

Центр ультразвуковых технологий

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ВОЗМОЖНОСТИ И
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЯ
СРЕД ПО ПАРАМЕТРАМ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Хмелёв Владимир Николаевич



Доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель РФ, Senior Member IEEE. Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, автор более 1200 научных публикаций (в т.ч. более 100 патентов, более 20 монографий и учебников) Зам. директора по научной работе Бийского технологического института ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова".

***+7 9039925120
vnh@u-sonic.ru***

Особенности ультразвукового воздействия

УЗ генератор



УЗ колебательная система

Обрабатываемая среда
 $\rho_1 c_1$

Обрабатываемая среда
 $\rho_2 c_2$

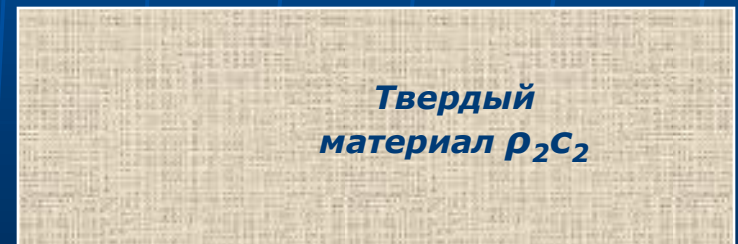
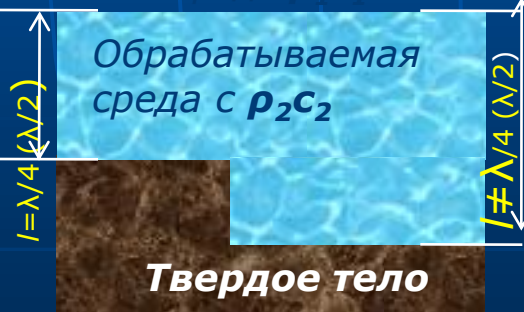
1)

2)

3)

Обрабатываемая среда $\rho_1 c_1$

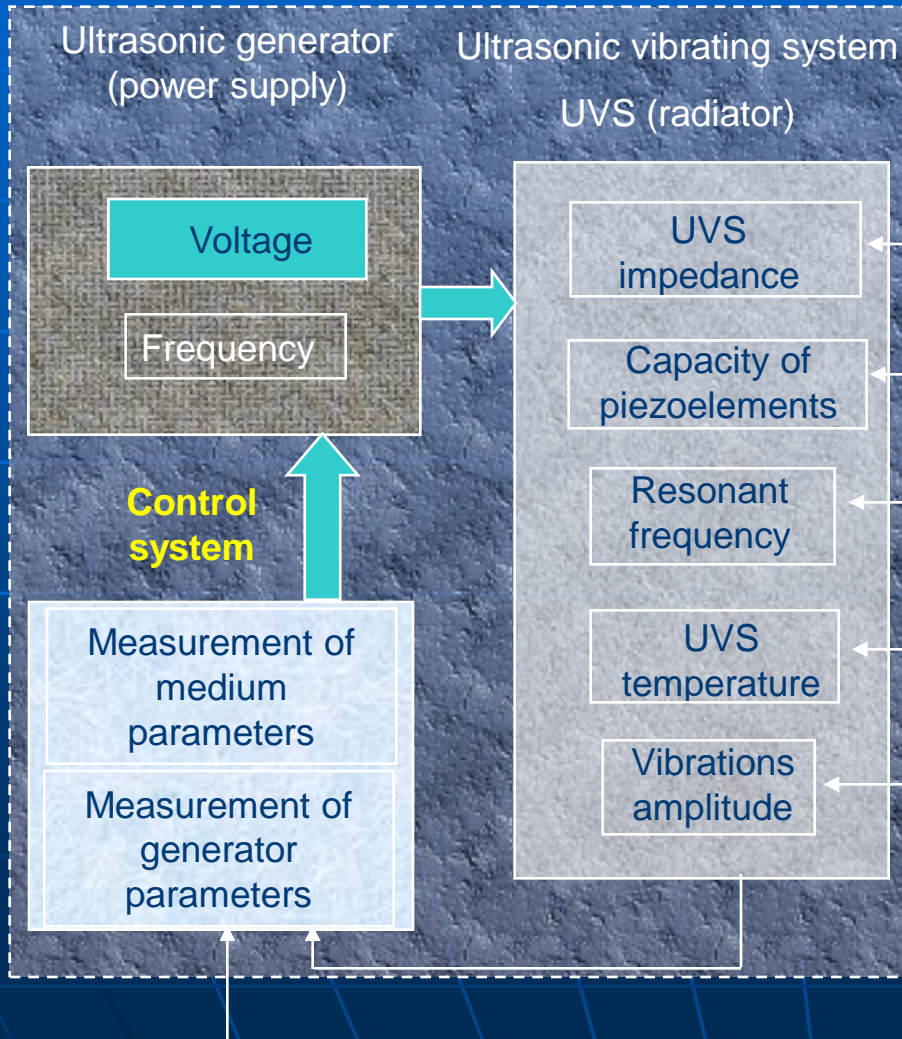
Неограниченная среда с $\rho_2 c_2$
(Жидкие, жидкодисперсные среды)



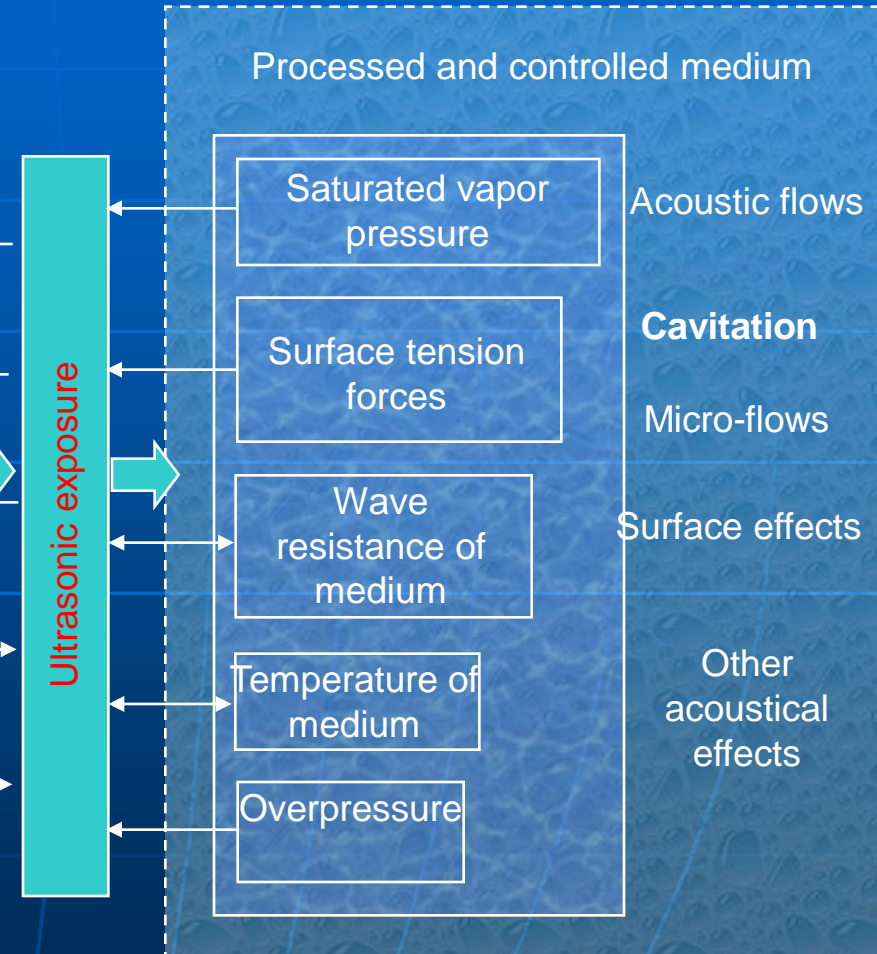
Отсутствие критериев непрерывного контроля состояния обрабатываемых сред

Ultrasonic exposure

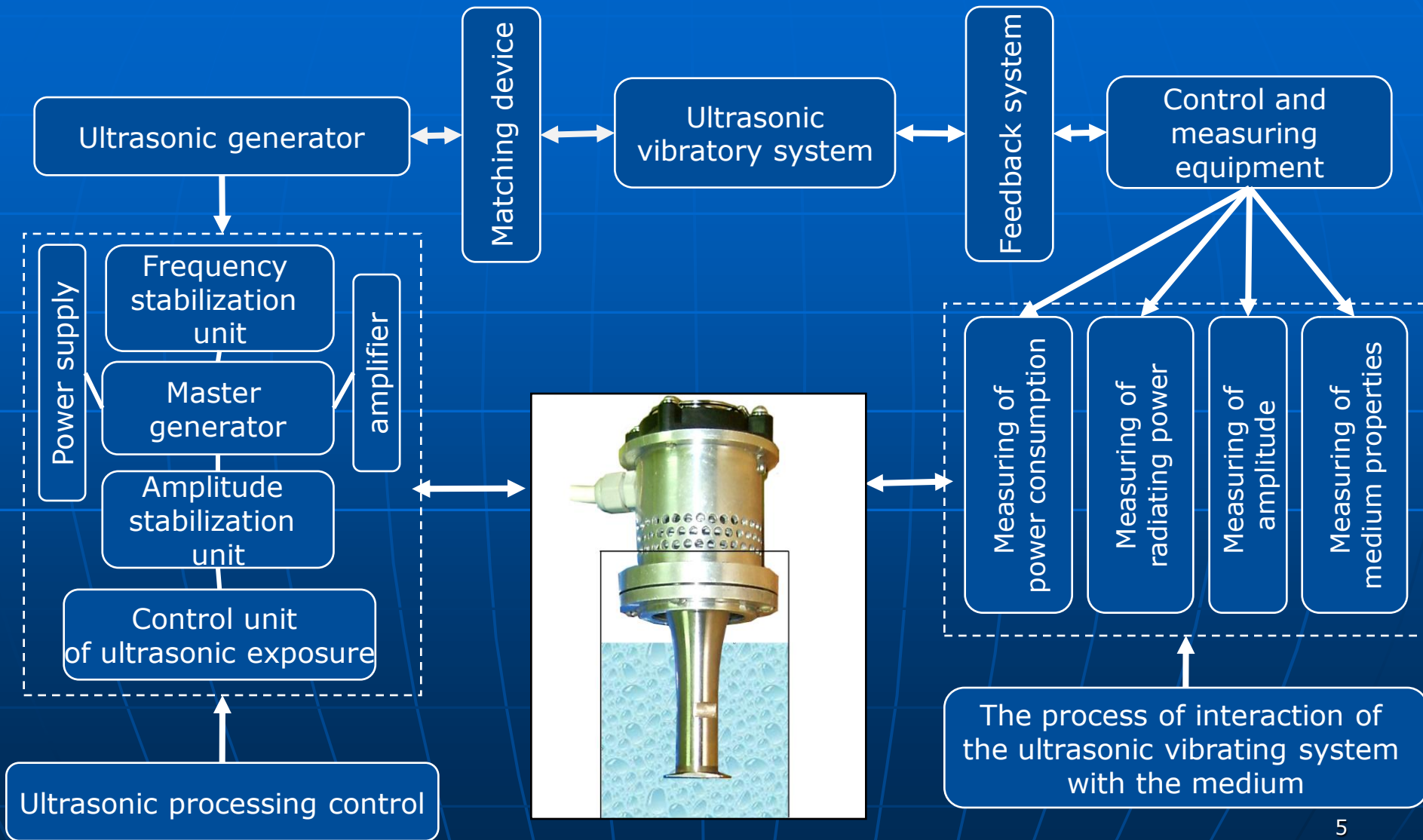
Ultrasonic industrial device



Technological process



Ultrasonic industrial device



Drilling of frozen soil with temperature of liquid nitrogen



Ultrasonic exposure of melted metal (T more than 1000 C)



u-sonic.ru

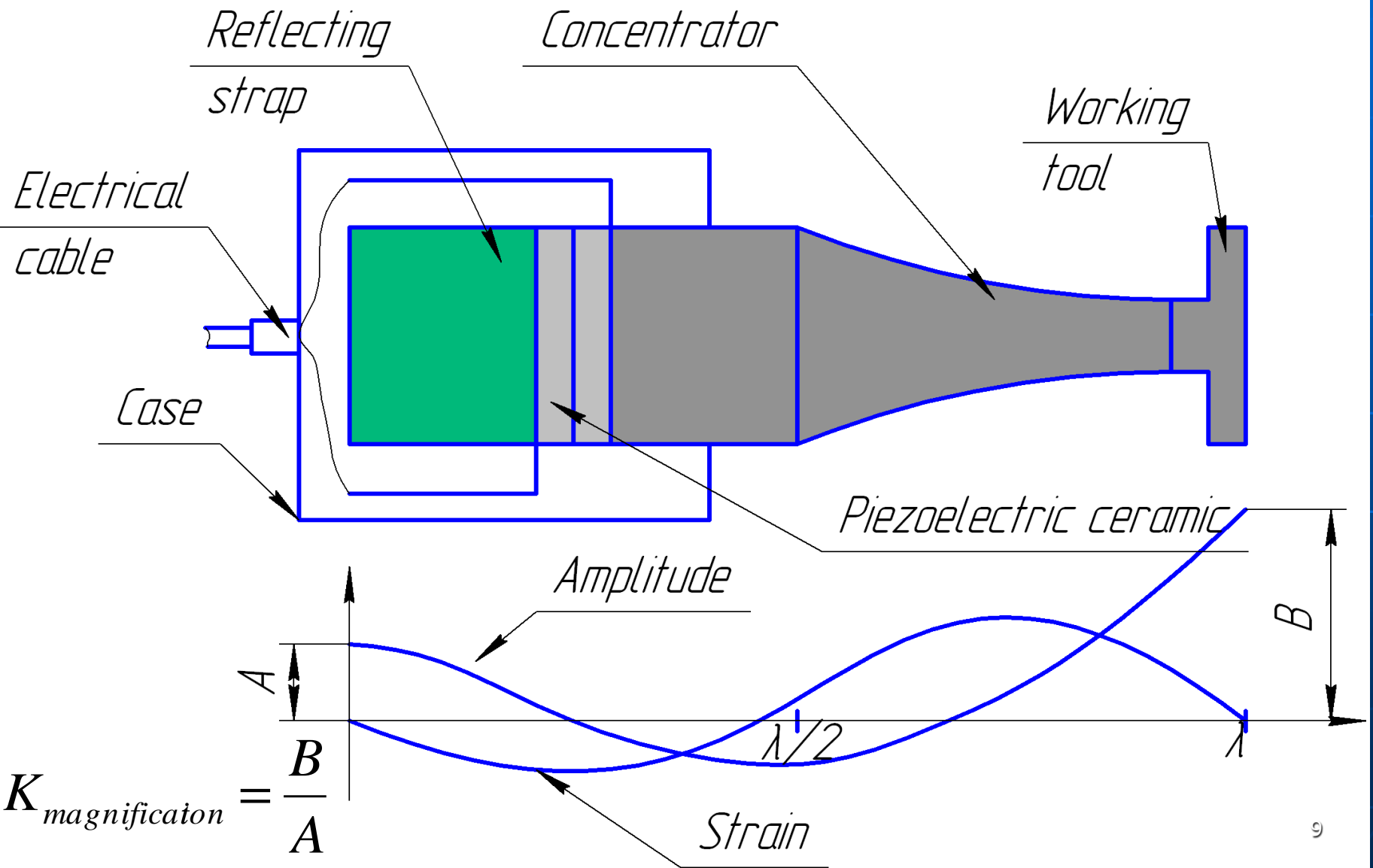
Influence of liquid medium temperature

Initial

After 7 min.

After 14 min.

Ultrasonic oscillation system

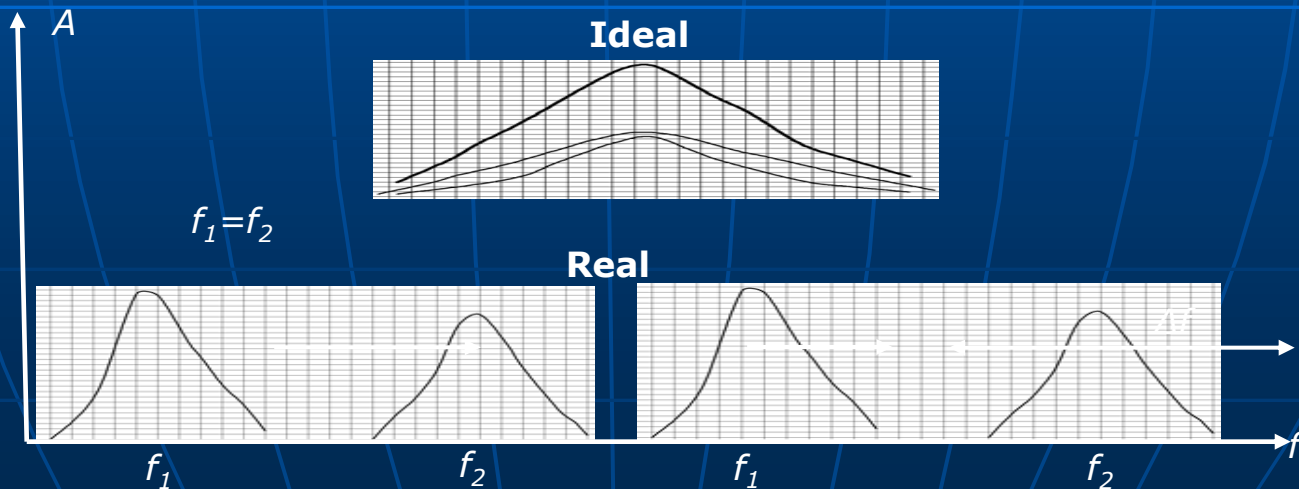
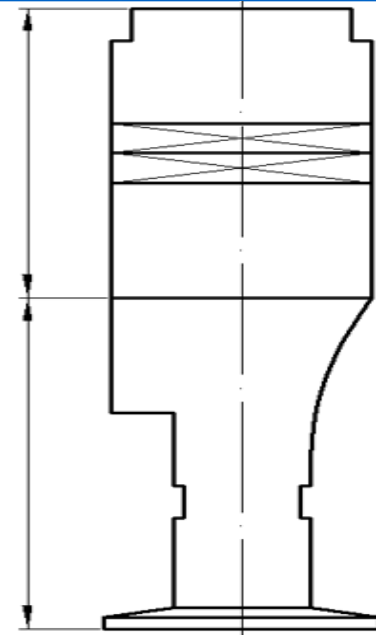


Main problem of vibratory system

1. Low efficiency (<50%)
2. High weight and length
3. Mismatch

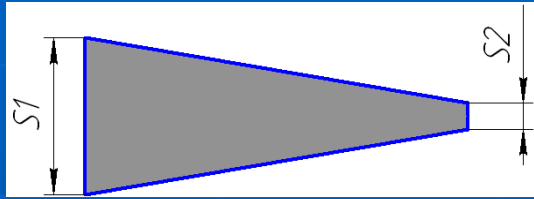
$$f_1 = \frac{2c_1}{\lambda_1}$$

$$f_2 = \frac{2c_2}{\lambda_2}$$



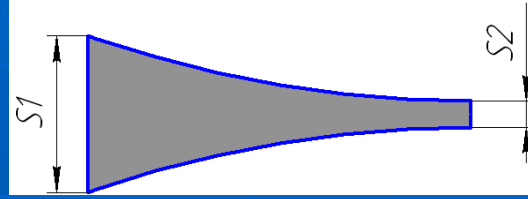
Magnifiers of ultrasonic oscillations

Conical



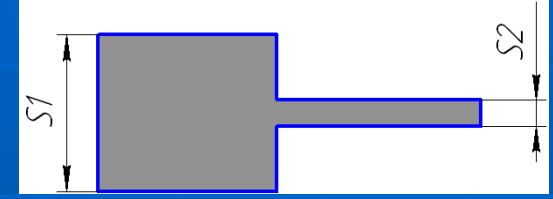
$$K = 0.8 \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \quad Q = 40$$

Exponential



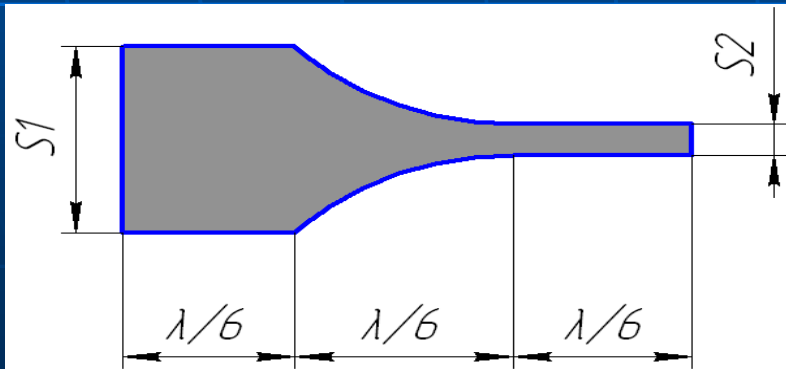
$$K = 1.1 \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \quad Q = 20$$

Stepping



$$K = \frac{S_1}{S_2} \quad Q = 150$$

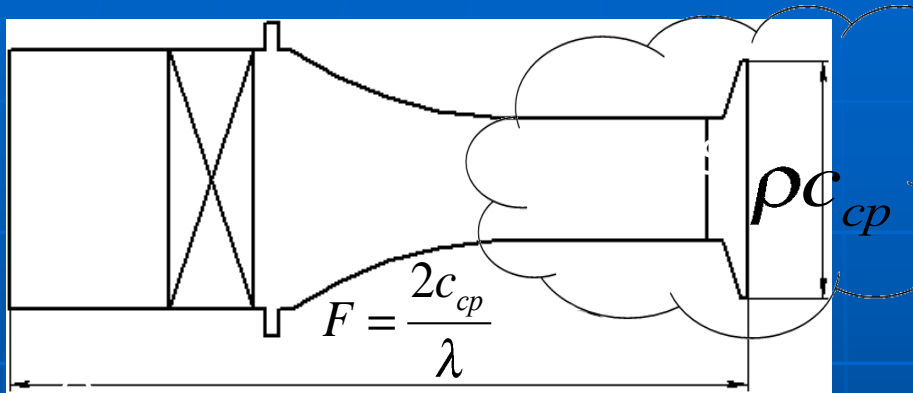
Stepping-exponential concentrator



$$K = (0.8 - 0.9) \frac{S_1}{S_2}$$



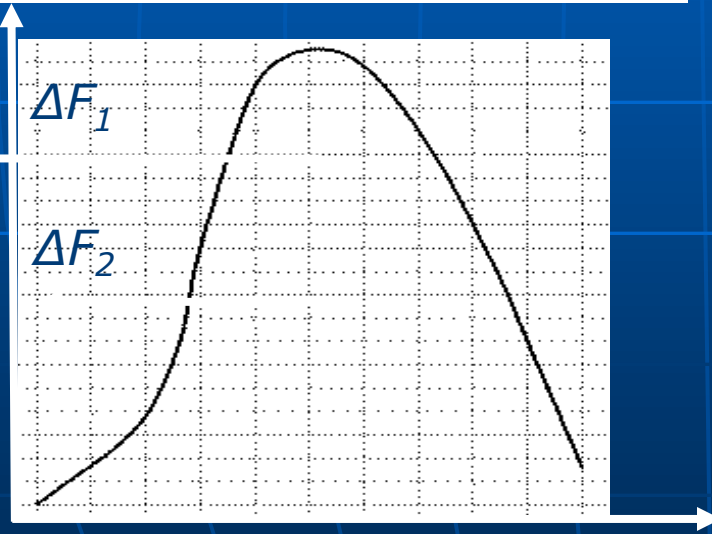
Half-wave vibratory system



Efficiency $\leq 80\%$

Vibration amplitude $\leq 100 \mu\text{m}$

Gain factor ≥ 20

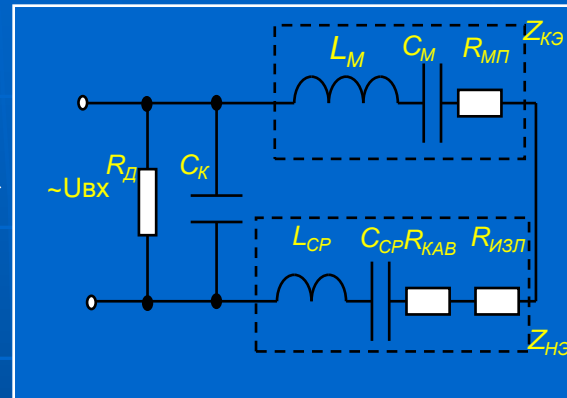


$$\Delta F_1 = f(S, \rho c_{\text{medium}})$$

$$\Delta F_2 = f(T, U)$$

Колебательная система - датчик параметров обрабатываемых сред

13



R_d – сопротивление диэлектрических потерь;

C_k – емкость пьезокерамических элементов;

$R_{мп}$ – сопротивление механических потерь;

C_m – эквивалент гибкости материала колебательной системы;

L_m – эквивалент массы материала колебательной системы;

$C_{ср}$, $L_{ср}$ – элементы, характеризующие реактивные свойства обрабатываемой среды;

$R_{изл}$ – элемент характеризующий волновое сопротивление среды;

$R_{кав}$ – элемент отражающий затраты энергии на развитие и поддержание кавитации;

$Z_{кэ}$ – собственный импеданс колебательной системы;

$Z_{нэ}$ – импеданс акустической нагрузки.

$$Z = (Z_{кэ} + Z_{нэ});$$

$$Z_{нэ} = f(R_{кав}; R_{изл}; L_{ср});$$

$$R_{изл} = f(\rho_{ср} c_{ср}) - \text{выход энергии};$$

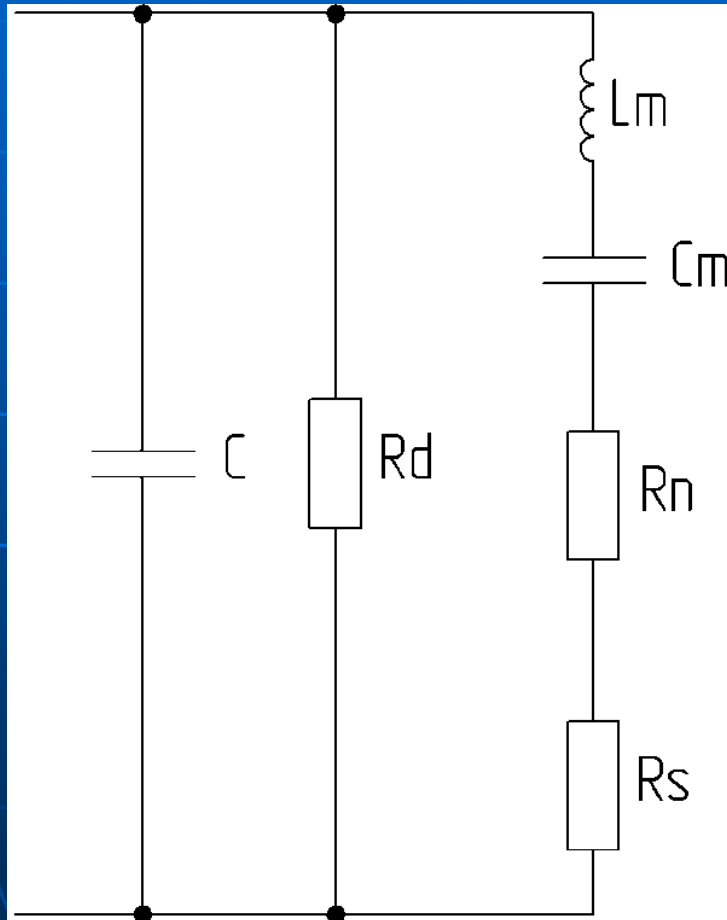
$$L_{ср} = f(m_{присоед.}) = f(\rho_{ср})$$

резонансные свойства;

$$f_{рез} = f(\rho_{ср}).$$

На основе электрической эквивалентной схемы УЗКС получены зависимости ее электрических параметров от характеристик акустической нагрузки и собственных свойств, что позволяет измерять акустические характеристики сред

Модель системы в виде физической эквивалентной схемы



C – статическая емкость пьезокерамики;

R_d – сопротивление диэлектрических потерь;

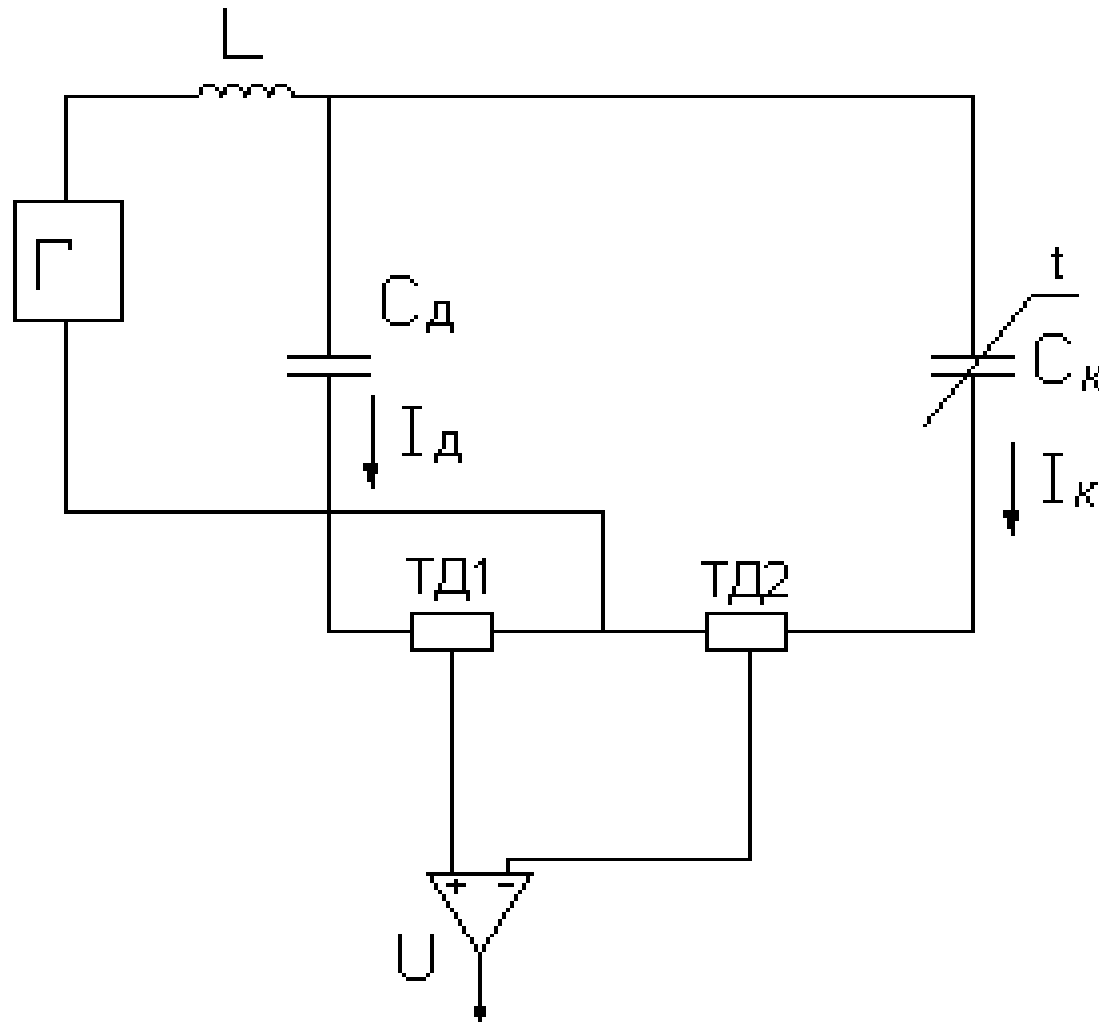
L_m индуктивность механической ветви (эквивалент колеблющейся массы преобразователя);

C_m – емкость механической ветви (эквивалент гибкости);

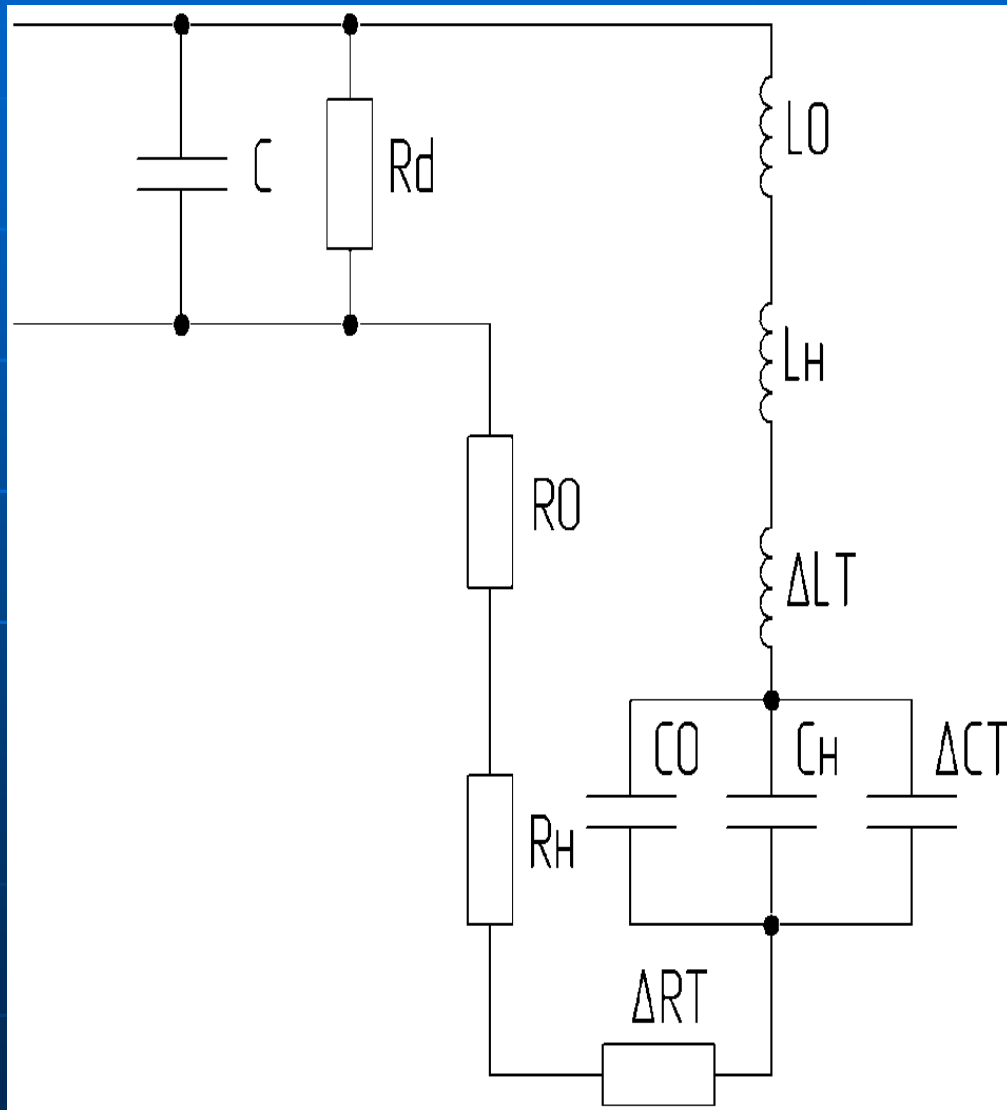
R_n – сопротивление механических потерь;

R_s – сопротивление излучению.

Система контроля



Модель системы, учитывающая влияние изменений среды

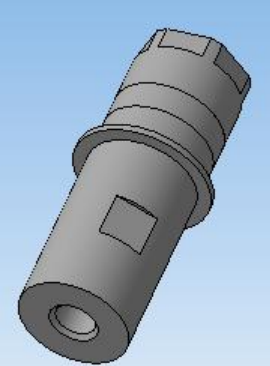
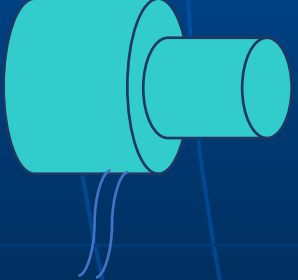
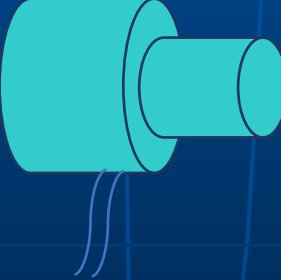
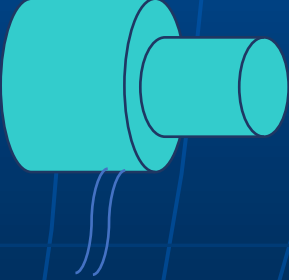



C – статическая емкость пьезокерамики;
 R_d – сопротивление диэлектрических потерь пьезокерамики;
 L_O – индуктивность УЗКС;
 C_O – емкость УЗКС;
 R_O – активное сопротивление УЗКС;
 L_H – индуктивность акустической нагрузки;
 C_H – емкость акустической нагрузки;
 R_H – активное сопротивление акустической нагрузки;
 ΔL_T – добавочная индуктивность, вызванная изменением условий распространения;
 ΔC_T – добавочная емкость, вызванная изменением условий распространения;
 ΔR_T – добавочная емкость, вызванная изменением условий распространения колебаний;
Изменение условий распространения – это изменения свойств и структуры сред

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ- ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ

- Влияния изменений рабочего инструмента (разрушения) на электрические параметры пьезоэлектрической колебательной системы
- Влияние разрушения отражающей поверхности (разрушаемого объекта) на электрические параметры пьезоэлектрической колебательной системы
- Влияние изменений условий УЗ воздействия (увеличение расстояний, изменение свойств материалов, отклонение от резонансных условий) на электрические параметры пьезоэлектрической колебательной системы

СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПЬЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ (КЛАССИЧЕСКОЙ)

<p>Преобразователь Ланжевена (полуволновой, коэффициент усиления 1, 1.5, 2)</p>	<p>Концентратор 1 (полуволновой, коэффициент усиления 1, 1.5, 2)</p>	<p>Концентра- тор 2 (полуволно- вой, коэффициент усиления 1, 1.5, 2)</p>	<p>Концентратор 3 (полуволновой, коэффициент усиления 1, 1.5, 2)</p>	<p>Полуволновой цилиндрический инструмент (нагрузка)</p>
				

Электрическая модель УЗКС с различными составными элементами

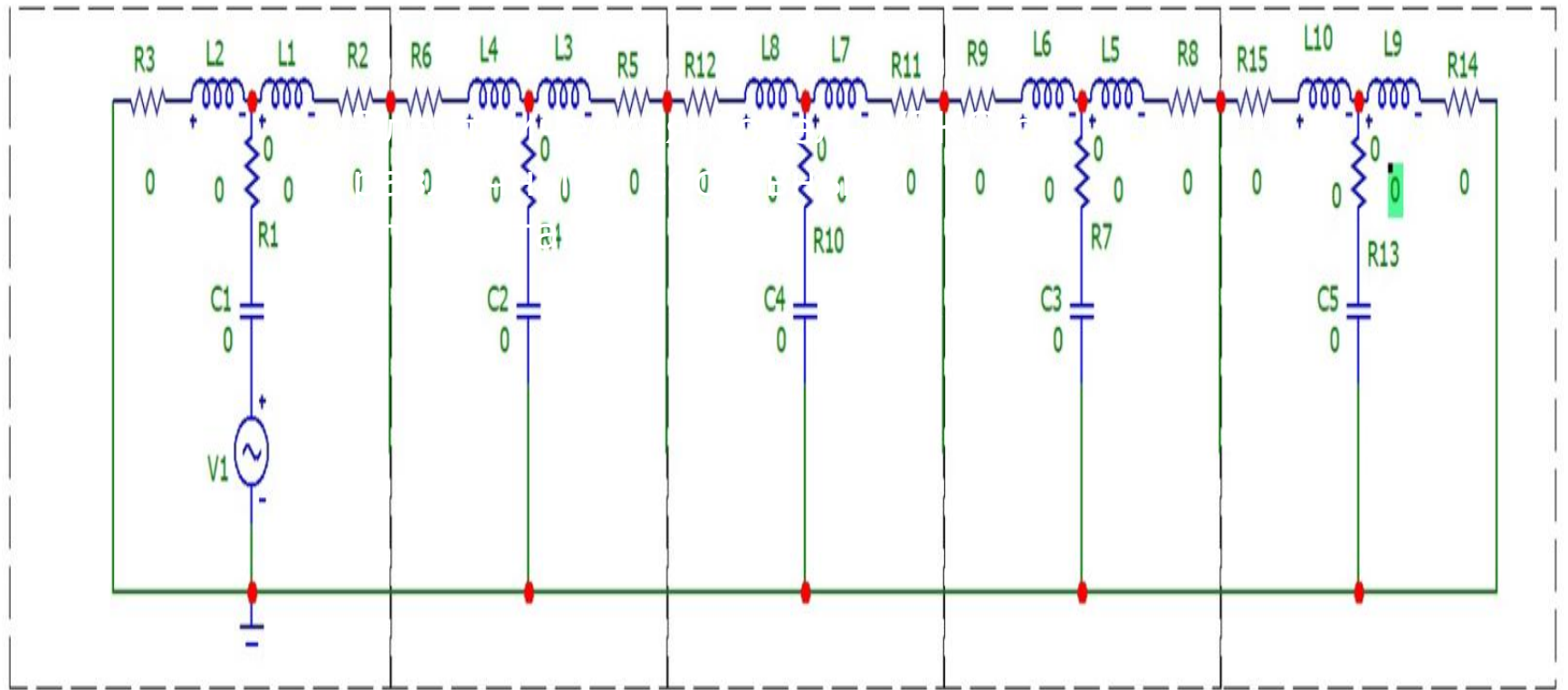
Преобразователь

Концентратор 1

Концентратор 2

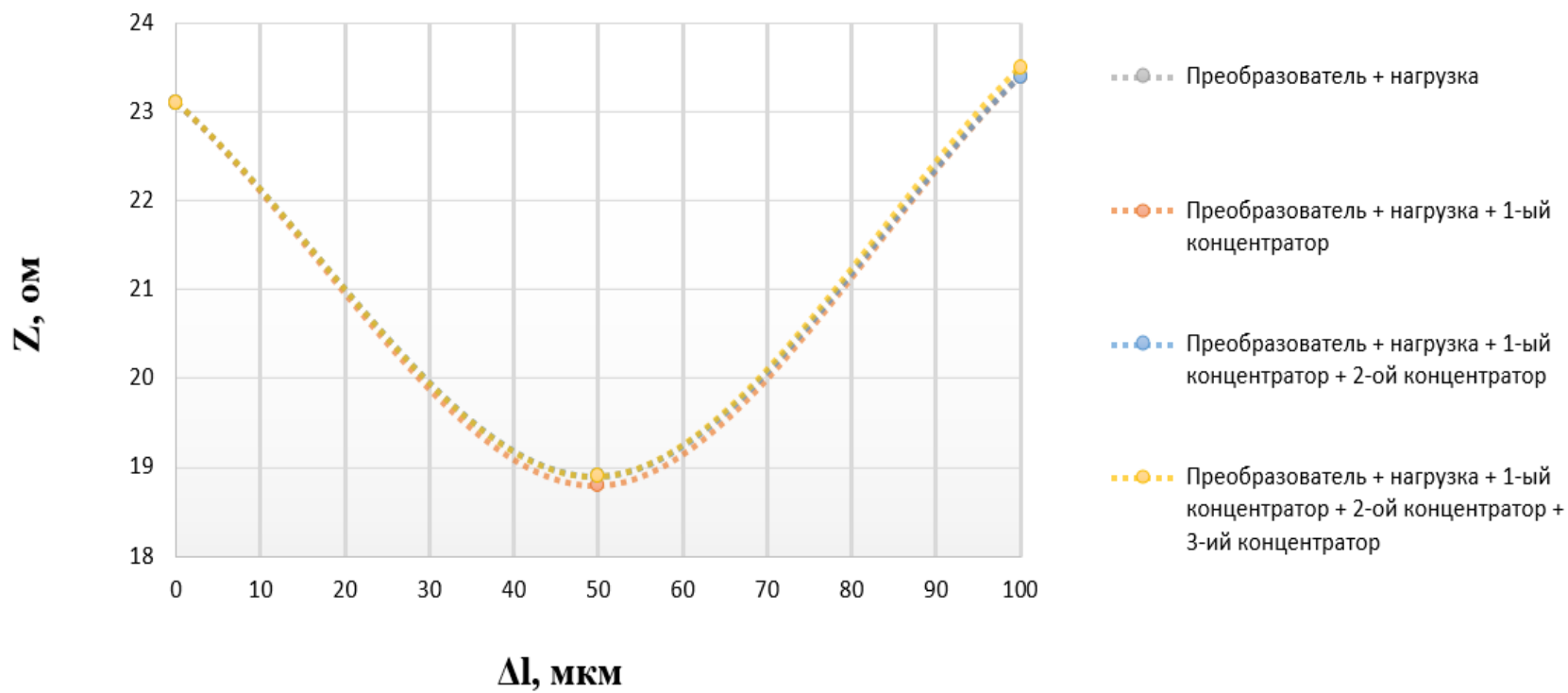
Концентратор 3

Нагрузка



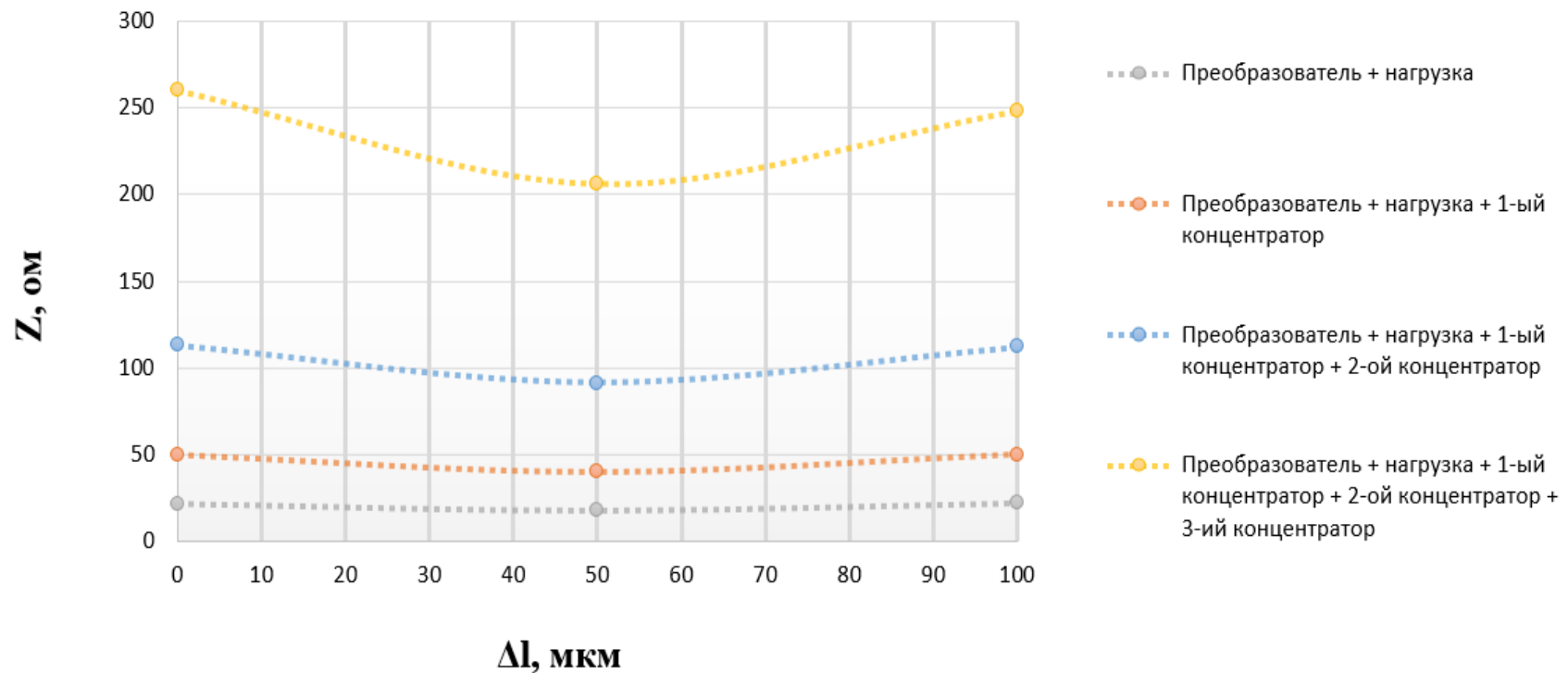
Зависимость импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

$K = 1$



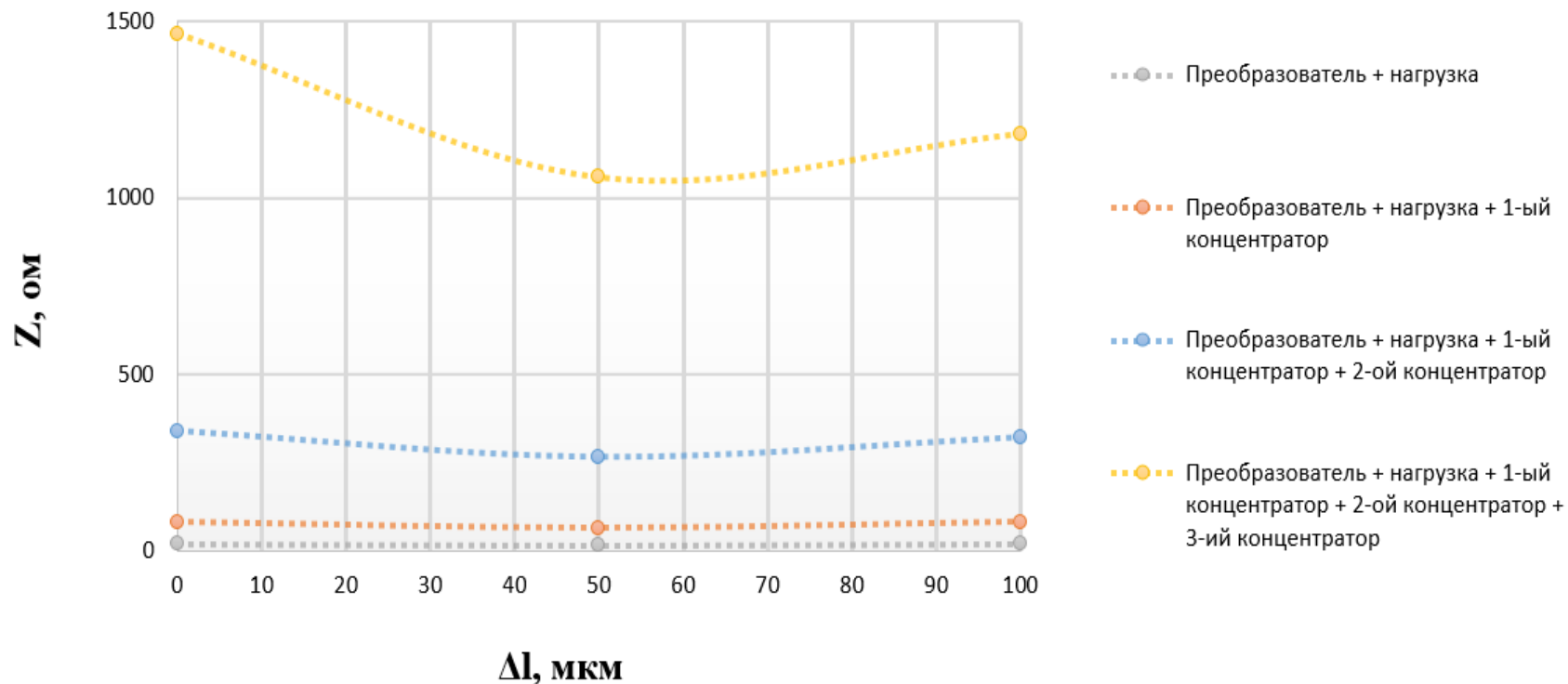
Зависимость импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

$K = 1,5$



Зависимость импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

$K = 2$

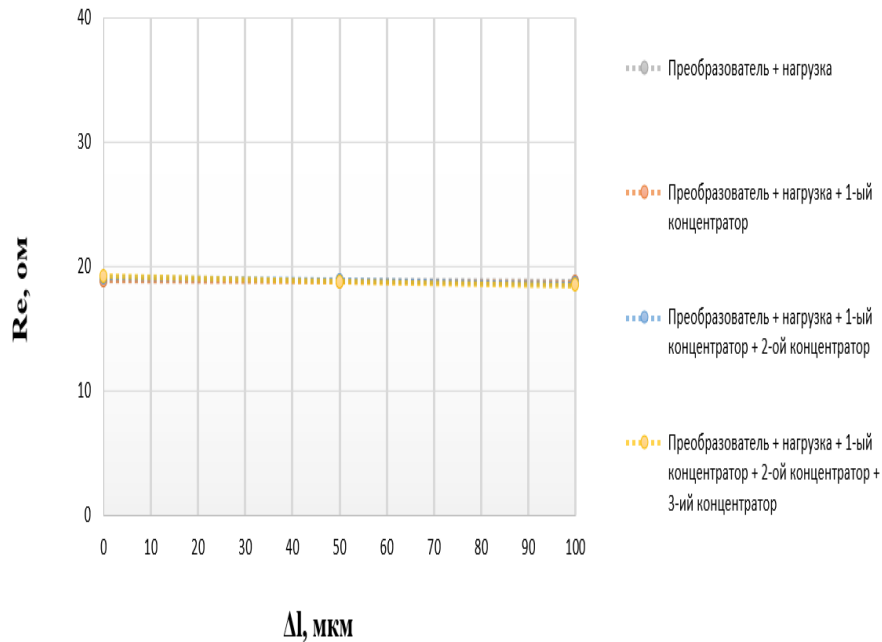


Зависимость составляющих импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

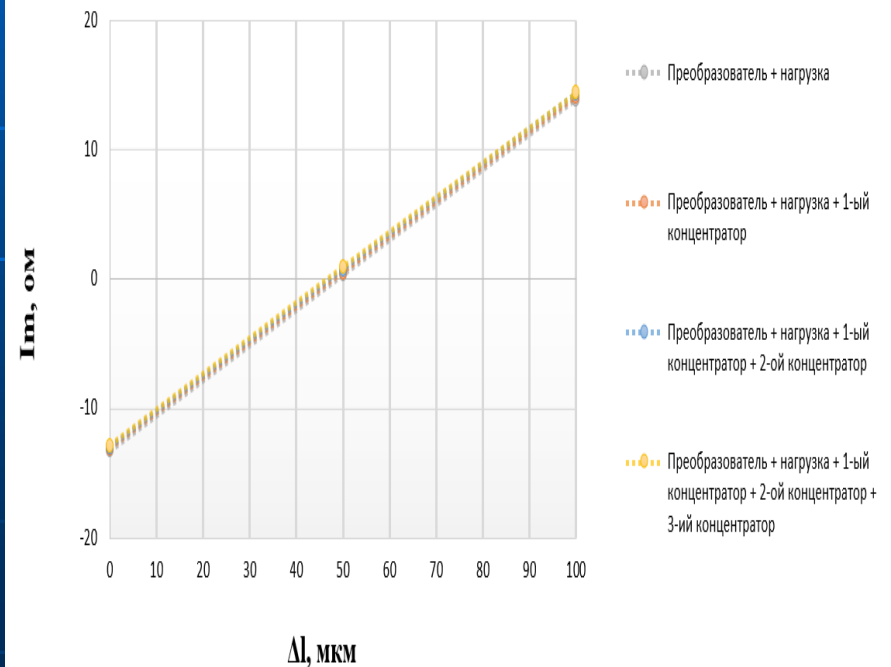
Действительная составляющая

Мнимая составляющая

K=1



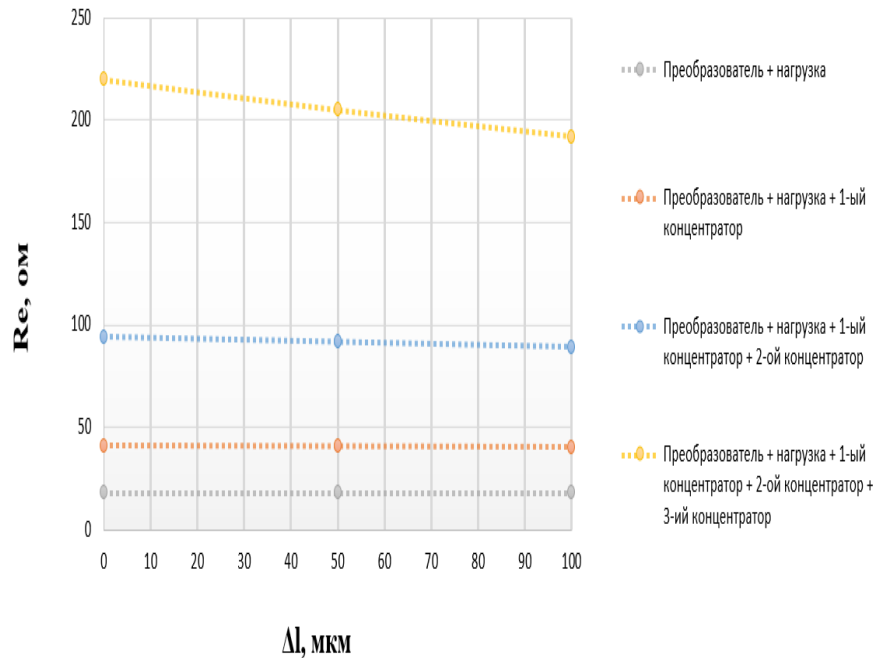
K=1



Зависимость составляющих импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

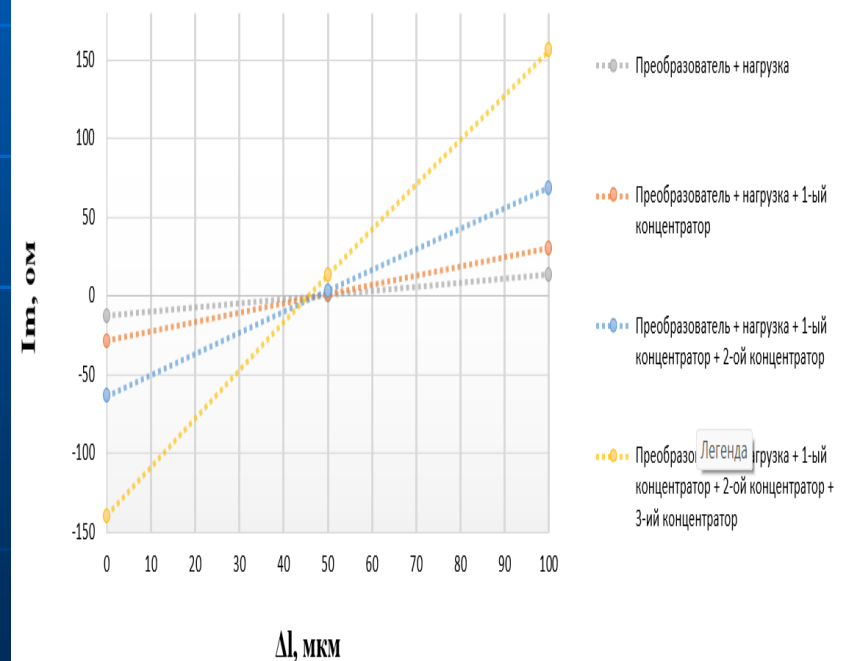
Действительная составляющая

$K = 1,5$



Мнимая составляющая

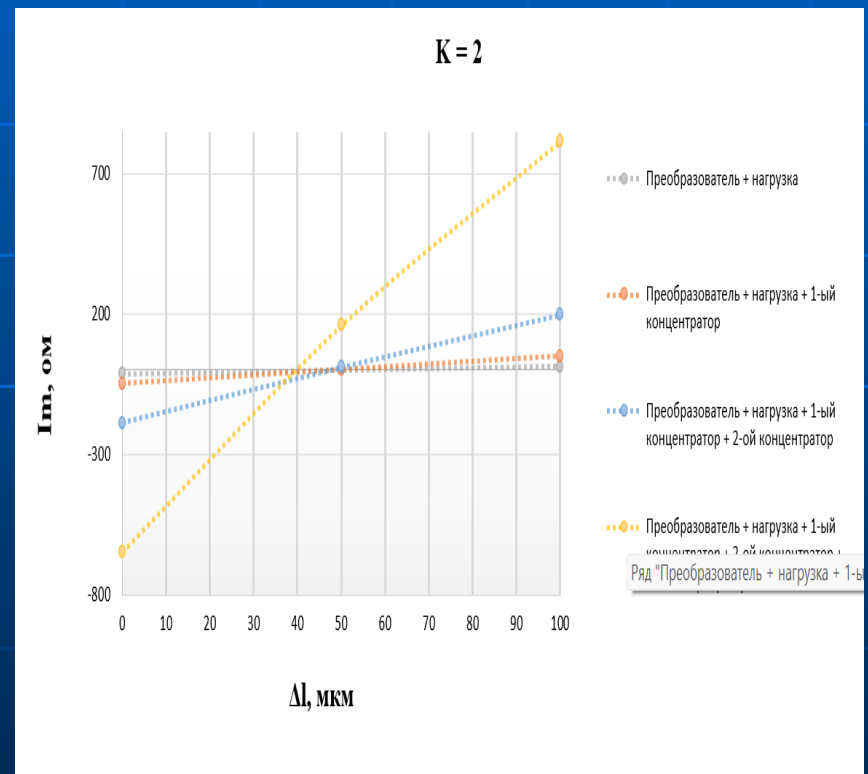
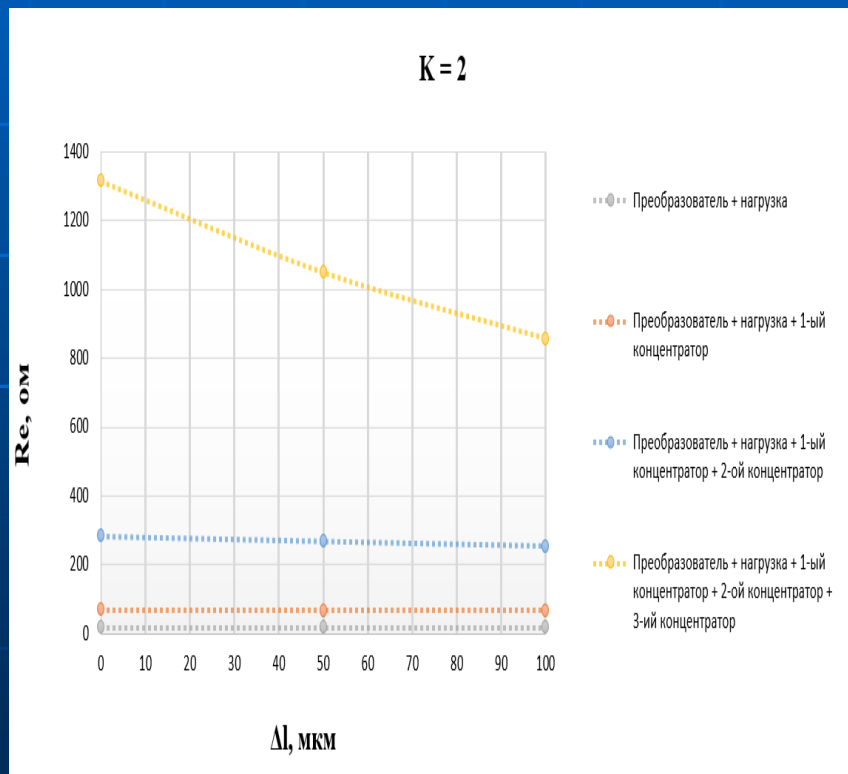
$K = 1,5$



Зависимость составляющих импеданса от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

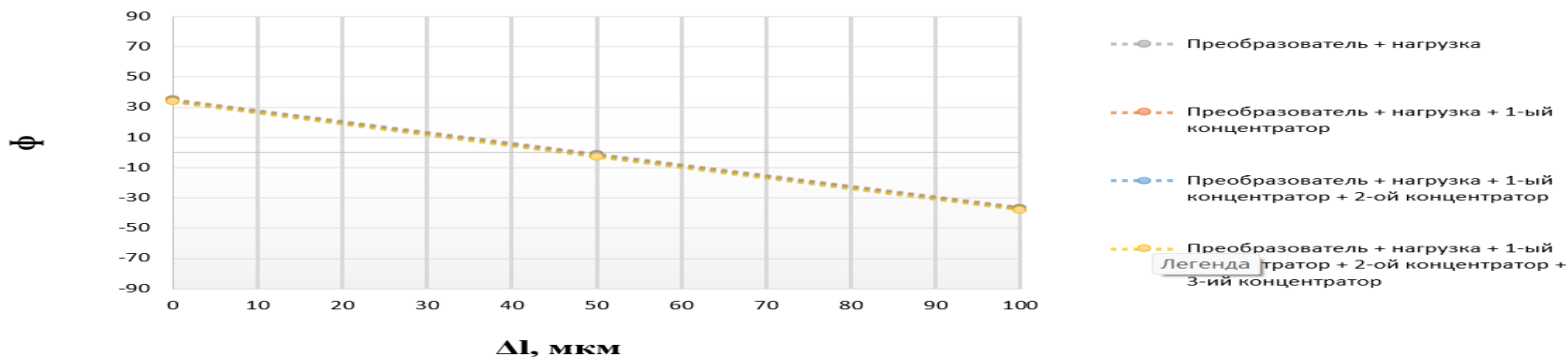
Действительная составляющая

Мнимая составляющая

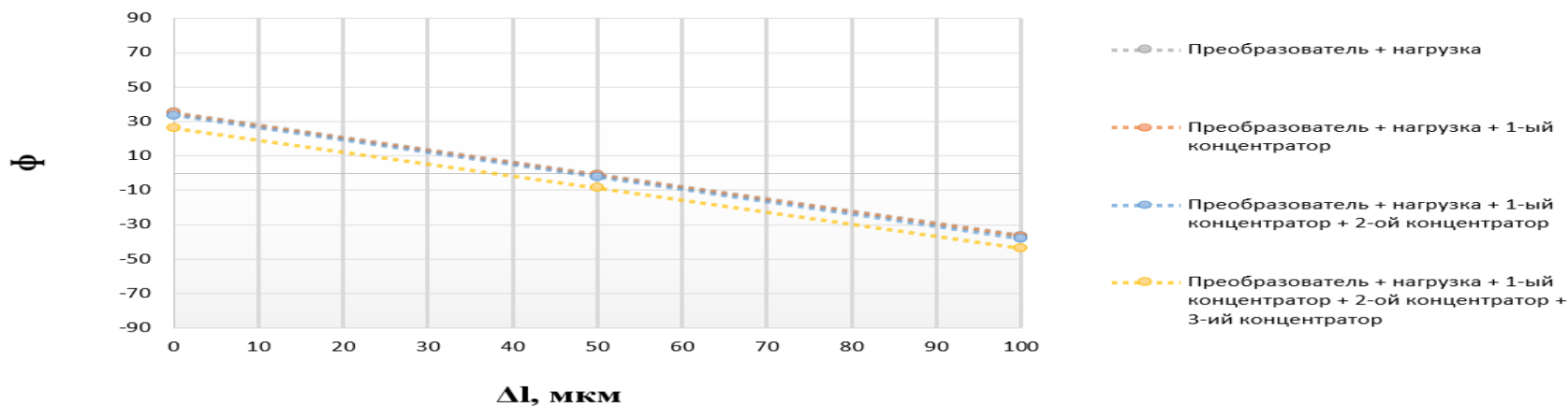


Зависимость фазы УЗ излучателя от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС и коэффициентов усиления

K = 1

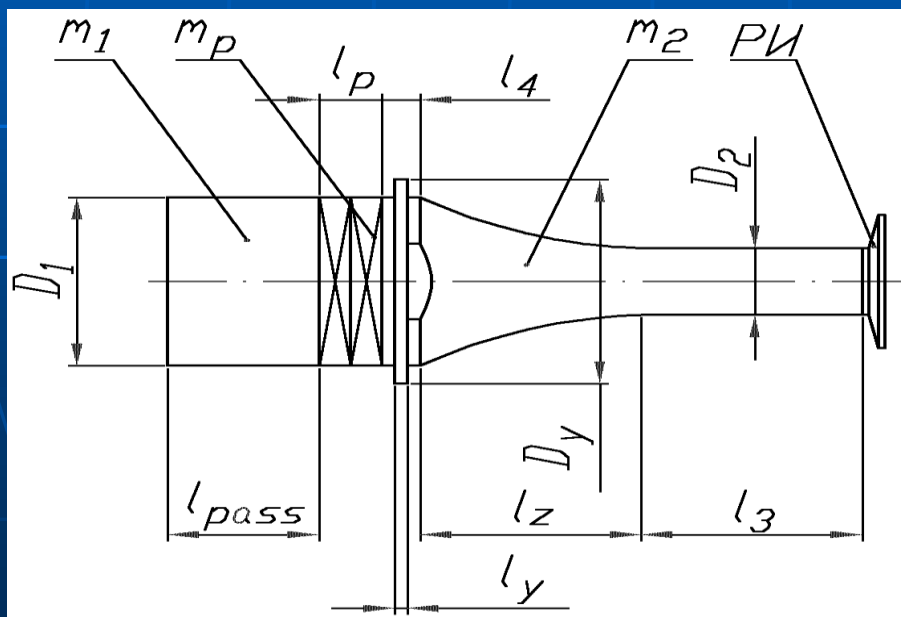


K = 2



РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУВОЛНОВОЙ ПЬЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Преобразователь (полуволновой, коэффициент усиления 1, 2, 4, 6, 8, 10)



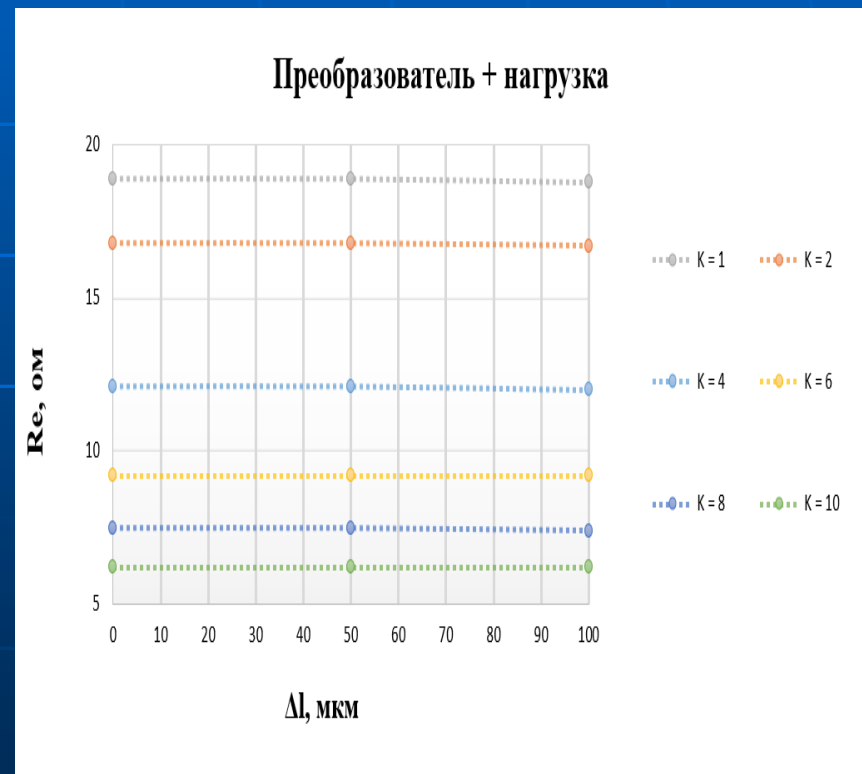
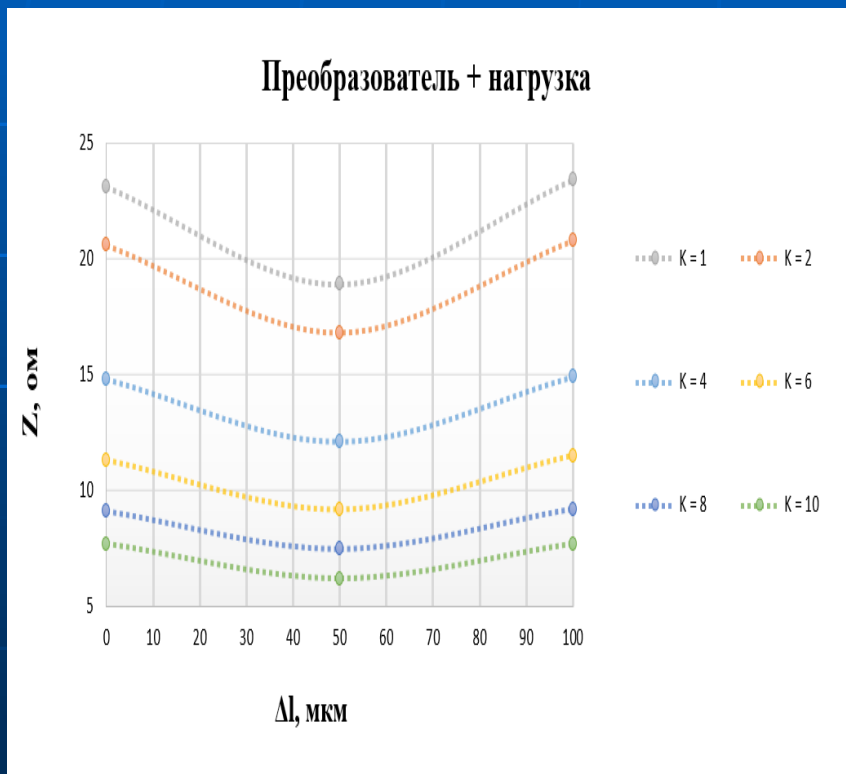
Полуволновой цилиндрический тестовый инструмент (нагрузка)



Зависимость от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

Полное волновое сопротивление

Действительная составляющая

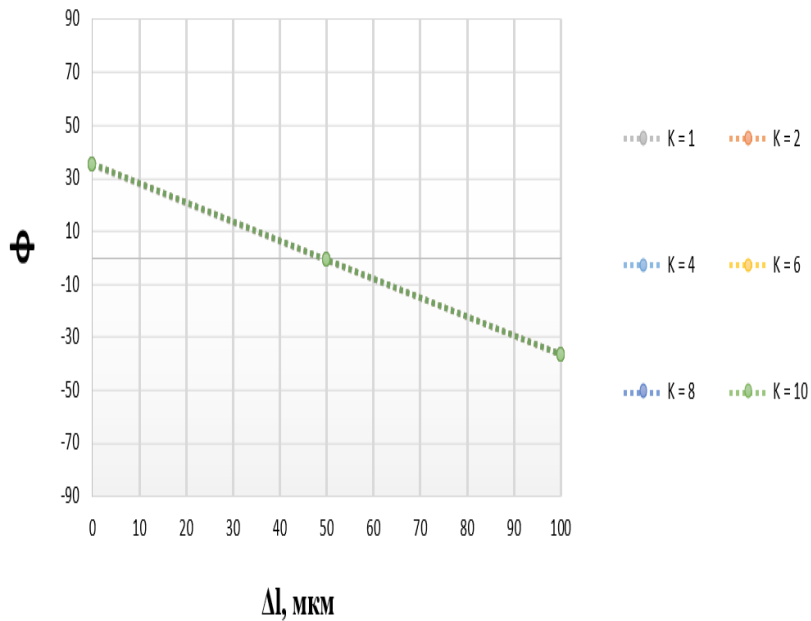


Зависимость от износа инструмента для различных вариантов сборки УЗКС

Фаза

Мнимая составляющая

Преобразователь + нагрузка



Преобразователь + нагрузка

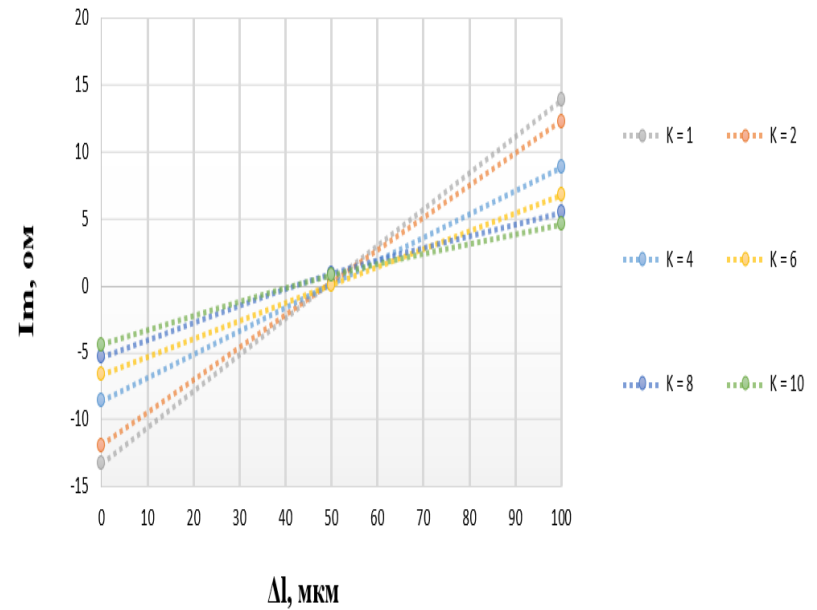
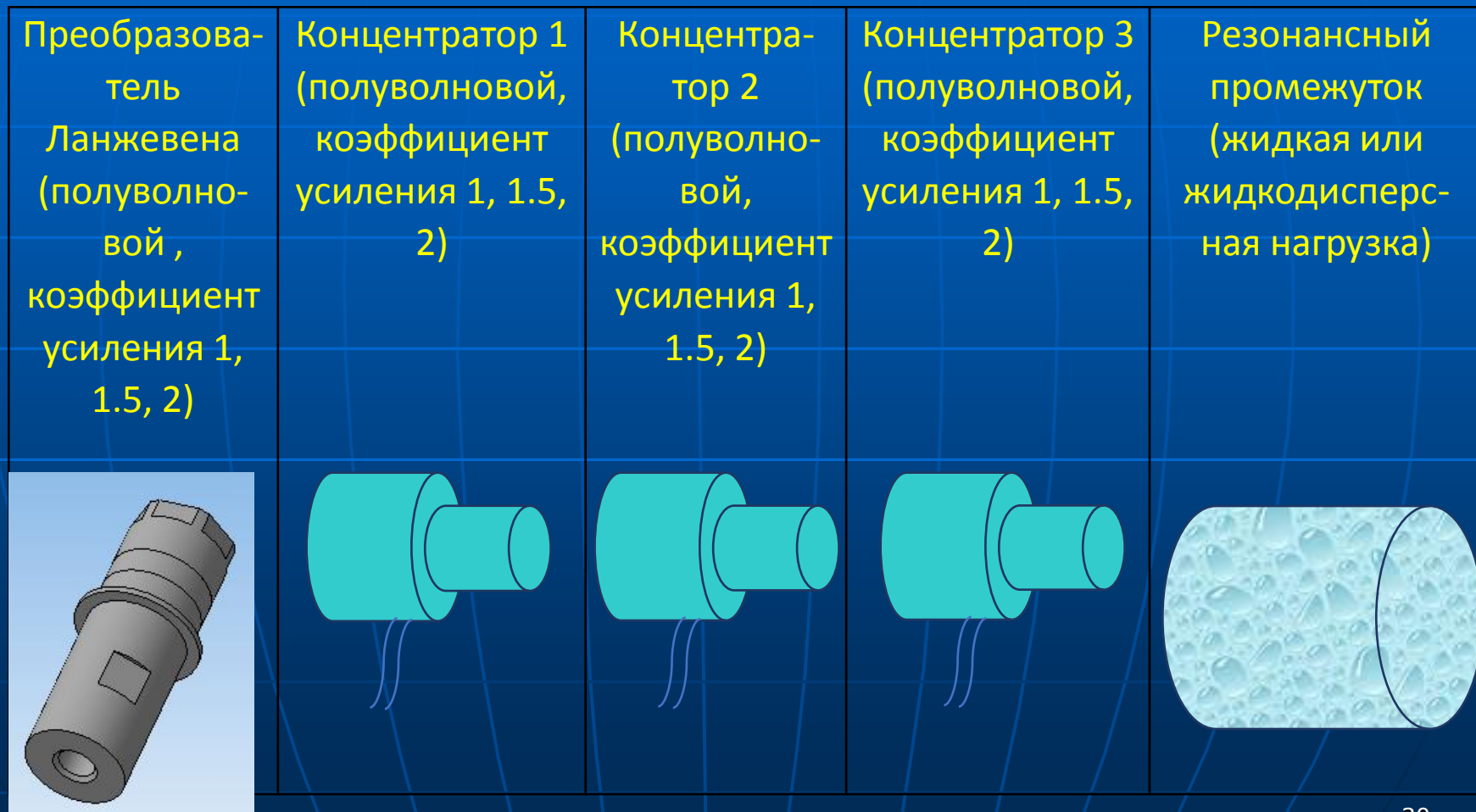
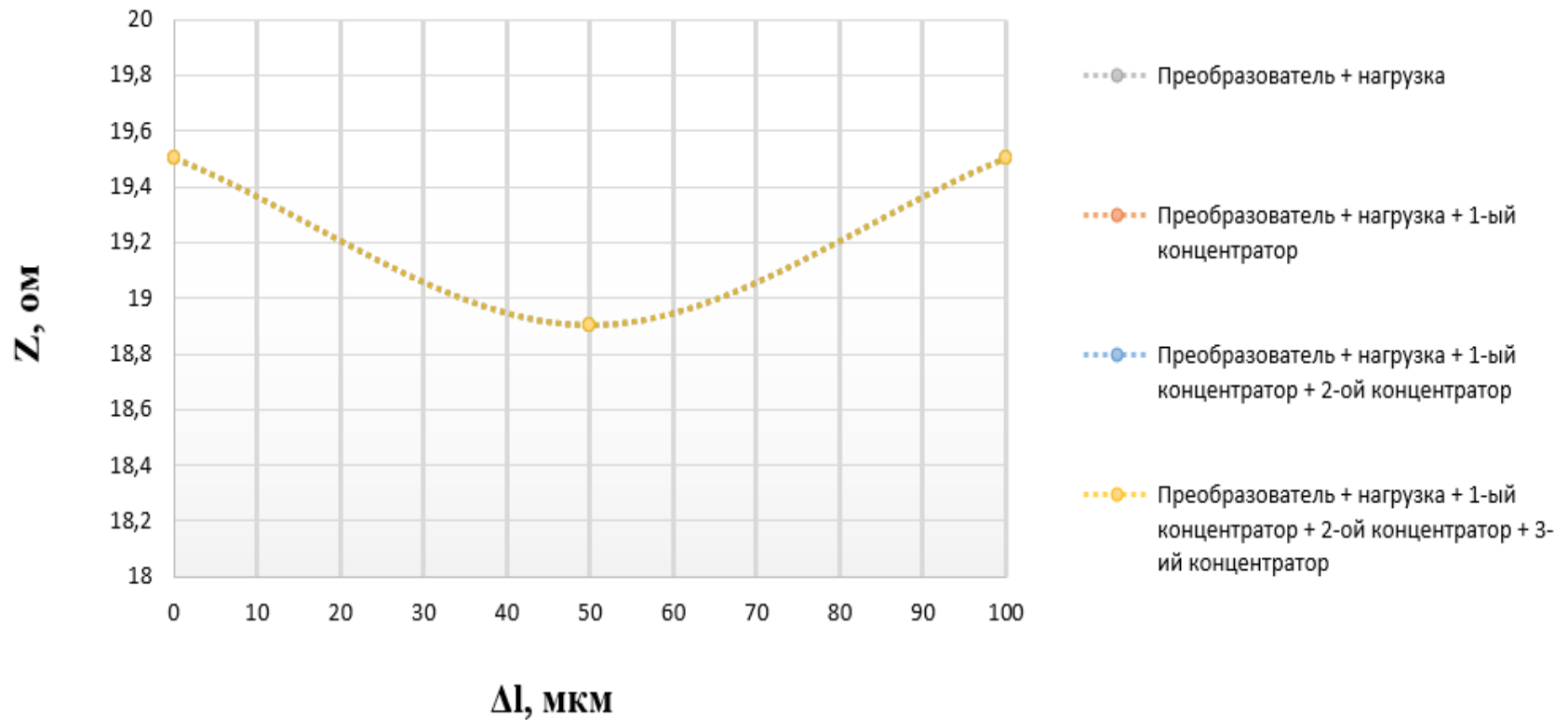


СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ



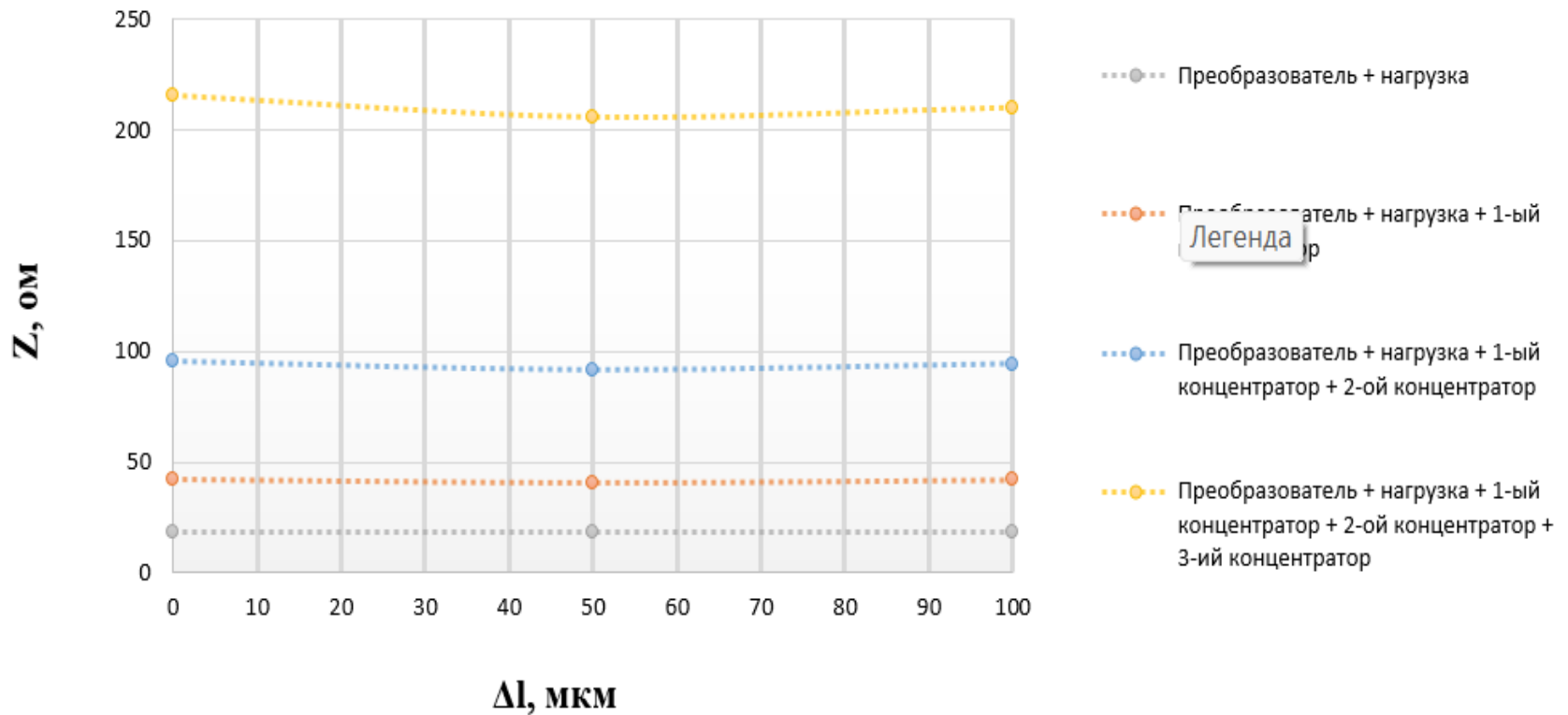
Зависимость импеданса от условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

$K = 1$



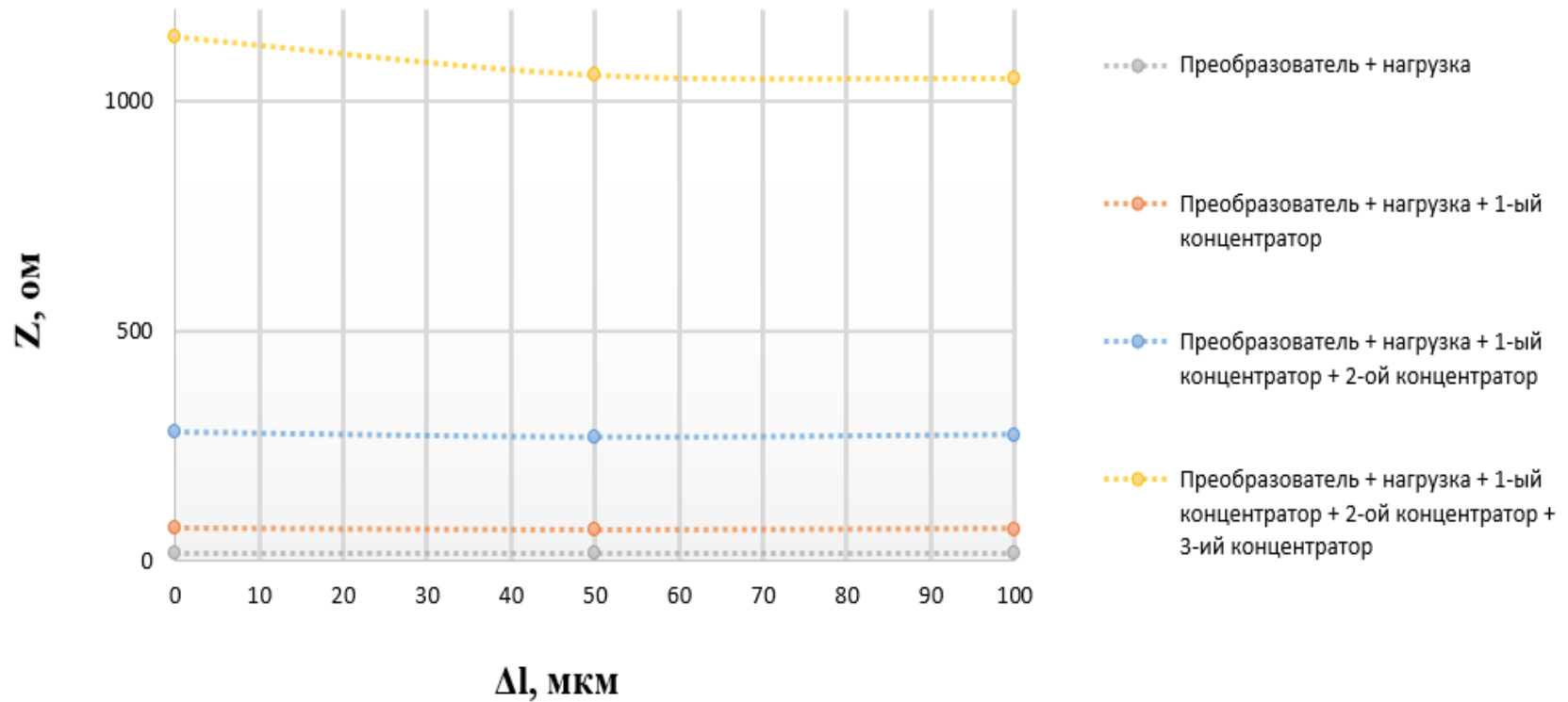
Зависимость импеданса от условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

$K = 1,5$



Зависимость импеданса от условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

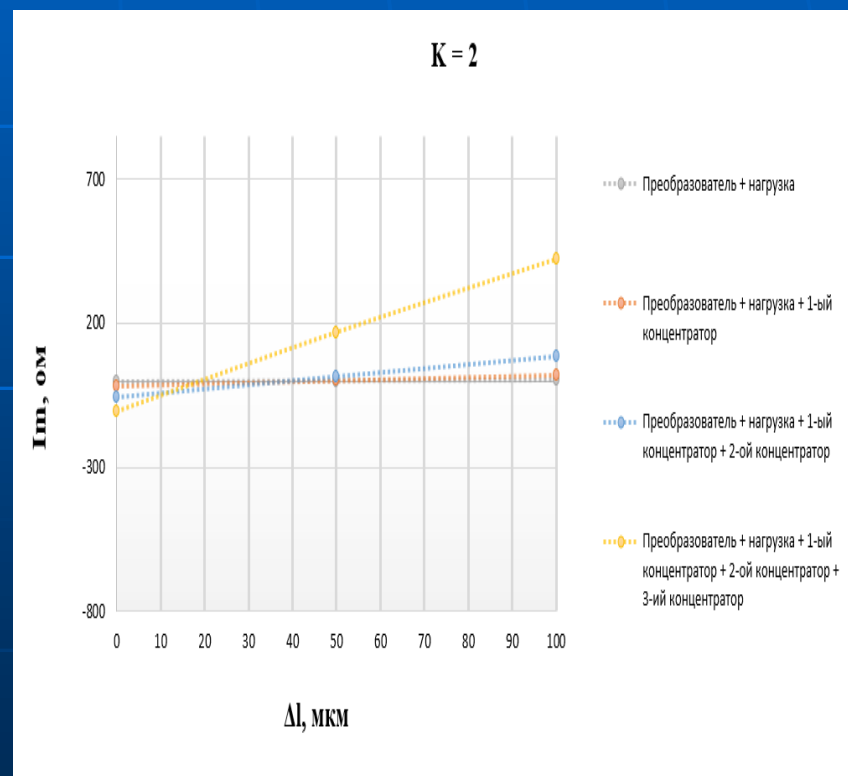
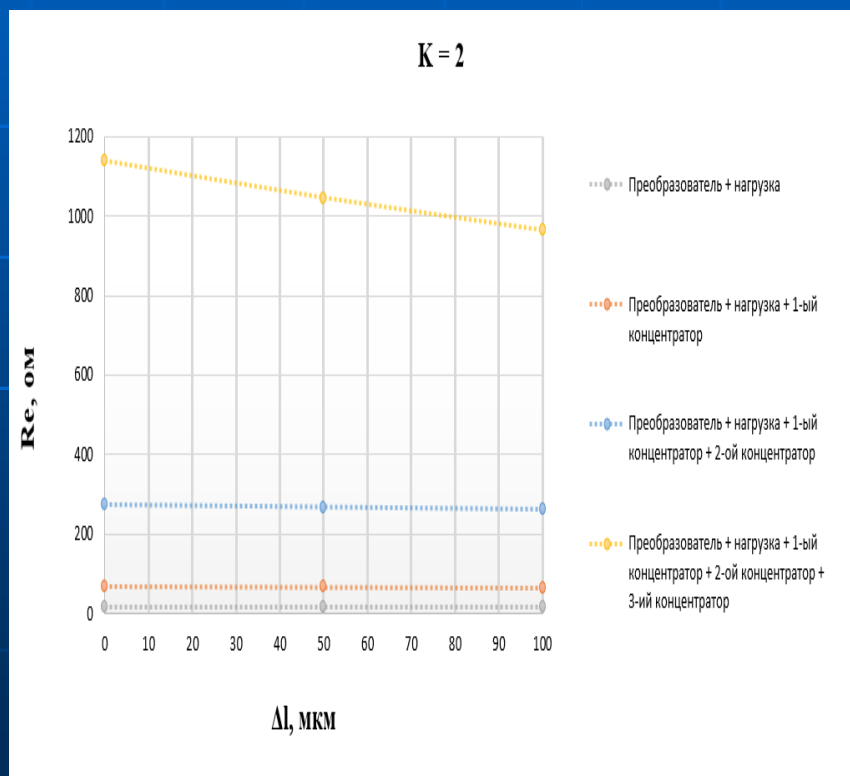
$K = 2$



Характерные зависимости составляющих импеданса от изменений условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

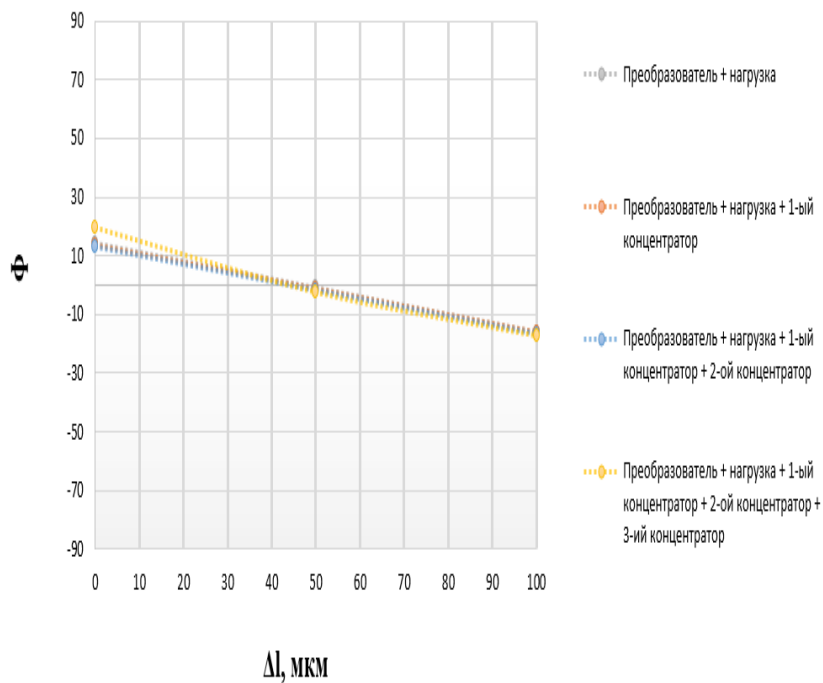
Действительная составляющая

Мнимая составляющая

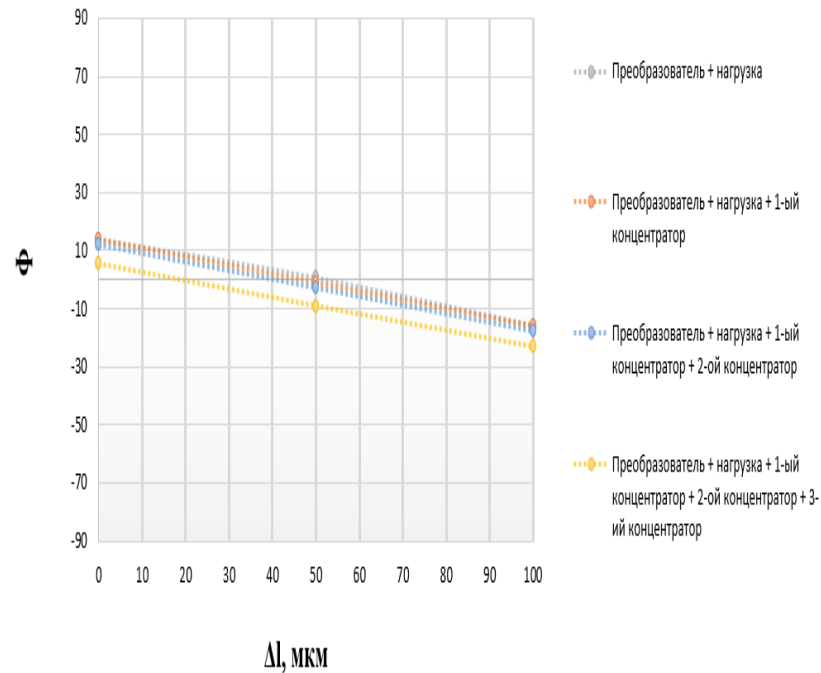


Характерные зависимости изменений фазы от изменений условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

K=1

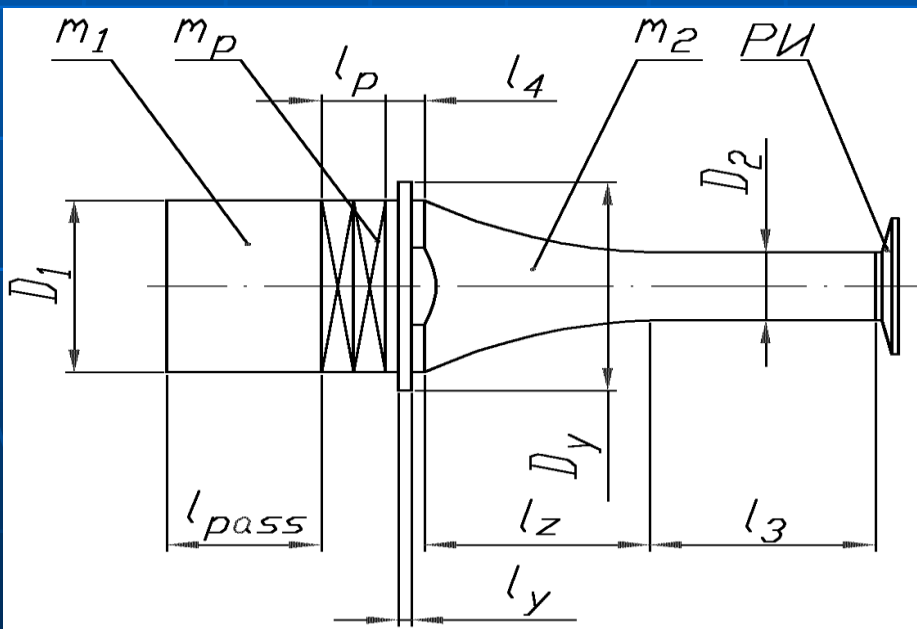


K=2

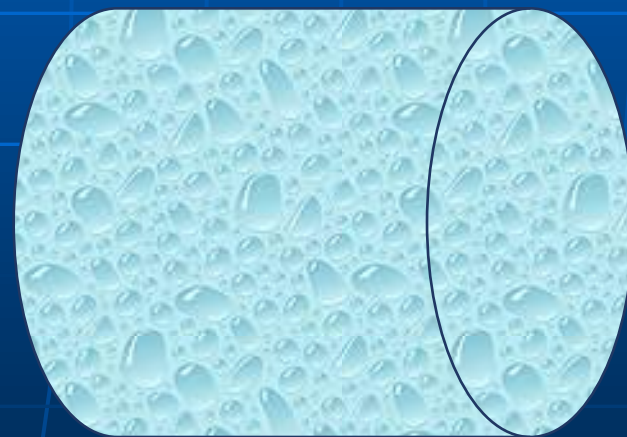


РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУВОЛНОВОЙ ПЬЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Преобразователь (полуволновой, коэффициент усиления 1, 2, 4, 6, 8, 10)

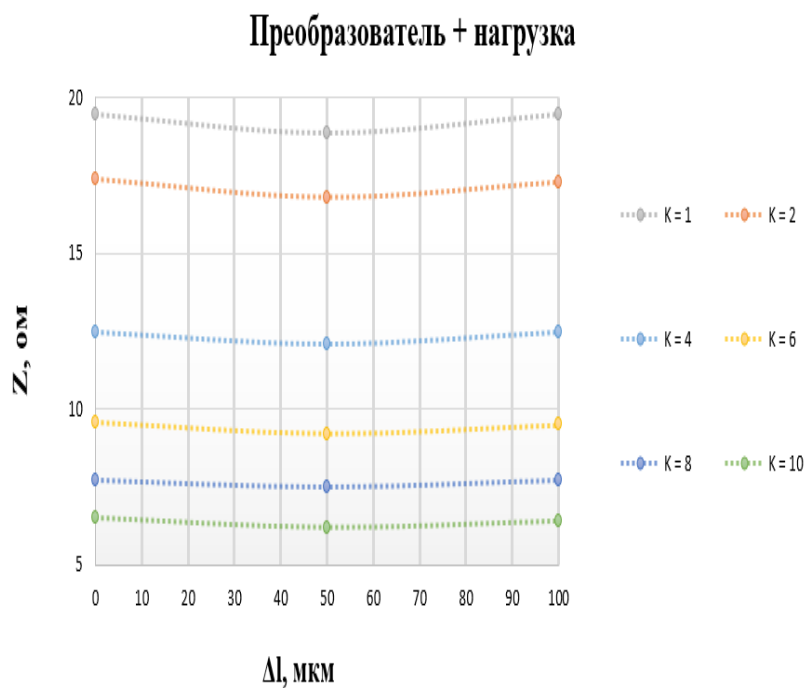


Резонансный жидкостный или жидкодисперсный промежуток (нагрузка)

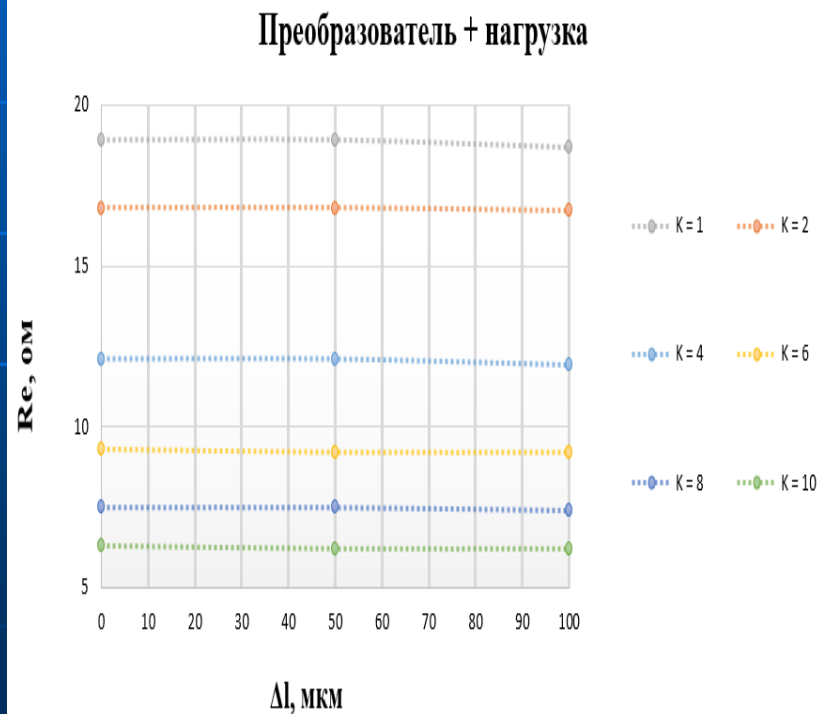


Зависимость от изменений условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

Полное волновое сопротивление

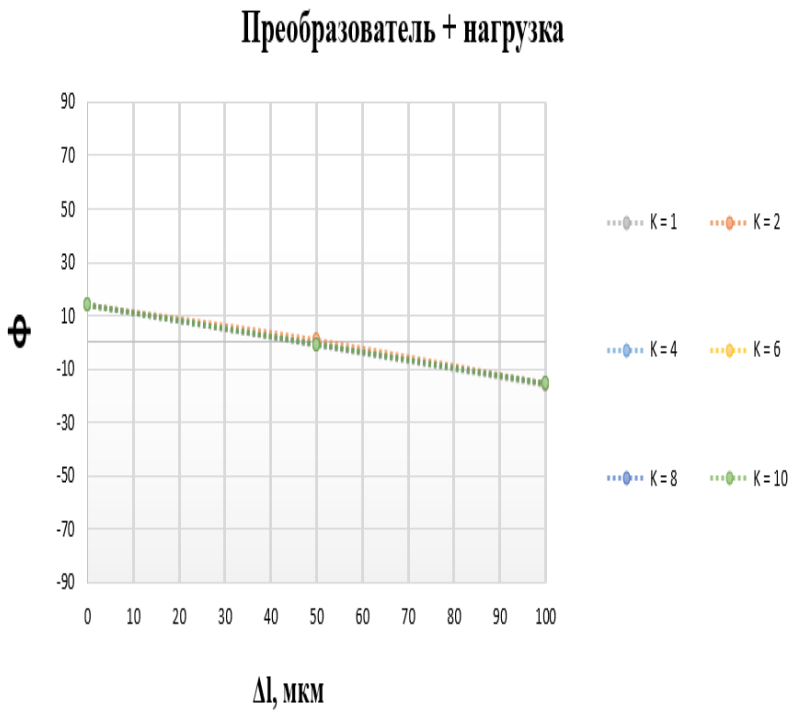


Действительная составляющая



Зависимость от изменений условий распространения для различных вариантов сборки УЗКС

Фаза



Мнимая составляющая

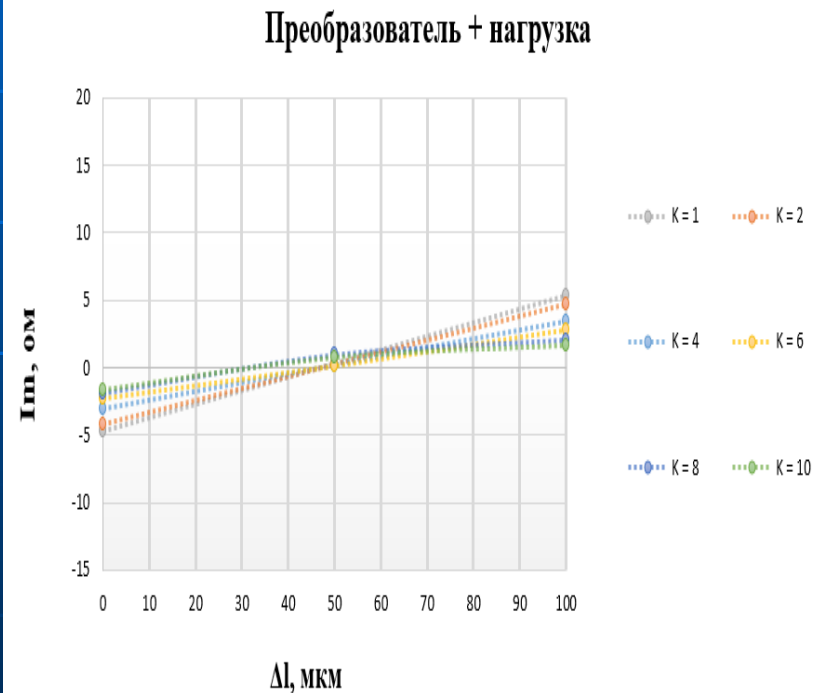
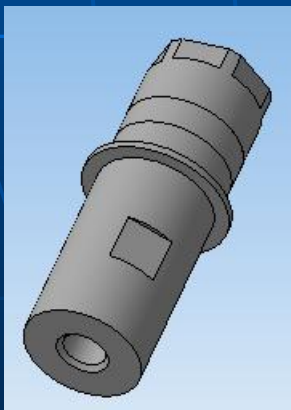
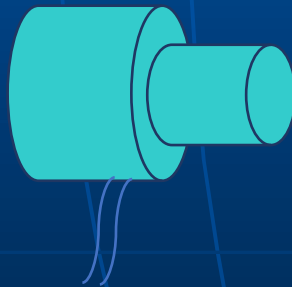


СХЕМА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВОЗДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛЬНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

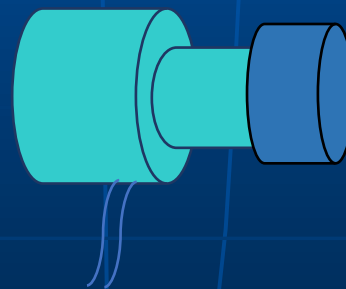
Преобразователь Ланжевена (полуволновой, коэффициент усиления 1.5,)



Концентратор 1 (полуволновой, коэффициент усиления 1.5)



Концентратор 2 с грибовидным излучающим элементом (полуволновой, коэффициент $K=1.5$)

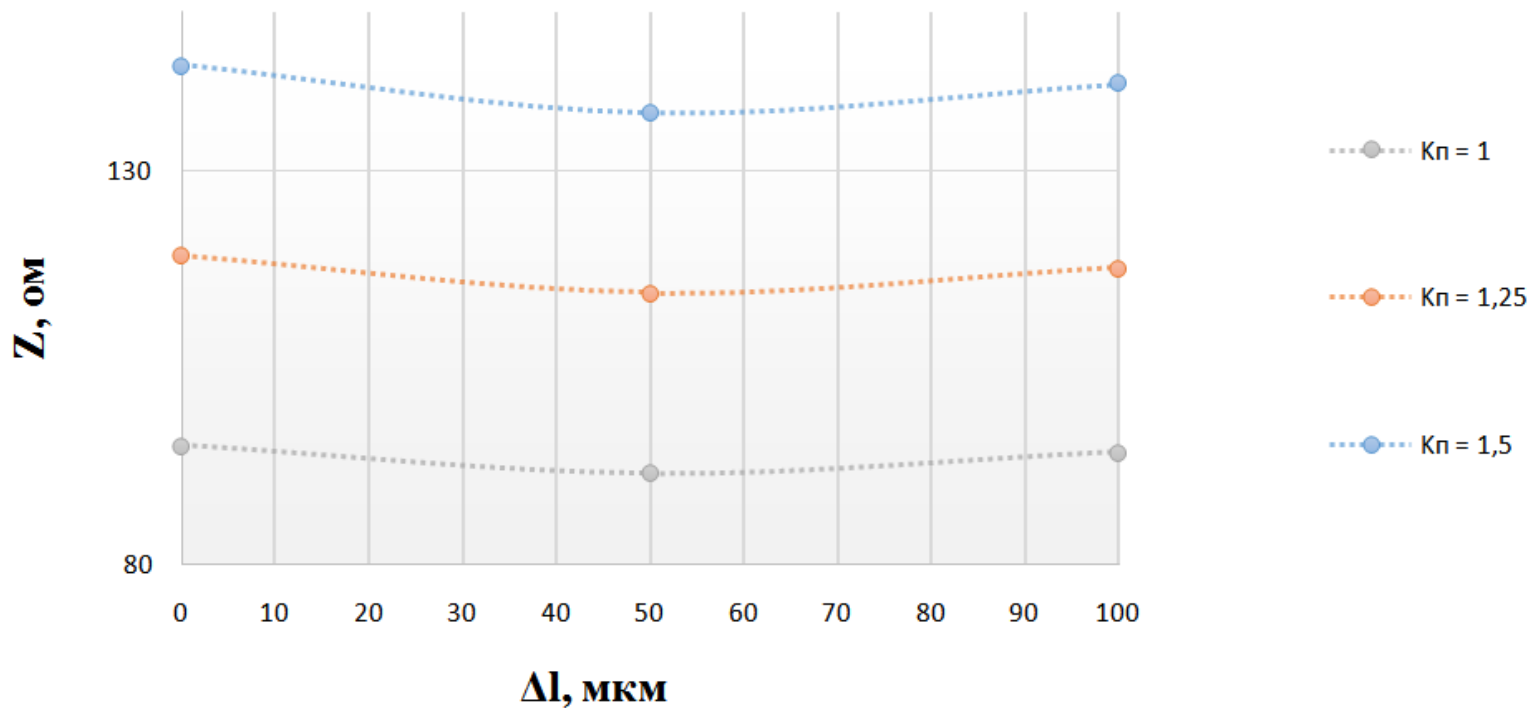


Резонансный промежуток (жидкая или жидкодисперсная нагрузка)



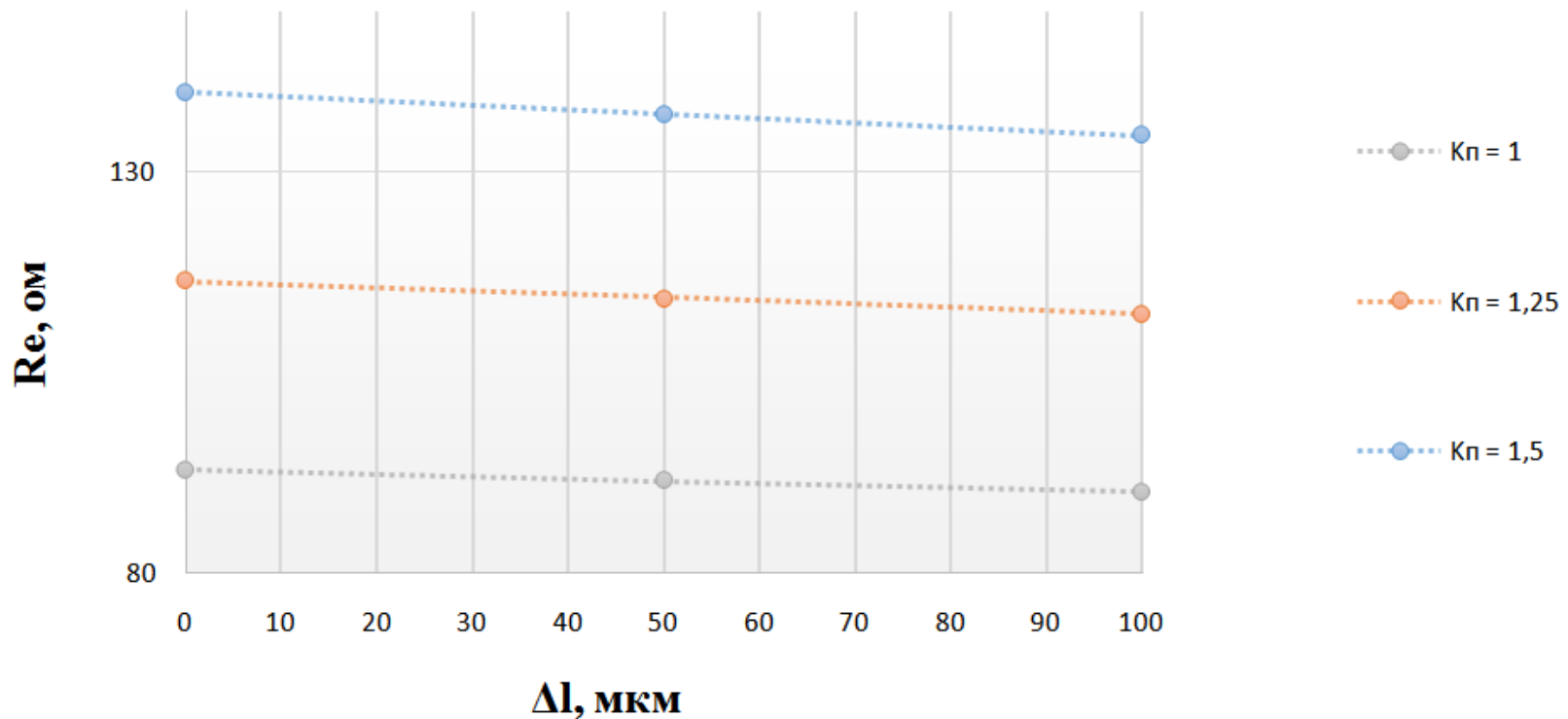
Зависимость импеданса УЗ излучателя для различных площадей контакта со средой

Преобразователь + 1-ый концентратор + 2-ой концентратор + нагрузка ($K = 1,5$)



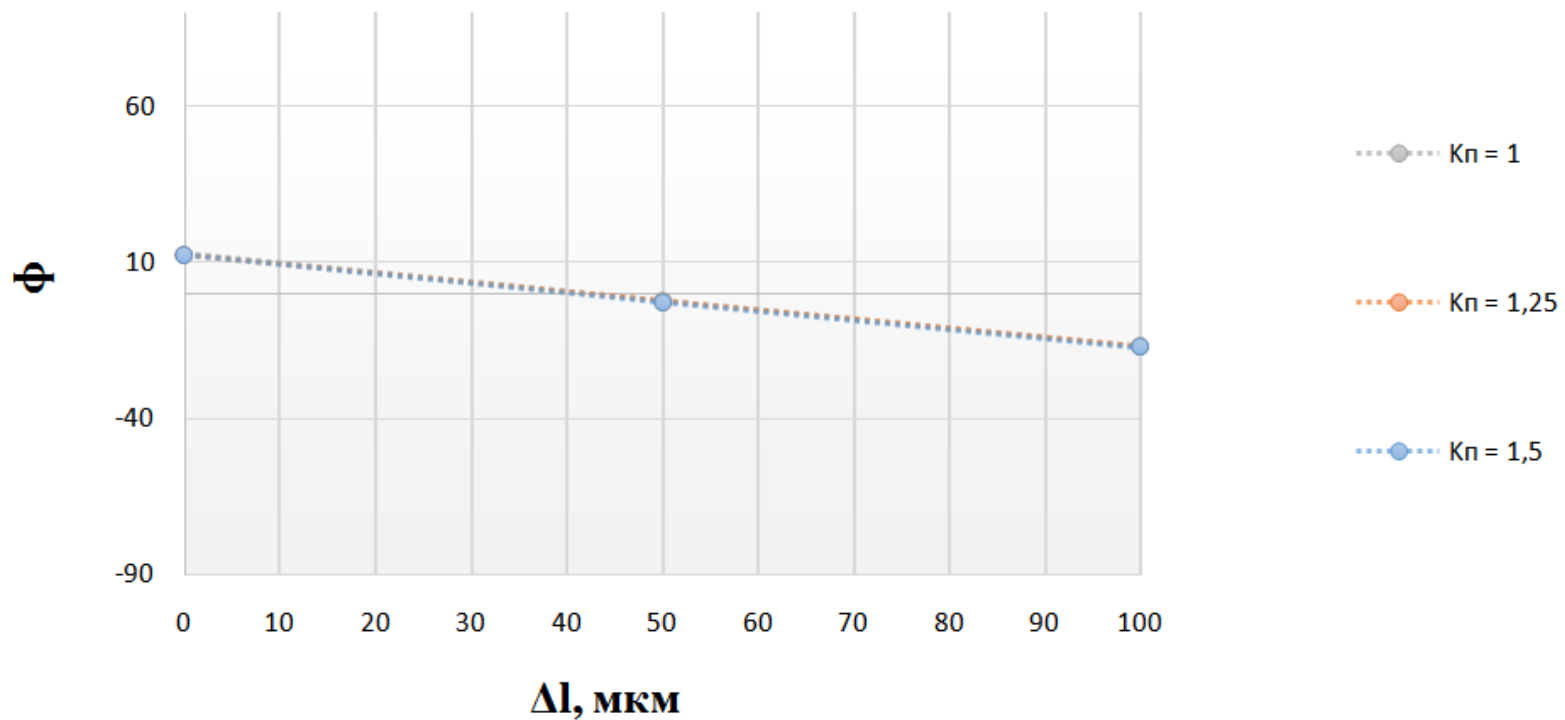
Зависимость действительной части импеданса УЗ излучателя для различных площадей контакта со средой

Преобразователь + 1-ый концентратор + 2-ой концентратор + нагрузка ($K = 1,5$)



Зависимость мнимой части импеданса U_3 излучателя для различных площадей контакта со средой

Преобразователь + 1-ый концентратор + 2-ой концентратор + нагрузка ($K = 1,5$)



Зависимость фазы тока УЗ излучателя для различных площадей контакта излучающей поверхности со средой

Преобразователь + 1-ый концентратор + 2-ой концентратор + нагрузка ($K = 1,5$)

