

му излучению именно в этой области наиболее чувствителен человеческий глаз, что делает свечение изученного нами образца визуально более заметным.

Современный мир невозможно представить без полимерных материалов. Для изготовления дорожных разметочных материалов также широко используются полимеры. Они входят в состав дорожных маркировочных красок. Полимерные композиционные материалы, пластики и полимерные пленки являются в настоящее время основными компонентами маркировочных материалов. Одно из важнейших требований к этим материалам связано с их оптическими свойствами. Они должны обладать такими свойствами, чтобы дорожные разметки были четко видны как в условиях освещенности автотрассы, так и при их недостаточном освещении и даже его отсутствии. Применяемые в настоящее время разметочные материалы лишь частично удовлетворяют этому требованию. Мы полагаем, что переход к флуоресцирующим полимерам позволит в заметной степени улучшить оптические свойства разметочных материалов.

### Литература

1. Свежинский В.Н. Дорожная разметка большого города. // "Мир дорог", 2005
2. Виноградов В. Все о разметке. // "Автомобильные дороги", 2001, № 3, N5.
3. Костова Н. Вокруг разметок. // "Автомобильные дороги", 2004, № 2, с. 26-28
4. Разметка: оптимальный вариант. // "Автомобильные дороги", 2004, № 1, с.30-31
5. Моргайлик Е. Дорожные маркировочные материалы и технологии фирм запада. // "Строительство и недвижимость", 2005.
6. Красовицкий Б.М., Болотин Б.М. Органические люминофоры, М: "Химия". 1984.
7. Барашков Н.Н., Гундер О.А. Флуоресцирующие полимеры. М: "Химия". 1984.
8. Красовицкий Б.М., Афанасиади Л.М. Моно- и бифлуорофоры. Харьков. Ин-т Монокристаллов. 2002.

### **Размагничивающий фактор канала и «жгута» каналов намагничивания гранулированной среды**

д.т.н., проф. Сандуляк А.В, к.т.н., доц. Сандуляк А.А., Ершова В.А.  
МГТУ «МАМИ»

*На примере цепочки шаров «плотно упакованной» гранулированной среды (с взаимно контактирующими гранулами), как специфического «элементарного» магнетика, ответственного за намагничивание гранулированной среды, показано, что традиционно «конечная» задача объемного усреднения магнитных свойств двухкомпонентных ферромагнитных сред может быть углублена с получением, в частности, конкретных значений магнитной проницаемости элементарного эффективного канала намагничивания: не только усредненных, но и профильных. На основании данных полевых характеристик средней проницаемости образцов гранулированной (полишаровой) среды получены данные размагничивающего фактора этих образцов. Соответствующая обработка данных размагничивающего фактора позволила найти обобщающее выражение для его нахождения. Показано, что соответствующие данные самых различных сердцевин канала намагничивания и образцов полишаровой среды хорошо согласуются.*

При магнитном воздействии на гранулированную среду с взаимно контактирующими гранулами эта среда намагничивается избирательно, селективно – в основном, по «элементарным» каналам (прямым, извилистым, в том числе разветвленным), ориентирующимся вдоль направления намагничивания сообразно естественно проявляющим себя «рабочим» цепочкам гранул [1-5]. При этом сама намагничиваемая гранулированная среда представляет собой «жгут» элементарных эффективных каналов намагничивания, в связи с чем, кроме анализа «общеобъемного» размагничивающего фактора того или иного образца гранулированной среды, возникает необходимость в углублении и детализации этого вопроса, а именно, в анализе «поканального» размагничивающего фактора – на уровне отдельных эффек-

тивных каналов намагничивания.

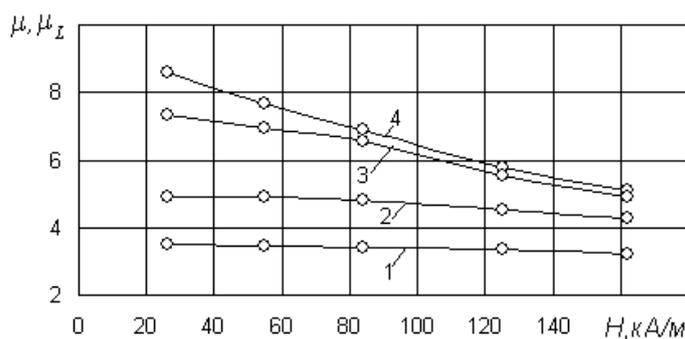
Канал намагничивания как квазисплошной магнетик вполне может характеризоваться усредненными параметрами [1,5] (индивидуальными значениями средней индукции  $B$  или средней проницаемости  $\mu$ ), вместе с тем, если говорить о «внутреннем содержании» этого квазисплошного канала-магнетика, то речь нужно вести именно о его стержнеобразной сердцевине определенного радиуса  $r$  (собственно, сам канал – это частный случай сердцевины относительного радиуса  $r/R \approx 1$ , естественно, с точностью до особенностей «стесненной» взаимной компоновки каналов в намагничиваемой гранулированной среде).

Сердцевина же того или иного радиуса  $r$  (как внутренняя «часть» канала намагничивания) в рамках квазисплошной модели намагничивания должна обладать «спектром» индивидуальных характеристик  $B$  и  $\mu = B/\mu_0 H$ , где  $\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость вакуума. Это значит, что  $B$  и  $\mu$  обязаны зависеть не только от напряженности намагничивающего поля  $H$ , но также от радиуса  $r$  (относительного радиуса  $r/R$ ) сердцевины и, безусловно, – от относительного габарита сердцевины (здесь пока формально – от числа шаров  $n$  в цепочке), активно влияющего на размагничивающий фактор  $N$  этой сердцевины.

На рис. 1 показаны семейства найденных полевых зависимостей  $\mu$  в целом для образцов гранулированной (полишаровой) среды (рис. 1) с различными значениями относительного габарита магнетика-образца  $L/D$  (1-10 и более) и на рис. 2 для сердцевин уединенной прямой цепочки шаров – тоже с различными значениями относительного габарита магнетика-сердцевины. В последнем случае, т.е. при изучении магнитных свойств сердцевин, варьировались значения относительного радиуса  $r/R$  (0,17-0,87), числа шаров  $n$  в цепочке (2-10 и более).

Из рис. 1 видно, что в принятом диапазоне изменения  $H$  (25-165кА/м) зависимости  $B$  от  $H$  (рис.1а) для образцов полишаровой среды таковы (со снижающейся интенсивностью роста), что соответствующие участки зависимостей  $\mu$  от  $H$  (рис.1б) в этом исследуемом диапазоне  $H$  оказались нисходящими. При этом с увеличением  $L/D$  значения  $B$  и  $\mu$  безусловно увеличиваются, достигая предельного (потенциального) уровня лишь при  $L/D \geq 10$ .

Качественно такой же ход полевых зависимостей  $\mu$  наблюдается и для сердцевин канала намагничивания цепочки шаров практически в таком же диапазоне изменения  $H$  (18-175кА/м). При этом с увеличением  $r/R$  (утолщением и связанным с ним «укорочением» сердцевины) значения  $B$  и  $\mu$  всегда уменьшаются (рис. 2, поз. а-г), а с увеличением  $n$  («удлинением» сердцевины) – увеличиваются (рис. 2, кривые 1-4), достигая предельного уровня при  $n \geq 8-10$ .



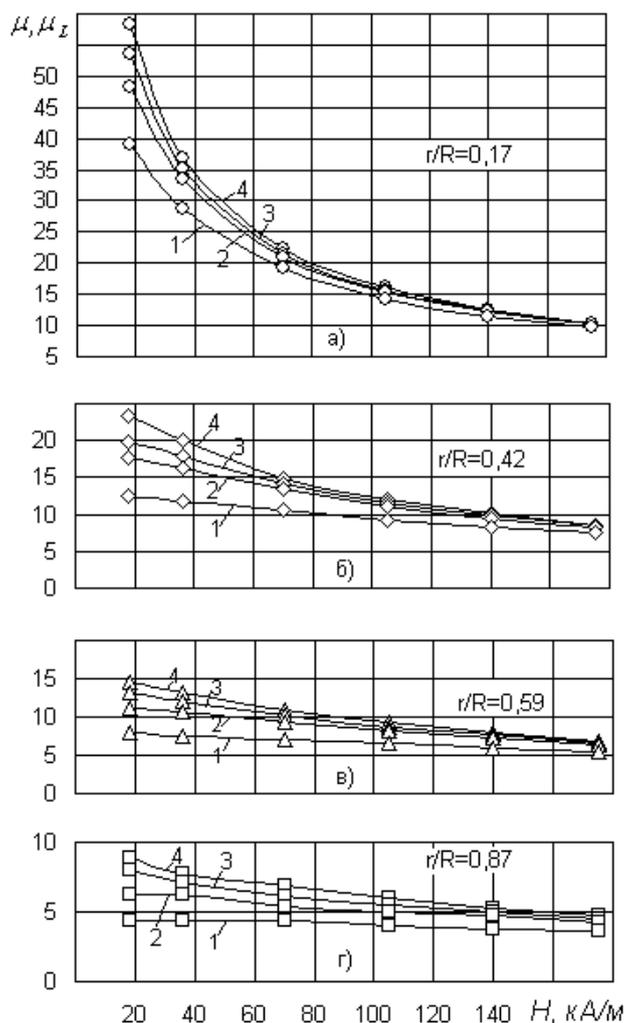
**Рис. 1. Полевые характеристики средней проницаемости:**  
**1 –  $L/D = 1,02$ ; 2 –  $2,04$ ; 3 –  $6,12$ ; 4 –  $10,2$  (14,3; 22,45).**

Для вычислений конкретных значений размагничивающего фактора  $N$  сердцевин эффективного канала намагничивания использовались входящие в расчетную формулу значения проницаемости «короткой» сердцевины  $\mu_L$  и «длинной», самодостаточной сердцевины  $\mu$  (рис. 2). При этом значения  $\mu_L$  соответствовали данным экспериментальных кривых 1-3 (рис. 4), полученных при  $n = 2$ ,  $n = 4$  и  $n = 6$ , а значения  $\mu$  – данным экспериментальных кривых 4 (рис. 4), полученных при  $n \geq 10$ , когда достигались максимально возможные (предельные) полевые зависимости  $\mu$ .

Получаемые оригинальные данные  $N$  представлялись двояко. Первое: в зависимости от формального параметра (рис. 3, кривые 1) – относительной длины цепочки шаров  $L/d_b$  ( $L = nd_b$  – общая длина цепочки шаров или, что тоже – длина сердцевины канала намагничивания,  $d_b$  – диаметр шаров). Второе: в зависимости от фактического параметра (рис. 3, кривые 2) – относительной длины самой исследуемой сердцевины канала намагничивания  $L/d_c$  ( $d_c = 2r$  – диаметр той или иной сердцевины).

Анализ полученных данных размагничивающего фактора  $N$  сердцевины-магнетика эффективного канала намагничивания в зависимости от относительного габарита цепочки шаров  $L/d_b = n$  (формального параметра) в пределах  $L/d_b = 2-6$  указывает на их характер, близкий к экспоненциальному. Так,  $N = A_r \exp(-0,5L/d_b)$  с индивидуальной фиктивной начальной ординатой  $A_r$ , которая, в свою очередь, имеет выраженную, практически степенную связь с  $r/R$ :  $A_r \cong 0,46(r/R)^{1,75}$ . В итоге полученное семейство зависимостей  $N$  от  $L/d_b$  и  $r/R$  (рис. 3, кривые 1) описывается выражением:

$$N = 0,46 \left( \frac{r}{R} \right)^{1,75} \cdot \exp \left( -0,5 \frac{L}{d_b} \right). \quad (1)$$



**Рис. 2. Полевые характеристики средней проницаемости сердцевины канала намагничивания цепочки шаров; 1 –  $L/d_b = 2$ , 2 –  $L/d_b = 4$ , 3 –  $L/d_b = 6$ , 4 –  $L/d_b \geq 10$ ).**

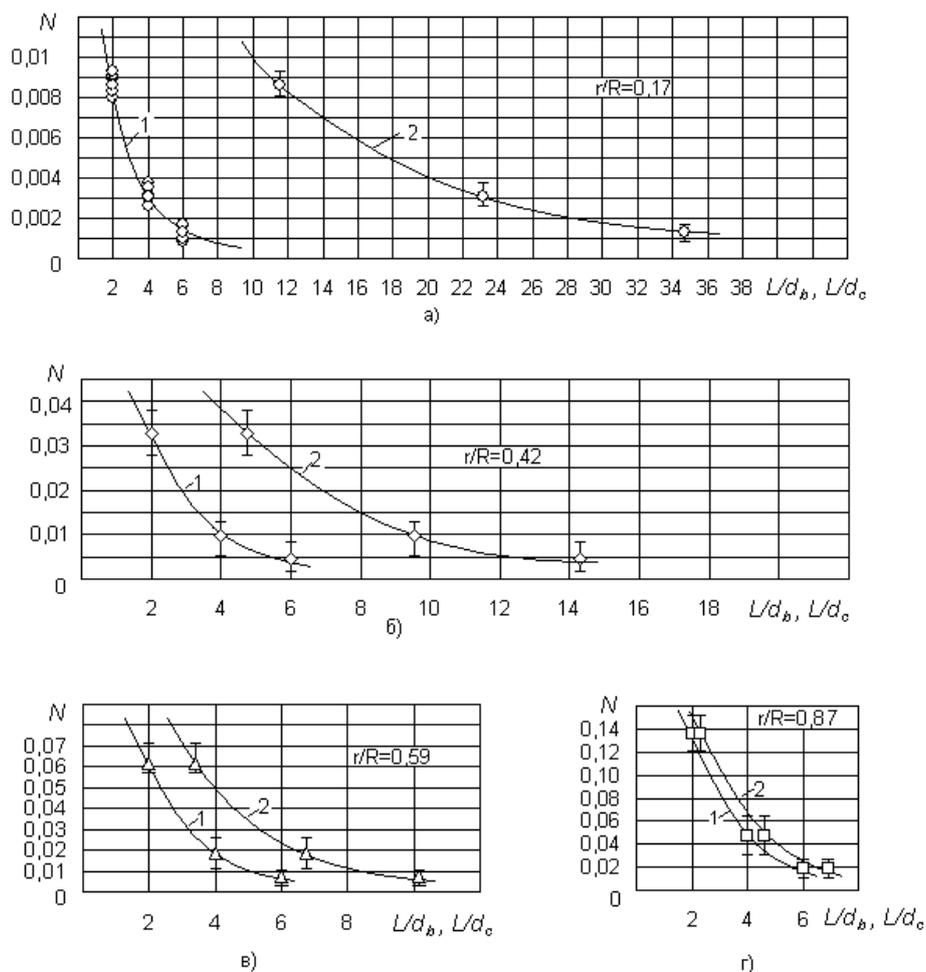
Анализ полученных данных  $N$  в зависимости от относительного габарита собственно сердцевины-магнетика  $L/d_c$  эффективного канала намагничивания – в обычном и полулогарифмическом виде (рис. 4 а,б) – позволил установить замечательный и вполне ожидаемый факт. Именно в координатах  $N$  от  $L/d_c$  значения  $N$  достаточно хорошо обобщаются единой

зависимостью, несмотря на различные значения радиуса («толщины») сердцевины-магнетика, а, значит, несмотря на различные индивидуальные значения объемной концентрации  $\gamma$  металла в той или иной сердцевине эффективного канала.

При этом, судя по линеаризующимся данным размагничивающего фактора  $N$  «образцов» сердцевины-магнетика в полулогарифмических координатах (рис. 4 б) с аргументом  $\sqrt{L/d_c}$ , само обобщающее выражение в довольно широком диапазоне  $L/d_c$  приобретает простой экспоненциальный вид:

$$N = \exp\left(-1,5\sqrt{\frac{L}{d_c}}\right) \quad (2)$$

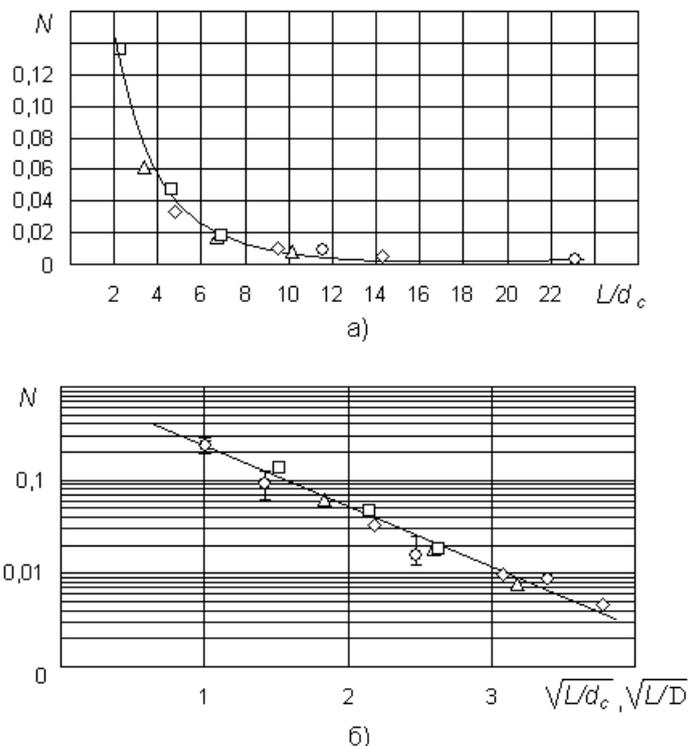
Что же касается гранулированной среды в целом, представляющей собой систему эффективных каналов-магнетиков, «сомкнутых в жгут» [1, 5], то образец (определенной формы) такой среды, естественно, нельзя рассматривать как простую систему изолированных одноцепочечных каналов-магнетиков. Из-за уплотнения и «сращивания» каналов (увеличения координационного числа гранул, т.е. появления дополнительных точек контакта) значения индукции  $B$ , проницаемости  $\mu$ , как это видно из рис. 1, а также значения размагничивающего фактора  $N$  теперь зависят, конечно же, от относительного габарита всего «жгута», т.е. всего образца гранулированной среды (подобно поведению уединенных, ферромагнитных стержней и жгута этих стержней в магнитном поле).



**Рис. 3. Влияние относительного габарита цепочки шаров  $L/d_b$  (формального параметра 1) и относительного габарита сердцевины-магнетика  $L/d_c$  канала намагничивания цепочки (фактического параметра 2) на  $N$ .**

В этой связи примечательным является такое сравнение. В образце исследуемой полишаровой среды, характеризующемся здесь даже самым минимальным значением  $L/D = 1$

(рис. 1), относительный габарит какой-либо из многочисленных цепочек шаров этого образца является достаточно большим и составляет  $L/d_b \approx 10$ , т.е. сопоставимым с установленным ранее относительным габаритом «длинной» ( $L/d_b \geq 8-10$ ) индивидуальной цепочки шаров. И, тем не менее, образец из такой полишаровой среды ( $L/D = 1$ ), несмотря на то, что состоит из жгута «длинных» каналов-магнетиков ( $L/d_b \approx 10$ ), сам является явно «коротким» (рис. 1), и его магнитные свойства в 1,5–2,5 раза уступают магнитным свойствам действительно «длинного» ( $L/D \geq 10$ ) образца полишаровой среды.



**Рис. 4. Обобщение значений размагничивающего фактора сердцевины канала намагничивания в цепочке шаров для различных значений относительного габарита этой сердцевины; здесь также показаны точки, заимствованные из рис. 5в.**

С использованием соответствующих экспериментальных данных (рис. 1) легко найти значения размагничивающего фактора  $N$  «коротких» образцов полишаровой среды и его зависимость от такого индивидуального аргумента, как относительный габарит  $L/D$  образца этой среды (рис. 5а). При этом значения проницаемости «короткого» образца  $\mu_L$  соответствовали данным экспериментальных кривых 1-3 (рис. 1), полученных при  $L/D = 1,02$ ,  $L/D = 2,04$  и  $L/D = 6,12$ , а значения проницаемости «длинного», самодостаточного образца  $\mu$  – данным экспериментальной кривой 4 (рис. 1), полученной при  $L/D \geq 10,2$ , когда достигались, как уже указывалось, максимально возможные (предельные) полевые зависимости  $B$  и  $\mu$ .

Соответствующая обработка данных размагничивающего фактора  $N$  образцов полишаровой среды (рис. 5а) в полулогарифмических координатах (рис. 5б) дает такое аппроксимирующее выражение:

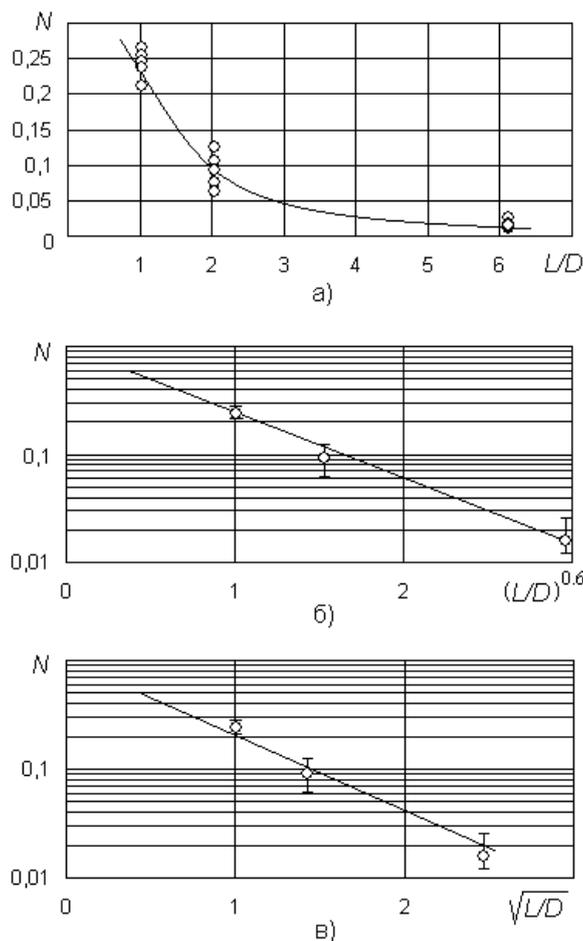
$$N = \exp \left[ -1,4 \left( \frac{L}{D} \right)^{0,6} \right] \quad (3)$$

Здесь (как и ранее) следует принять к сведению уже оговоренное обстоятельство «тонкой пластины», в данном случае  $N \rightarrow 1$  при  $L/D \rightarrow 0$ .

Нетрудно заметить, что выражение (2), характеризующее размагничивающий фактор  $N$  «короткой» сердцевины канала намагничивания, и выражение (4), характеризующее размагничивающий фактор  $N$  «короткого» образца полишаровой среды, близки не только по форме, но и по содержанию. Поэтому имеет смысл параллельно выражению (3) записать также несколько модифицированное по сравнению с ним такое выражение (рис. 5в):

$$N = \exp\left(-1,5\sqrt{\frac{L}{D}}\right) \quad (4)$$

в точности сходное с выражением (2), тем более что соответствующие данные  $N$  для самых различных сердцевин канала намагничивания и образцов полишаровой среды, сведенные вместе на рис. 4б, согласуются.



**Рис. 5. Влияние относительного габарита цилиндрического образца полишаровой среды на его размагничивающий фактор.**

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых – кандидатов наук и их научных руководителей (МК-115.2007.08).

#### Выводы

Изложены и проанализированы данные размагничивающего фактора различных (по относительной длине) образцов гранулированной матрицы и впервые – сердцевин элементарного канала намагничивания (в цепочке шаров).

#### Литература

1. Сандуляк А.В. Модель намагничивания пористой среды. //Журнал технической физики, 1982, т.52, в.11, с. 2267-2269.
2. Сандуляк А.В. Физическая модель осаждения ферромагнитных частиц в намагниченной гранулированной среде. – ДАН Укр.ССР. 1983. №9, сер.Б. с. 49-53.
3. Сандуляк А.В. Эпюра магнитной проницаемости шариковой среды. – Сб. Теоретическая электротехника (Вища школа, изд-во при Львовском университете), 1983. в.35, с.157-162.
4. Сандуляк А.В. Намагничивание цепочки шаров. //Техническая электродинамика. 1984. №5. с.102-104.
5. Сандуляк А.В. Очистка жидкостей в магнитном поле. Вища школа (изд-во при Льв. ун-те), 1984. 167с.