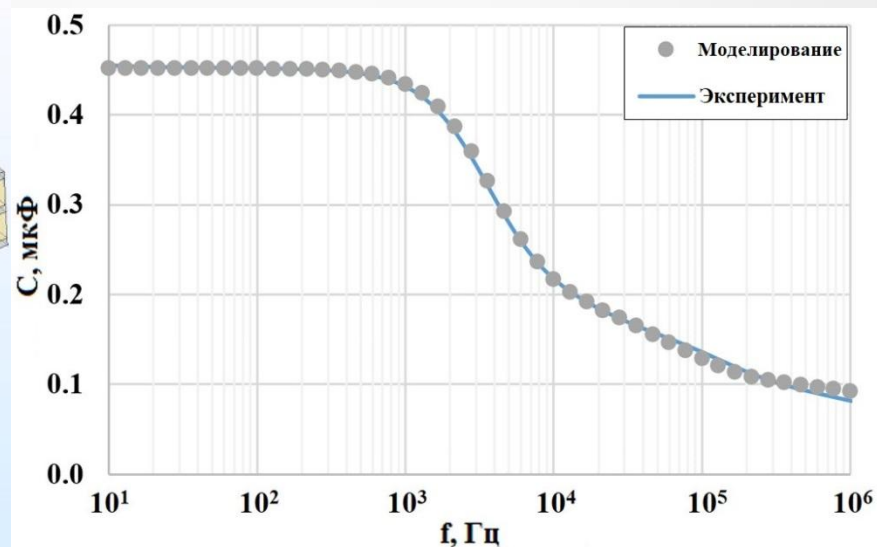
$$d_{\text{пл}} = 12 \text{ мкм} \quad \delta_{\text{Ме}} = 30 \text{ нм} \quad b = 2 \text{ см}$$

Геометрическая модель и сравнение численного моделирования с результатами эксперимента

(а)



(б)

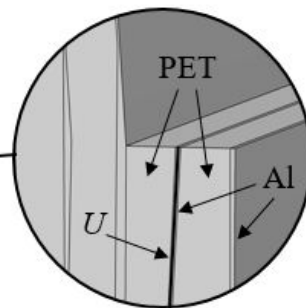
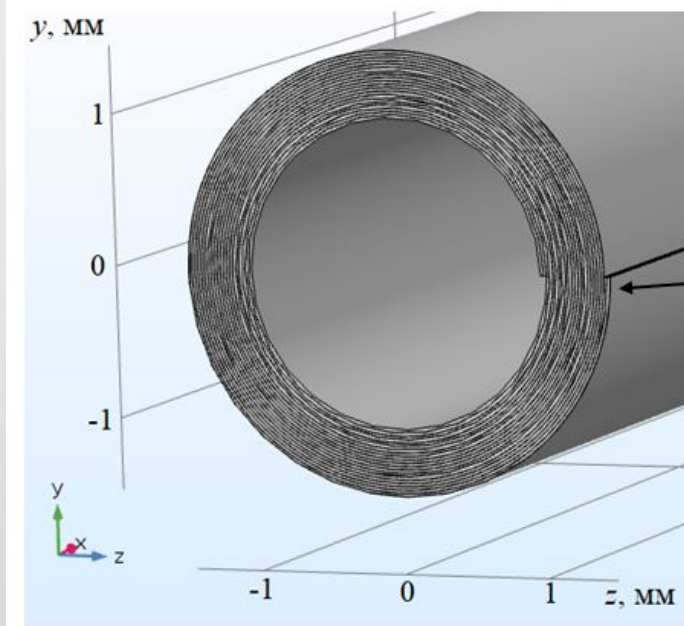


$$C(\omega) = \frac{\text{Im}(\dot{Y}(\omega))}{\omega}$$

15000 циклов заряд-разряд

Геометрическая модель и сравнение численного моделирования с результатами эксперимента

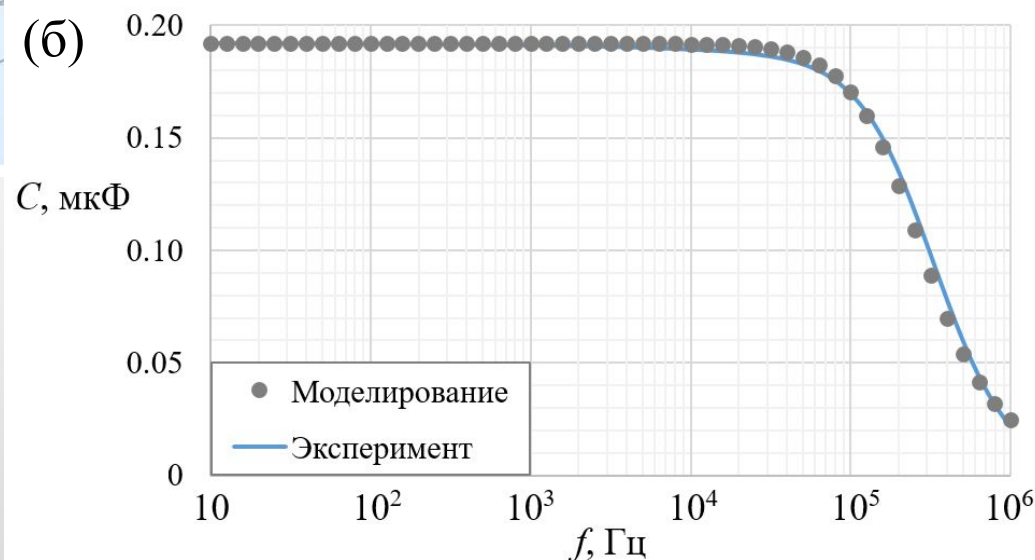
(a)



$$b = \frac{\delta_{MH} + d}{\pi}$$

$$\begin{cases} (a + b \cdot s) \cdot \sin(s) \\ (a + b \cdot s) \cdot \cos(s) \end{cases}$$

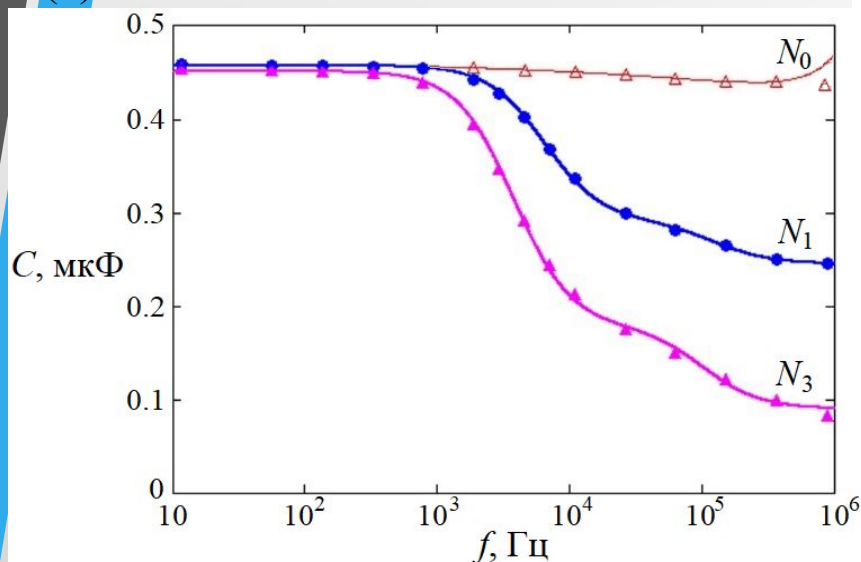
(б)



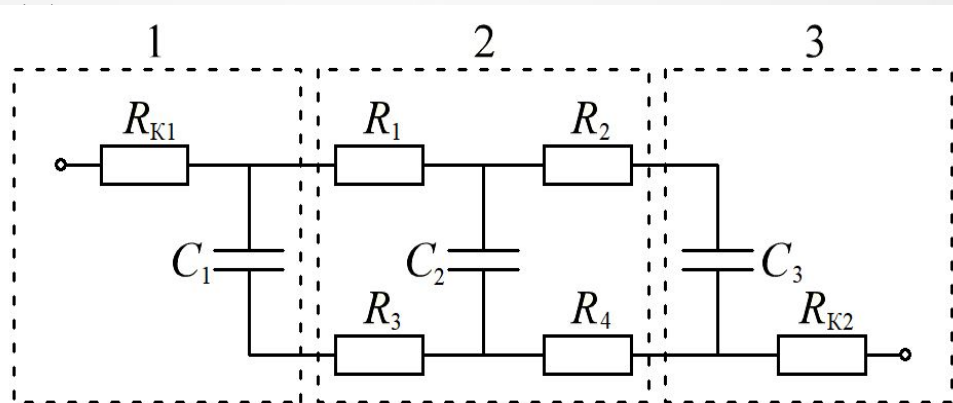
10000 циклов заряд-разряд

Эквивалентная схема МПК для описания частотной зависимости емкости

(a)



$N_0 = 0$, $N_1 = 5\,000$, $N_3 = 15\,000$ циклов заряд-разряд. Маркеры – расчет, сплошные линии – эксперимент



C_1 и C_3 – емкость катодных и анодных приконтактных областей;
 R_{K1} и R_{K2} – сопротивление контактных узлов;
 C_2 – емкость участков, отдаленных от контактных зон, где градиент потенциала незначительный;
 R_1 , R_2 и R_3 , R_4 – эквивалентные сопротивления металлизированных электродов положительной и отрицательной полярности соответственно.

Параметры эквивалентной схемы

N	C_1 , нФ	C_2 , нФ	C_3 , нФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом
0	83	214	160	122	18	407	12
5000	83	214	160	136	7	149	6
15000	79	213	159	264	2	139	10

Выводы

1) В рамках настоящей ВКР создана испытательная установка и разработана экспериментальная методика для исследования влияния высоких токовых нагрузок на работоспособность МПК.

2) В ходе работы был обнаружен эффект полярного разрушения контактных узлов МПК. Эффект полярного разрушения может быть объяснен процессом электромиграции в области контактирования.

3) Было обнаружено появление частотной дисперсии емкости конденсаторов по мере их деградации, которая проявляется в виде значительного снижения эффективной емкости при частотах выше 1 кГц. Деградация контактных узлов сопровождается значительным ростом значения тангенса угла потерь в широком диапазоне частот, а также появлением одного или двух максимумов в области высоких частот.

4) Проведено численное моделирование распределения потенциала в конденсаторной структуре.

5) На основании экспериментальных и расчетных данных была предложена эквивалентная схема замещения МПК, учитывающая деградацию контактных узлов.



Спасибо за внимание!