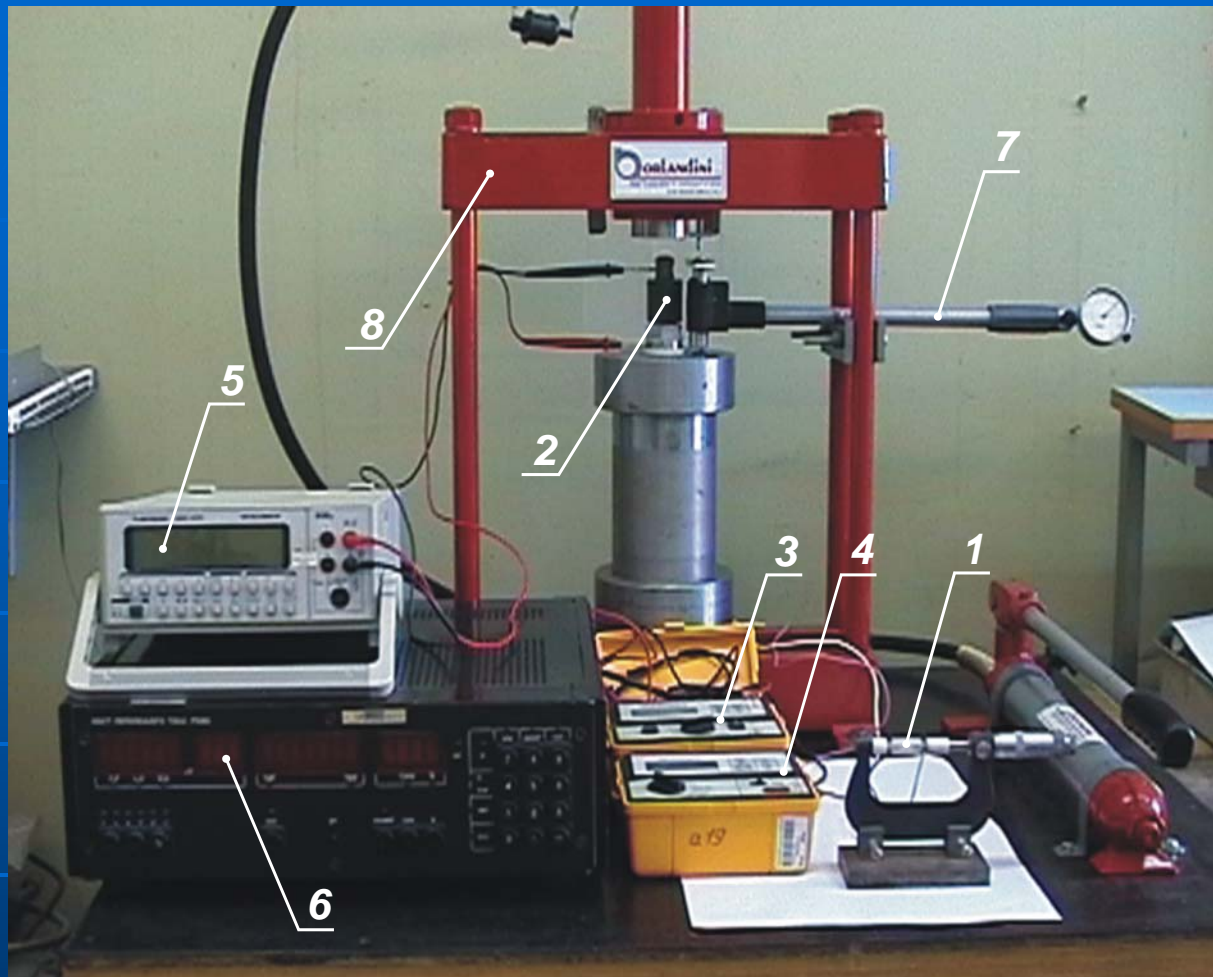


Российский Федеральный ядерный центр-
Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МАТРИЧНЫХ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ЗОН КОНТАКТА МЕЖДУ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Мокрушин В.В., Царев М.В., Забавин Е.В.,
Коршунов К.В.

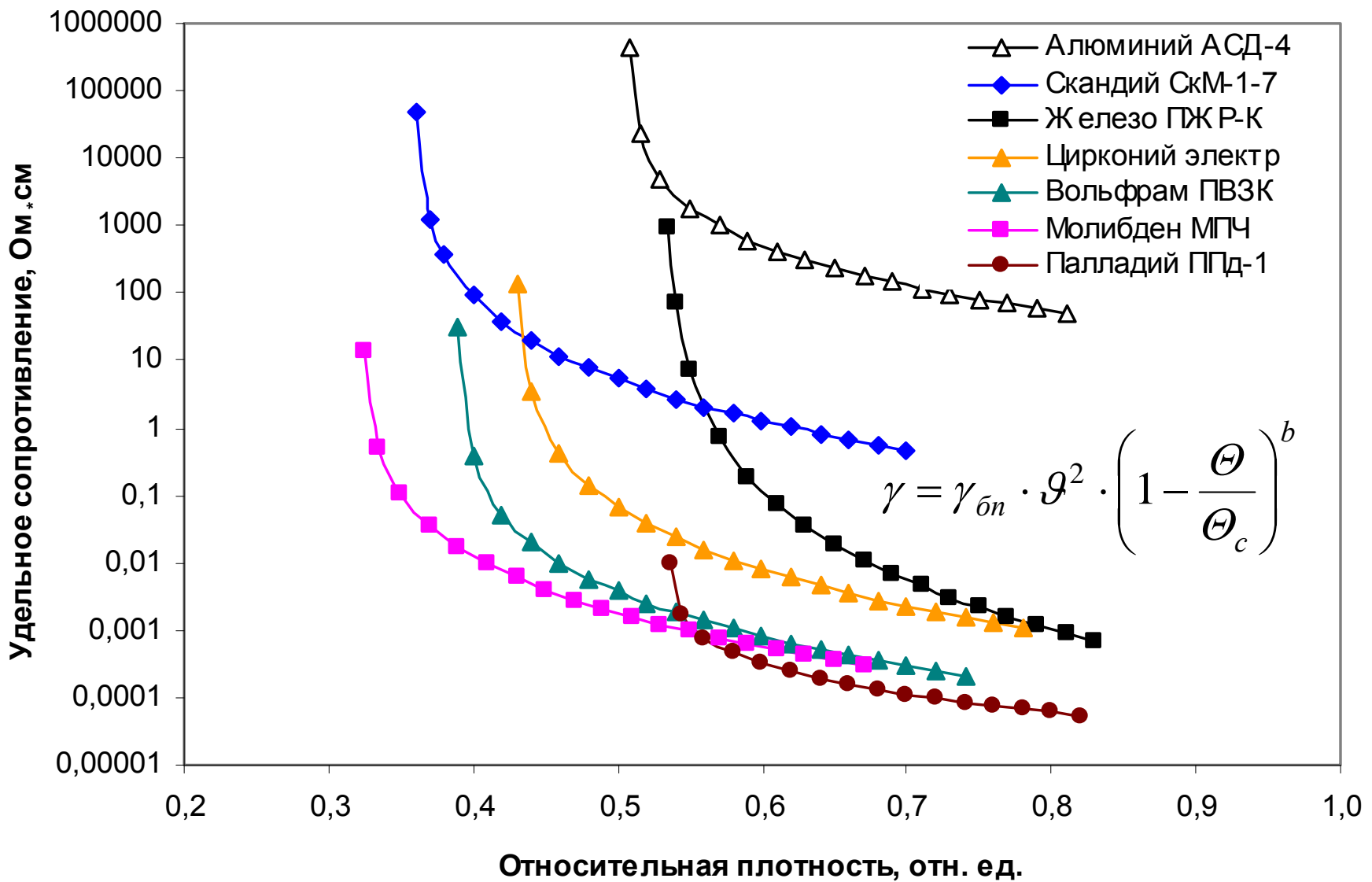
ИПХФ РАН, 2013



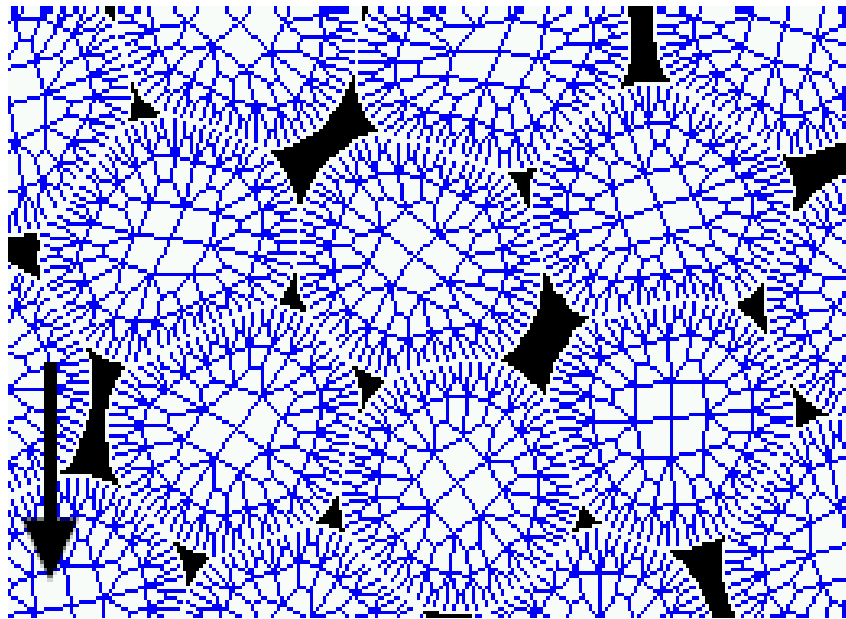
Резистометрический стенд:

- 1 – измерительная ячейка для малых усилий сжатия;
- 2 – измерительная ячейка для больших усилий сжатия;
- 3, 4, 5 – приборы для измерения сопротивления на постоянном токе;
- 6 – мост переменного тока;
- 7 – датчик перемещения;
- 8 – лабораторный пресс с усилием 10 тонн.

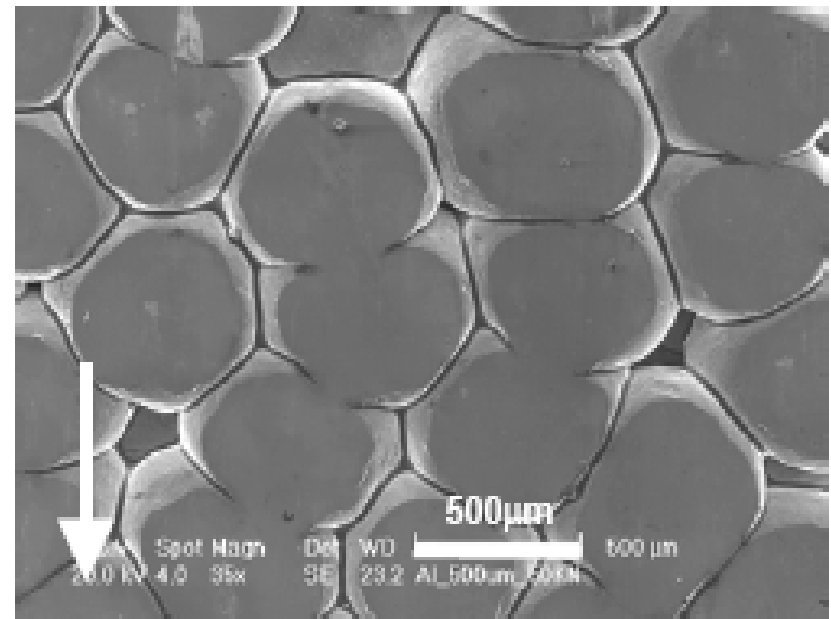
Зависимость удельного сопротивления металлических порошков от плотности



Структура матричной двухфазной системы на примере предельно уплотненного металлического порошка



(a)



(b)

Удельное сопротивление оксида металла

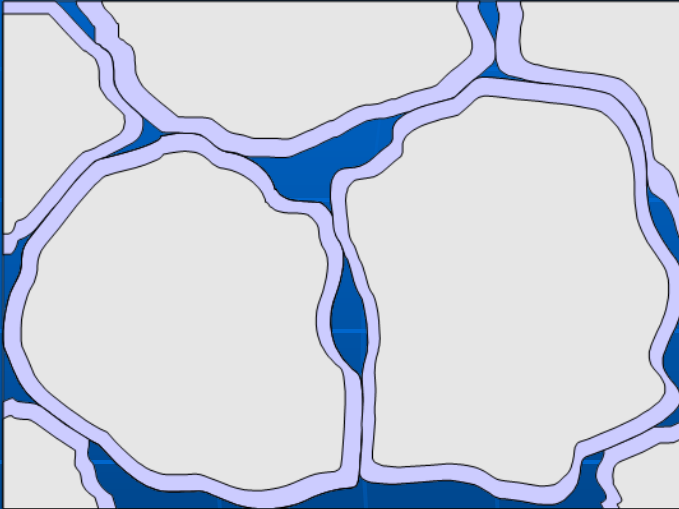
$$\sim 10^{+4} - 10^{+8} \text{ Ом}\cdot\text{см}$$

Удельное сопротивление металла

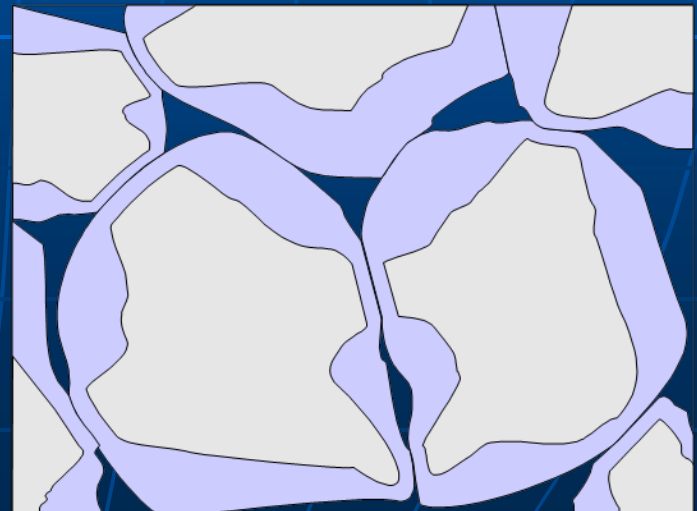
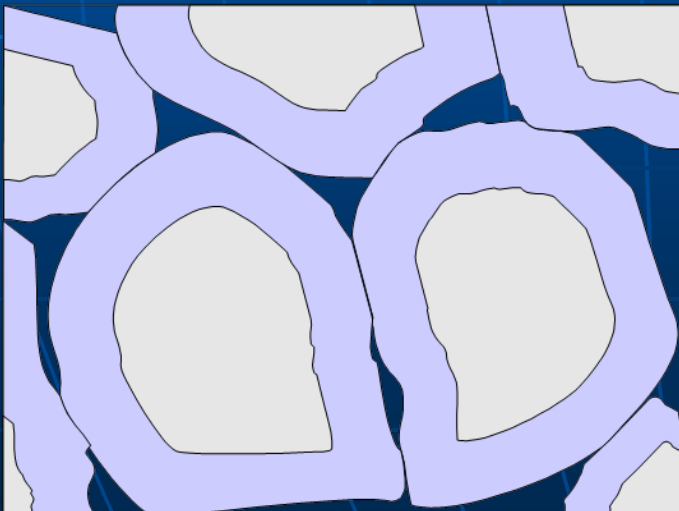
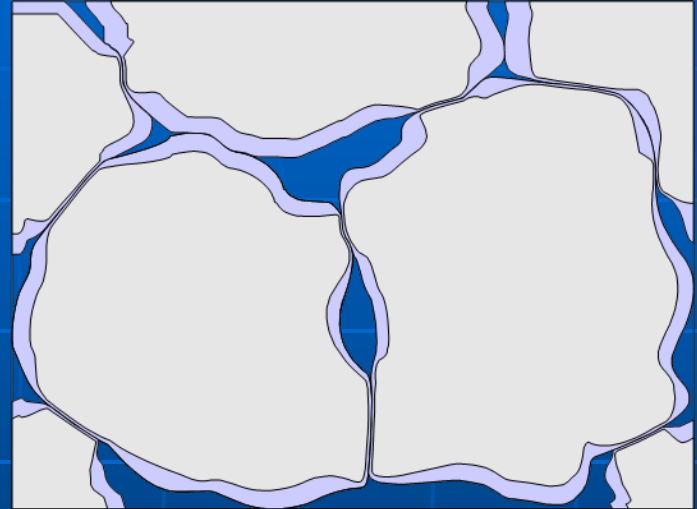
$$\sim 10^{-2} - 10^{-5} \text{ Ом}\cdot\text{см}$$

Область применения модели В.И. Оделевского

Отсутствие контактов
между включениями



Наличие контактов
между включениями



Модель проводимости гетерогенной матричной системы при наличии контактов между включениями

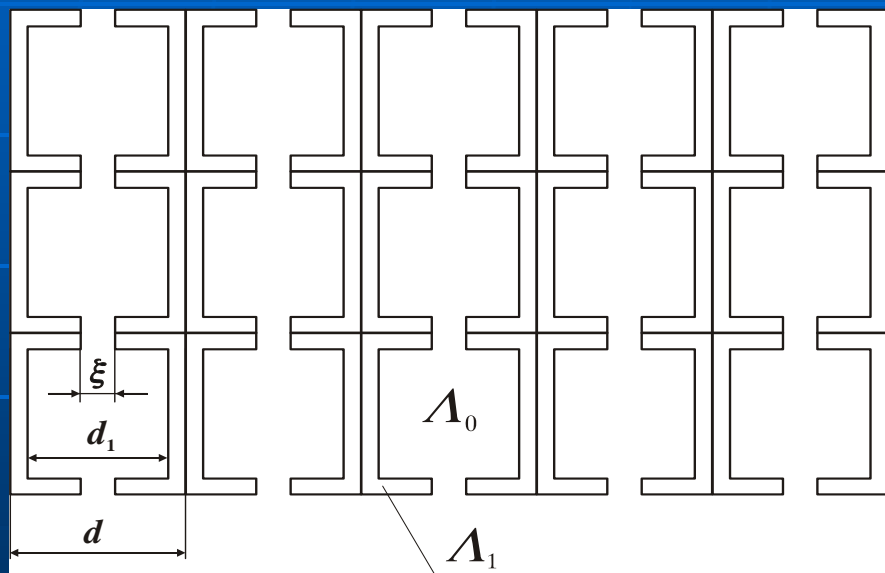
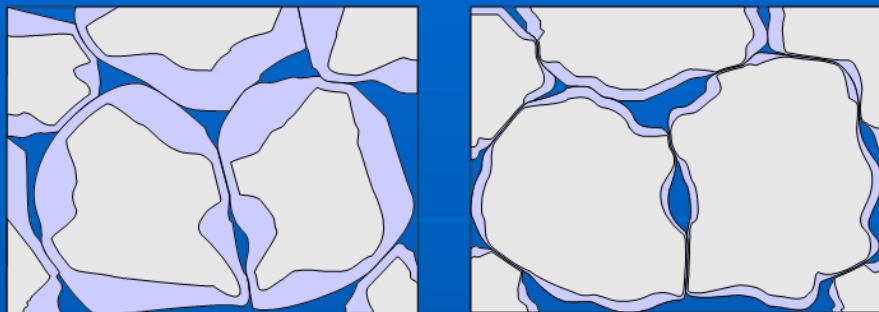
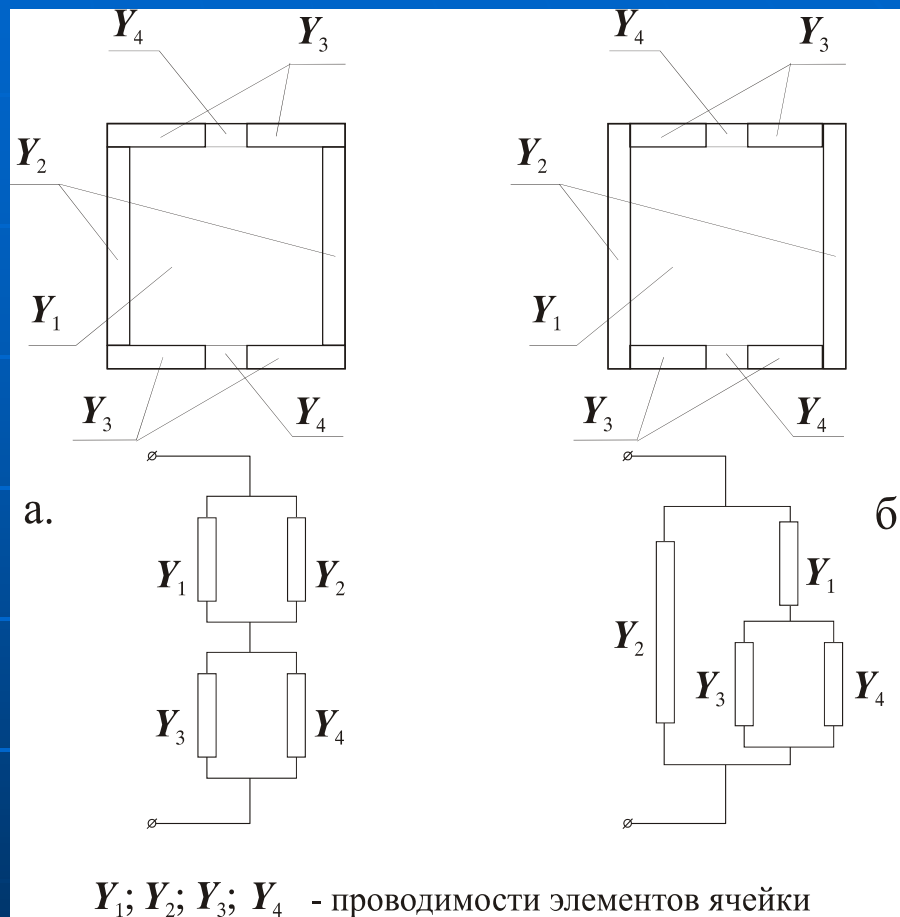


Схема модели матричной гетерогенной системы с ориентированными кубическими включениями при наличии зон контакта между включениями



Схемы элементарных ячеек и их эквивалентные электрические схемы для изотермического (а) и адиабатного (б) дробления

Уравнения, описывающие проводимость матричной гетерогенной системы с отсутствием (а) и наличием (б), (в) зон контакта между включениями

$$\Lambda = \Lambda_0 \left(1 + \frac{\beta_1}{(1 - \beta_1)/3 + \Lambda_0 / (\Lambda_1 - \Lambda_0)} \right)$$

(а) Формула
В.И.Одеlevского

$$\Lambda = \frac{1}{\left(\frac{1 - \beta_1^{1/3}}{\Lambda_0 + (\Lambda_1 - \Lambda_0)\alpha_1} + \frac{\beta_1^{1/3}}{\Lambda_0 + (\Lambda_1 - \Lambda_0)\beta_1^{2/3}} \right)}$$

(б) $\alpha_1 = \frac{\xi^2}{d^2}$

$$\Lambda = \Lambda_0 (1 - \beta_1^{2/3}) + \frac{\Lambda_1 \beta_1^{1/3} (\Lambda_0 \beta_1^{2/3} + \alpha_1 (\Lambda_1 - \Lambda_0))}{\Lambda_1 \beta_1^{1/3} + \beta_1^{2/3} (\Lambda_1 - \Lambda_0) + \alpha_1 (\Lambda_1 - \Lambda_0)}$$

(в)

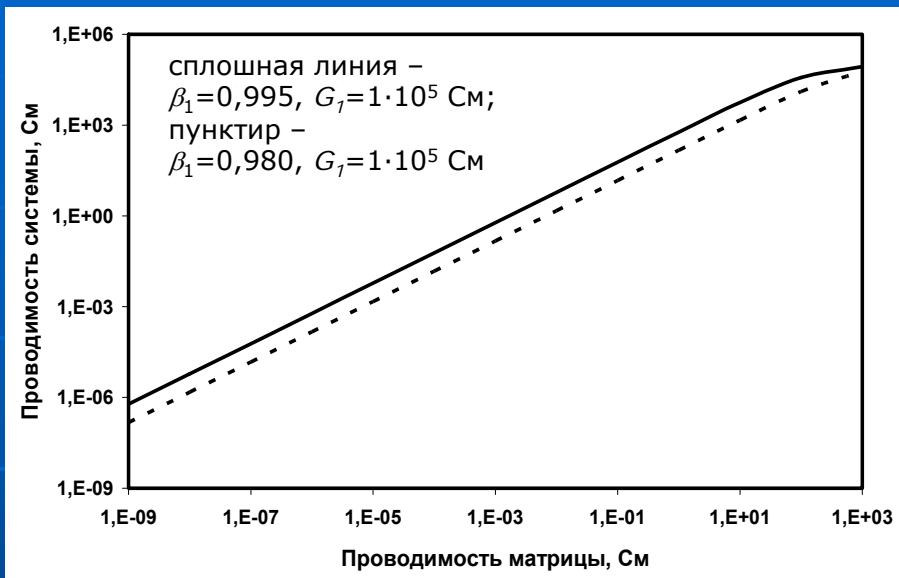
Λ_0 - проводимость матричной фазы;

Λ_1 - проводимость включений;

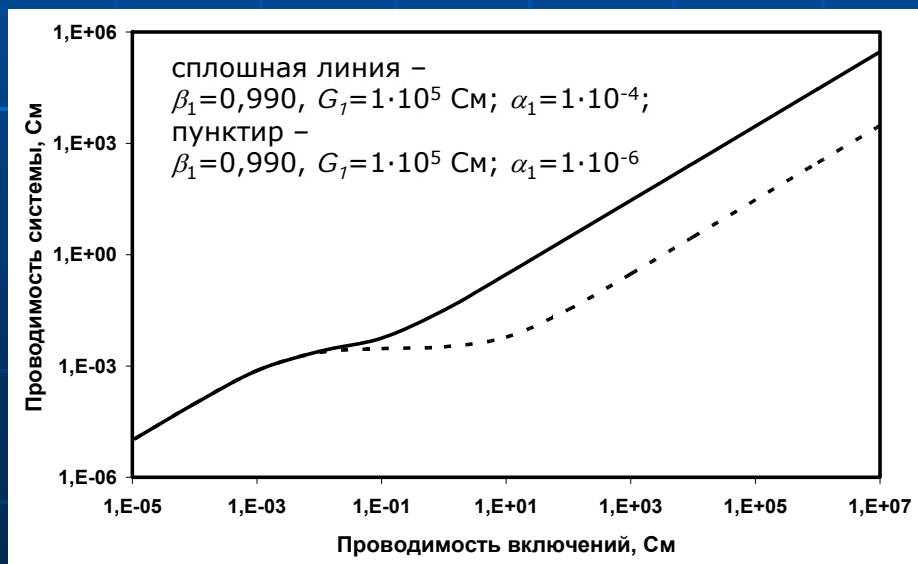
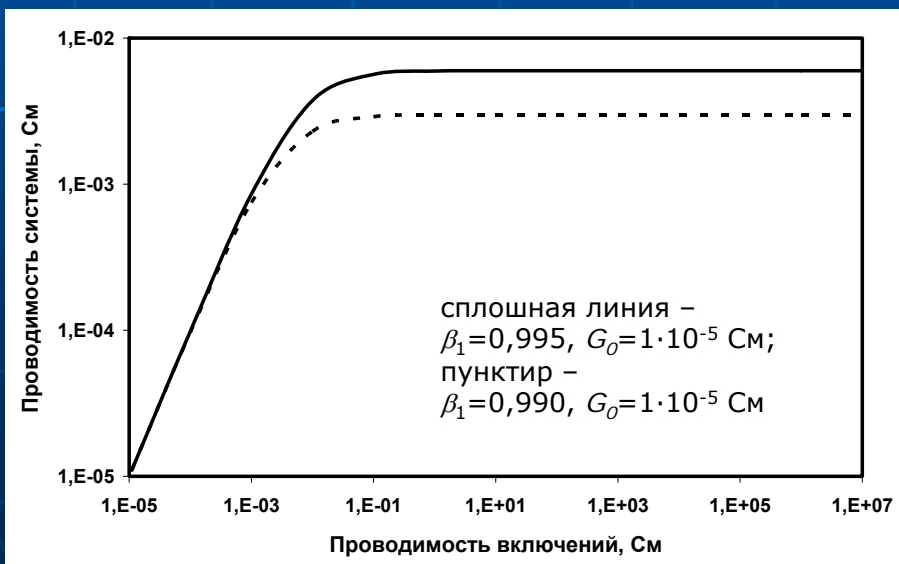
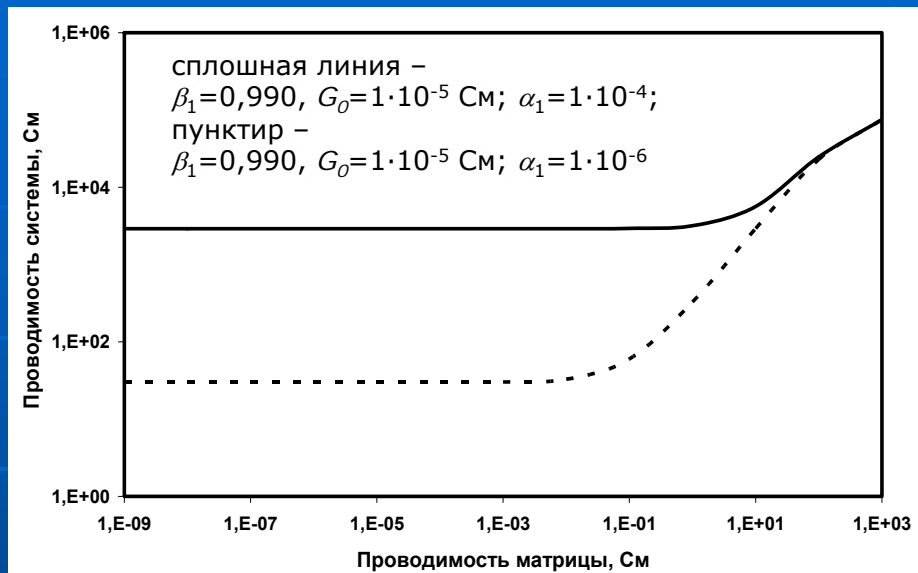
β_1 - объемная концентрация включений;

α_1 - площадь контактов между включениями, неэкранированных матричной фазой

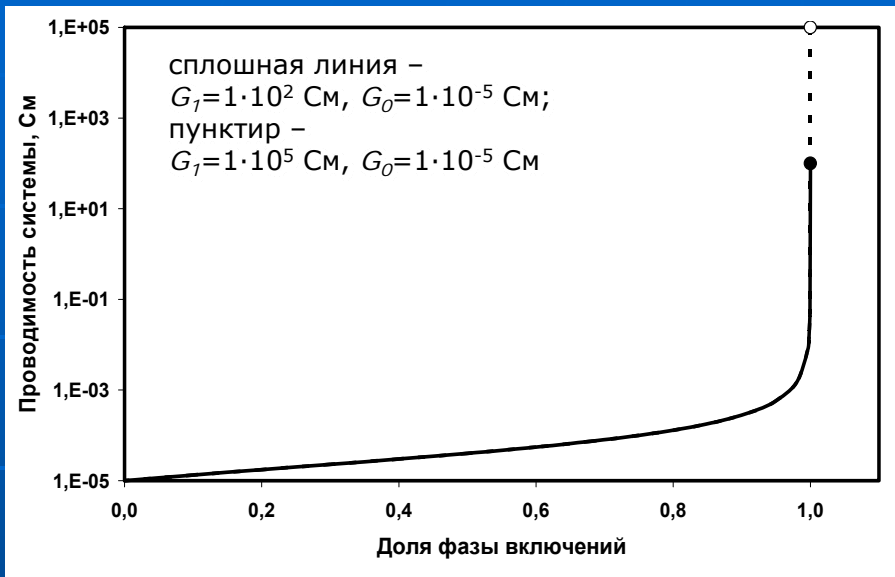
Модель с отсутствием контактов между включениями



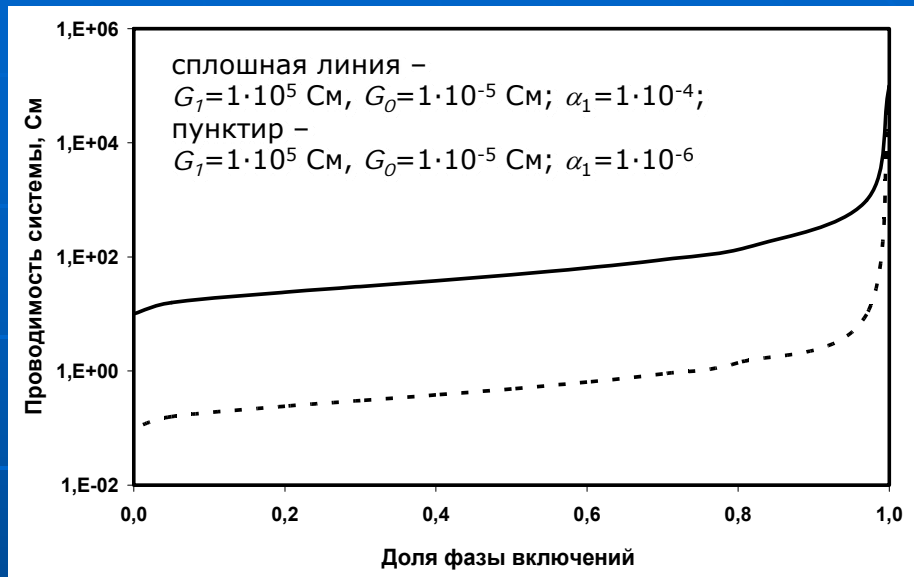
Модель с наличием контактов между включениями



Модель с отсутствием контактов между включениями

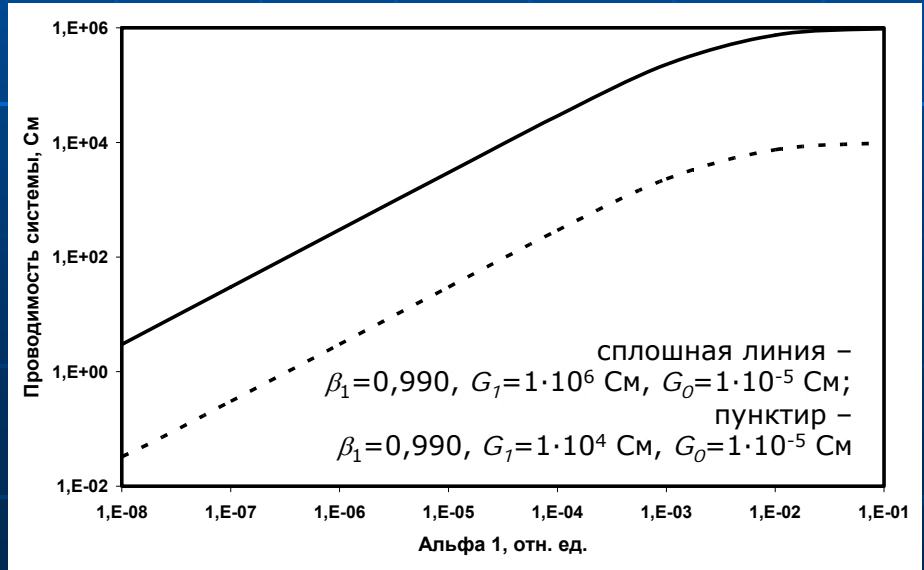


Модель с наличием контактов между включениями



Таким образом, в случае отсутствия контактов между включениями основными факторами, определяющими проводимость системы, являются проводимость матричной фазы G_0 и объемное содержание включений β_1 .

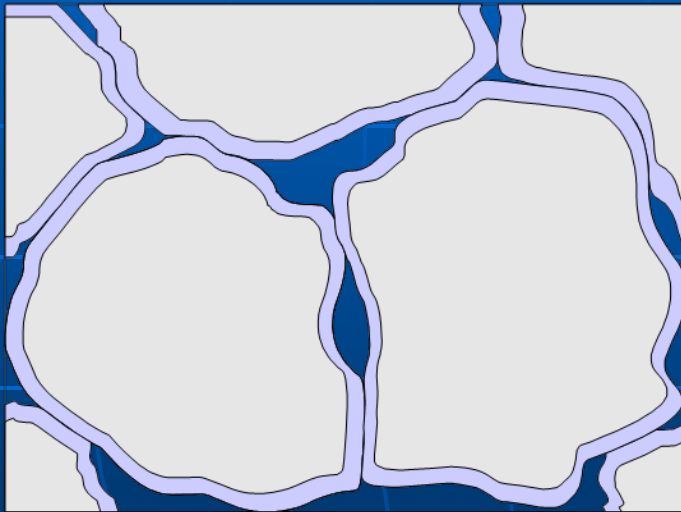
В случае наличия контактов между включениями основными факторами становятся проводимость включений G_1 и площадь контактов между ними α_1 .



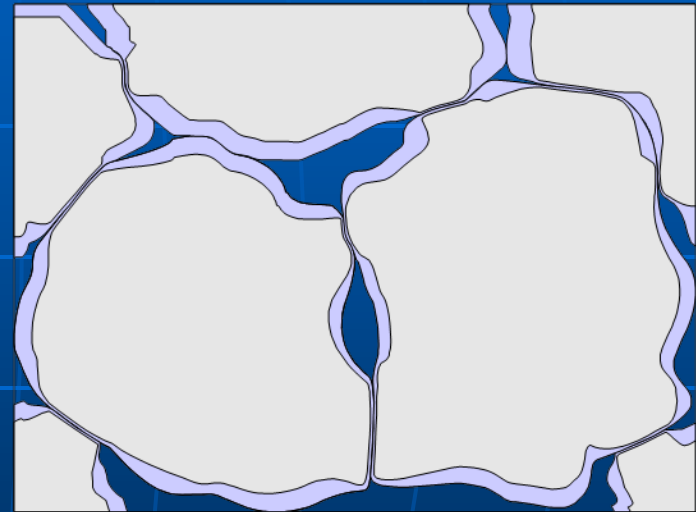
Комплексная проводимость матричных двухфазных систем

При рассмотрении комплексной проводимости следует учитывать ее активную и реактивную составляющие

$$L = G + j\omega C$$

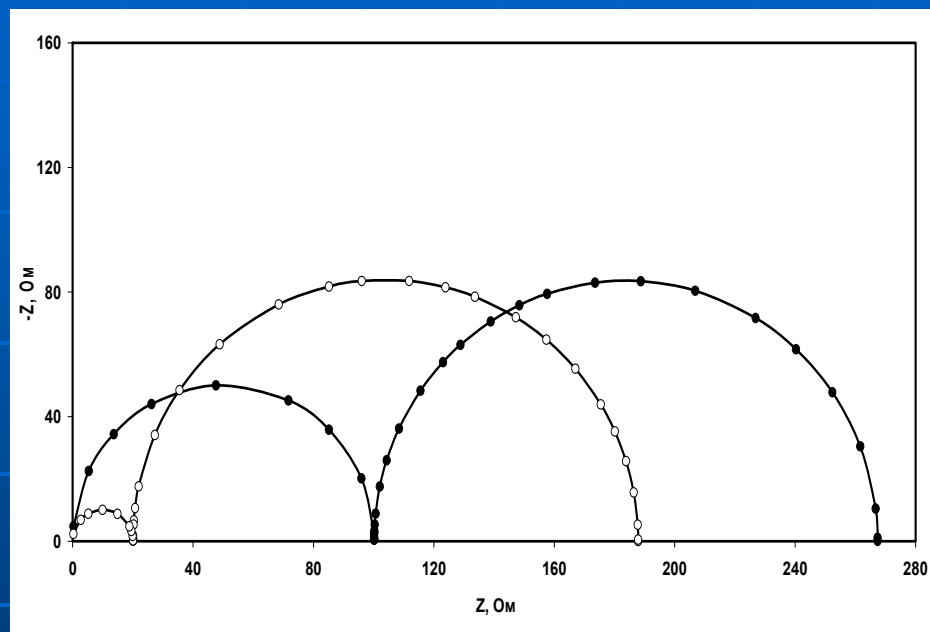
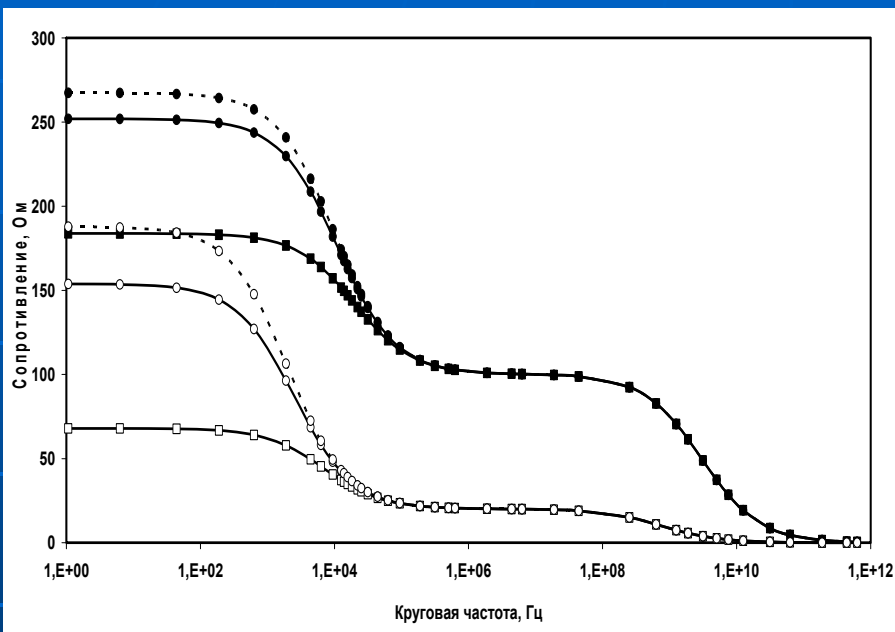


Формула В.И. Оделевского раскрыта А.Е. Укше и Е.А.Укше для описания комплексной проводимости



Формулы получены авторами данной работы и раскрыты по аналогии с подходом, предложенным А.Е. Укше и Е.А. Укше

Комплексная проводимость гетерогенной матричной системы при наличии и отсутствии зон контакта между включениями



Частотные зависимости импеданса гетерогенной матричной системы при наличии и отсутствии контактов между включениями

Годографы импеданса гетерогенной матричной системы, соответствующие частотным зависимостям импеданса на левом рисунке

ВЫВОДЫ

- Выведены формулы, связывающие обобщенную проводимость матричных двухфазных систем в случае наличия зон контакта между включениями, с проводимостью и содержанием образующих систему фаз. Согласно проведенным экспериментам, новые формулы адекватно описывают, например, проводимость металлических порошков, оксидные пленки которых разрушаются в местах контакта частиц при их уплотнении.
- Полученные формулы адаптированы для описания комплексной проводимости матричных двухфазных систем, включающей в себя активную и реактивную составляющие. Показано, что годограф импеданса таких систем представляет собой две последовательно расположенные полуокружности, радиус которых зависит от содержания и соотношения величин проводимостей входящих в систему фаз. В случае наличия контактов между включениями радиус правой полуокружности также зависит от степени экранирования контактов между включениями прослойками матричной фазы.