

УДК 614.841.48

mif-afto@mail.ru

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ  
ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В УСЛОВИЯХ СТАБИЛИЗАЦИИ  
УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР**

**MODELING OF THE LIQUID HYDROCARBON ELECTRICALIZATION  
PROCESSES IN THE CONDITIONS OF STABILIZATION  
OF CARBON NANOSTRUCTURES**

*Мифтахутдинова А.А.,  
Иванов А.В., кандидат технических наук, доцент,  
Ивахнюк Г.К., доктор химических наук профессор,  
Санкт-Петербургский университет  
ГПС МЧС России, Санкт-Петербург*

*Miftakhutdinova A.A., Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K.,  
St. Petersburg university of State fire service  
of EMERCOM of Russia, St. Petersburg*

Представлены результаты исследований процессов электризации жидких углеводородов при стабилизации наноструктур (MWCNT) путем электрофизического воздействия с параметрами переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП). Для оценки влияющих факторов на электризацию стабилизированных наножидкостей применялся нейросетевой метод моделирования (НСМ).

*Ключевые слова:* углеводородная жидкость, наноструктура, наножидкость, электризация, переменный частотно-модулированный потенциал, нейронная сеть.

The results of studies of the processes of electrification of liquid hydrocarbons during the stabilization of nanostructures (MWCNT) by means of electrophysical action with the parameters of variable frequency-modulated potential (VFMP) are presented. to evaluate the influencing factors on the electrification of stabilized nanofluids, the neural network simulation method (NNS) was used.

*Keywords:* hydrocarbon liquid, nanostructure, nanofluid, electrification, variable frequency-modulated potential, neural network.

### **Введение**

Пожароопасные жидкости, обрабатываемые в технологическом процессе, являются основным фактором возникновения пожароопасной ситуации на предприятии. Согласно ГОСТ Р 12.3.047-2012 физико-химические свойства пожароопасных жидкостей определяют пожаровзрывоопасные свойства технологического процесса.

Существующие мероприятия снижения пожарной опасности технологических процессов и производств (ограничение разлива легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, уменьшение интен-

сивности испарения, снижение электризации и т.д.) имеют технологические пределы. Ряд технологических ограничений влечет за собой снижение уровня пожаровзрывобезопасности технологического процесса, безопасности работы персонала, а также материальный ущерб, в связи с отсутствием достаточного уровня контроля за соблюдением требований пожарной безопасности.

Проведен ряд экспериментальных исследований, которые отражают возможность применения углеродных наноструктур в качестве присадок в целях снижения пожарной опасности процессов

хранения, транспортировки и перекачки пожаровзрывоопасных жидкостей [1, 2, 3]. Однако улучшенные характеристики наножидкостей сохраняются в течение малого времени. Данное явление обусловлено агломерацией наночастиц и их дальнейшим оседанием.

Таким образом, возникает необходимость применения дополнительных способов и/или методов стабилизации наночастиц в системе жидкостей. В работе [1] определены условия стабилизации наноструктур. Исследование отражает снижение электрической проводимости и интенсивность испарения веществ, что связано с более медленной агрегацией наночастиц во времени, изменение надмолекулярной структуры жидкостей при электрофизическом воздействии с помощью переменного частотно-модулированного потенциала (ПЧМП). Следовательно, необходимо провести оценку влияющих факторов на стабильность наноструктур в системе жидких углеводородов для определения оптимальных параметров стабилизации.

Проводится разработка прогнозистических моделей по оценке пожарной опасности технологических процессов, связанных с обращением жидких углеводородов с помощью искусственных нейронных сетей [4, 5]. Данный метод позволяет с точностью оценить пожароопасные свойства органических соединений. Для оценки влияющих факторов на процесс стабилизации наноструктур в жидких углеводородах применялся нейросетевой метод моделирования (НС). НС является эффективным методом для решения задачи прогнозирования таких многофакторных систем, как определение параметров стабилизации наножидкости на основе жидких углеводородов, с целью снижения пожарной опасности процессов хранения нефтепродуктов [6].

#### **Материалы и методы исследований**

Объектом исследования являются наножидкости на основе этанола [7], аце-

тона [8], орто-ксилола [9]. В качестве углеродных наноструктур выступают многослойные углеродные нанотрубки (MWCNT) ( $l=10...20$  мкм,  $d=10...30$  нм).

Наножидкости получены путем диспергирования углеродных наноструктур в базовых жидкостях в течение одного часа при температуре  $40$  °С, с частотой источника ультразвука  $100$  кГц и в условиях электрофизического воздействия с параметрами ПЧМП ( $U=56$  В,  $f=50$  Гц).

Определение поверхностного натяжения осуществлялось методом отрыва капель [10].

Исследование процесса электризации наножидкостей при их гомогенизации проводилось путем измерения напряженности электрического поля образцов наножидкостей, помещенных в ультразвуковую ванну ( $t=400$ С,  $f=100$  кГц), с помощью электростатического вольтметра SF 156 в течение 5 минут [11].

Исследование удельного электрического сопротивления проводилось по ГОСТ ISO 6297-2015 с помощью терраметра Е6-13А [1, 12].

Исследование диэлектрической проницаемости осуществлялось методом плоского конденсатора [11].

Определение размера агломераций наночастиц и расстояния между ними проводилось на установке Ntntegra Spectra путем атомно-силовой микроскопии (АСМ) [13], образцы наножидкостей помещались на слюдяную подложку, далее испарялись для этанола и ацетона при температуре  $25$  °С, для орто-ксилола  $65$  °С.

Исследование интенсивности испарения с открытой поверхности наножидкостей: наножидкости помещались в емкости с открытой поверхностью диаметром  $46$  мм и высотой  $72$  мм. Испарение жидкостей происходило в вытяжном шкафу размером  $1,5 \times 1,2 \times 2,5$  м при температуре воздуха  $25$ °С и кратности воздухообмена  $2$  ч<sup>-1</sup>. Потеря массы фиксировалась на лабораторных весах марки «МАССА ВК-150.1» в течение 24 часов.

### Результаты исследования свойств наножидкостей

Изменения коэффициента поверхностного натяжения при внесении углеродных наноструктур увеличивается на 10 % для наножидкостей на основе этанола и ацетона, для наножидкостей на основе орто-ксилола изменение составляет порядка 38 %; в условиях электрофизического воздействия величина коэффициента поверхностного натяжения, напротив, снижется в среднем для всех наножидкостей в среднем на 5 %. Это обусловлено тем, что стабилизированные MWCNT в жидкости создают дополнительное суммарное центропритягивающее притяжение.

Напряженность электрического поля при гомогенизации для наножидкостей на основе этанола и ацетона снижается в среднем на 12 %, по сравнению с базовыми жидкостями, для наножидкостей на основе орто-ксилола снижение электризации составляет порядка 89 %; для всех наножидкостей, подготовленных в условиях электрофизического воздействия снижение составляет в среднем на 62 %.

Электрическая проводимость при введении наноматериалов в среднем снижается на 45 %, рост значений электрического сопротивления становится идентичным с базовой жидкостью через 2 часа после приготовления наножидкости, для наножидкостей, подготовленных в условиях стабилизации наноструктур, рост значений электросопротивления замедляется, в среднем до 3 часов.

Диэлектрическая проницаемость для этанола и ацетона при введении наноструктур снижается на 25-50 %, для орто-ксилола снижение составляет порядка 10 %, в условиях электрофизического воздействия снижение для наножидкостей на основе этанола и ацетона составляет 43-50 %, для наножидкостей на основе орто-ксилола в среднем 39 %.

Увеличение электропроводности, снижение диэлектрической проницаемости и напряженности электрического по-

ля обусловлено более низкой скоростью электризации за счет более медленного процесса агломерации MWCNT - стабильности наноструктур в системе жидкости.

При электрофизическом воздействии увеличение размера агломераций наночастиц, по сравнению с образцами, которые не были подготовлены в условиях стабилизации наноструктур, существенно снижается 60 %. Снижение связано с изменением дзета-потенциала наночастиц в условиях стабилизации.

Интенсивность испарения для всех наножидкостей снижается в течение первых 4 часов на 24 % после приготовления стабильной наножидкости. При электрофизическом воздействии данное снижение сохраняется в течение 6 часов, что связано с изменением электрофизических свойств базовых жидкостей.

Прогнозирование процесса электризации модифицированных жидких углеводородов в условиях стабилизации углеродных наноструктур проводилось методом нейронных сетей с помощью программы STATISTICA.

Таким образом, в ходе исследования выявлено: характерным параметром веществ при обеспечении пожарной безопасности является значение  $A=[\rho_v, \sigma, \epsilon, \delta, W_{исп}]$ ; в условиях процесса агломерации наночастиц происходит изменение во времени их диаметра и суммарного расстояния между ними в зависимости от параметров наночастиц (хиральность, добротность и т.д.); явление агломерации влияет на значения  $A$ ; установлено, что зависимость между значением  $A$  и параметрами наночастиц при агломерации во времени возможно смоделировать при использовании нейросетевых технологий [14].

### Нейросетевой метод прогнозирования

Для оценки влияющих факторов на параметры стабилизации наножидкости на основе жидких углеводородов применялся метод нейросетевого моделирования. НС относится к методам ана-

лиза больших данных Данный метод целесообразно применять для рассматриваемой системы, что обусловлено недостаточностью информации о закономерностях

влияния входных параметров на выходные данные [14]. Характеристики входных параметров представлены в таблице 1.

*Таблица 1*  
*Характеристика входных (воздействующих) параметров и выходного параметра*

| ВП, ВФ        | Характеристика   | Единицы измерения |
|---------------|--|-------------------|
| $\alpha_1$    | Время «жизни» стабильных наножидкостей                                 | час               |
| $\alpha_2$    | Молярная масса базовых жидкостей                                       | г/моль            |
| $\alpha_3$    | Размер наночастиц  | нм                |
| $\alpha_4$    | Расстояние между наночастицами   | нм                |
| $\alpha_5$    | Концентрация наночастиц в жидкостях                                    | % масс.           |
| $\alpha_6$    | Коэффициент поверхностного натяжения наножидкости                      | $10^{-3}$ Н/м     |
| $\alpha_7$    | Коэффициент изменения удельного объемного электрического сопротивления |                   |
| $\alpha_8$    | Диэлектрическая проницаемость наножидкости                             |                   |
| $\alpha_9$    | Плотность базовой жидкости   | кг/м <sup>3</sup> |
| $\alpha_{10}$ | Коэффициент динамической вязкости базовых жидкостей                    | мПа/с             |
| $\alpha_{11}$ | Добротность наночастиц   |                   |
| $\alpha_{12}$ | Параметры прибора ПЧМП   | В                 |
| $\alpha_{13}$ | Теплопроводность базовых жидкостей                                     | Вт/м·К            |
| $\alpha_{14}$ | Удельная электрическая проводимость базовых жидкостей                  | См                |
| у             | Напряженность электрического поля                                      | кВ/м              |

Регрессионная задача состоит из пятнадцати переменных: четырнадцать независимых предикторов ( $\alpha_1 \dots \alpha_{14}$ ) и одна целевая зависимая переменная (у). Для создания модели применялась стратегия автоматизированной нейронной сети с размером подвыборок обучающей, тестовой и контрольной 70, 15 и 15 соответственно. Тип сети – многослойный персептрон, минимальное и максимальное количество скрытых нейронов – 5 и 10 соответственно. Количество обучающихся сетей – 25, количество сохраненных сетей – 10.

### Результаты и их обсуждение

Структура нейронной сети представляет собой алгоритм, где на входы нейрона подаются входные параметры (сигналы), которые суммируются, при этом учитывается значимость каждого входа (вес). Сеть формирует веса каждого сигнала входного параметра таким образом, чтобы значение целевой независимой переменной было близко к выходному фактору. Примерная структура нейронной сети представлена на рис. 1.

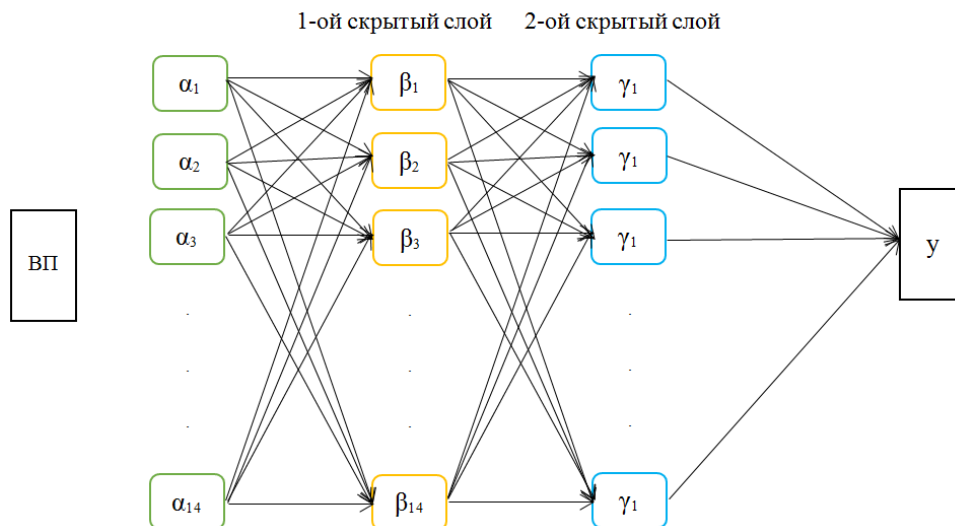


Рисунок 1. Структура нейронной сети

Из десяти сохраненных сетей выбрано три с минимальной ошибкой контрольной выборки (таблица 2). Данные модели являются наиболее «адекватными»

ми», что обусловлено большим значением обучающей производительности и минимальной контрольной ошибкой.

Таблица 2  
 Параметры сетей с минимальной ошибкой контрольной выборки

| Index | Net. name   | Training perf.   | Test perf.         | Validation perf. | Training error    |
|-------|-------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 3     | MLP 15-9-1  | 1,000000         | 0,999996           | 0,999993         | 0,000032          |
| 6     | MLP 15-12-1 | 1,000000         | 0,999993           | 0,999955         | 0,000058          |
| 7     | MLP 15-8-1  | 1,000000         | 0,999991           | 0,999995         | 0,000052          |
| Index | Test error  | Validation error | Training algorithm | Error function   | Hidden activation |
| 3     | 0,002777    | 0,001432         | BFGS 173           | SOS              | Tanh              |
| 6     | 0,003843    | 0,007332         | BFGS 176           | SOS              | Tanh              |
| 7     | 0,005348    | 0,000935         | BFGS 279           | SOS              | Exponential       |

Диаграмма рассеяния целевых значений выбранных сетей (3 MLP 15-9-1, 6 MLP 15-12-1, 7 MLP 15-8-1) и выход-

ного значения (y) отображает совпадение входных данных и целевой переменной (рис. 2).

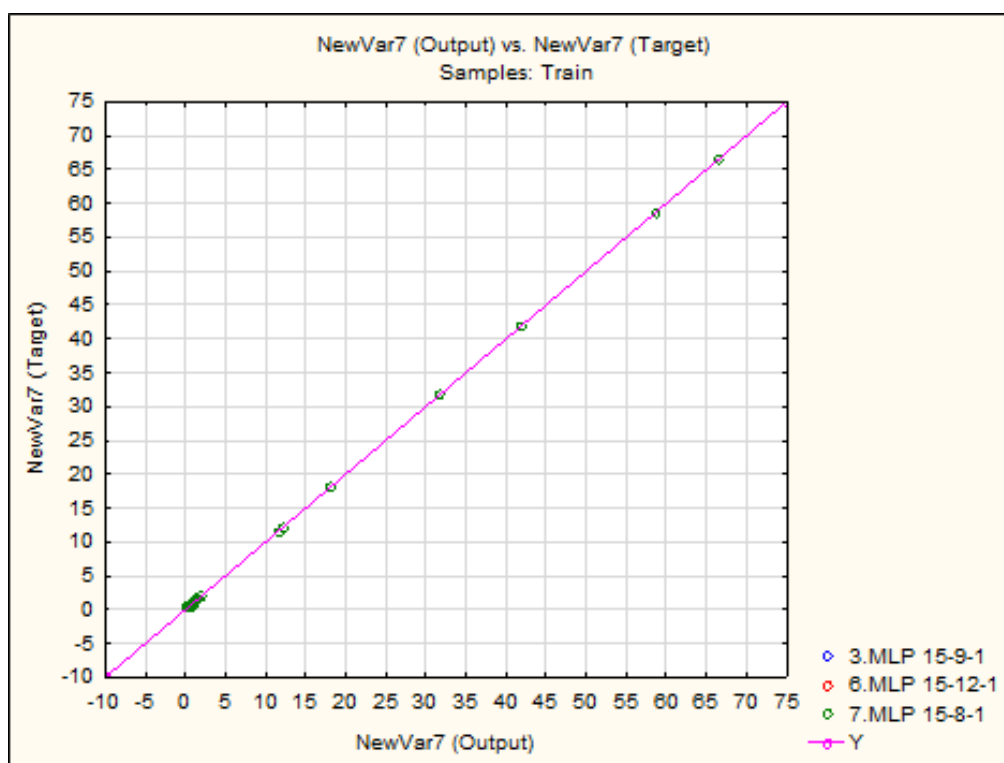


Рисунок 2. Диаграмма рассеяния полученных данных сетей

Анализ чувствительности переменных отражает важность входных параметров: добротность наночастиц ( $\alpha_{11}$ ), концентрация наночастиц в жидкостях ( $\alpha_5$ ), коэффициент динамической вязко-

сти базовых жидкостей ( $\alpha_{10}$ ), коэффициент поверхностного натяжения наножидкости ( $\alpha_6$ ), диэлектрическая проницаемость наножидкости ( $\alpha_8$ ) (табл. 3).

Таблица 3  
Анализ чувствительности переменных

| Ind. | Net. name   | Вклад переменных |               |               |               |            |               |               |
|------|-------------|------------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|
| 3    | MLP 15-9-1  | $\alpha_{11}$    | $\alpha_5$    | $\alpha_{10}$ | $\alpha_2$    | $\alpha_8$ | $\alpha_6$    | $\alpha_{12}$ |
|      |             | 2581324          | 1928357       | 945641,5      | 178712,4      | 165474,7   | 154298,5      | 119893,5      |
|      |             | $\alpha_{13}$    | $\alpha_9$    | $\alpha_4$    | $\alpha_{14}$ | $\alpha_3$ | $\alpha_{15}$ | $\alpha_7$    |
|      |             | 82367,64         | 47242,71      | 23703,15      | 9650,642      | 540,8475   | 352,4756      | 105,3805      |
| 6    | MLP 15-12-1 | $\alpha_{11}$    | $\alpha_5$    | $\alpha_{10}$ | $\alpha_6$    | $\alpha_8$ | $\alpha_{12}$ | $\alpha_2$    |
|      |             | 1466158          | 1352105       | 716374,4      | 247009,7      | 141365,3   | 101027,0      | 74214,37      |
|      |             | $\alpha_{13}$    | $\alpha_9$    | $\alpha_{14}$ | $\alpha_4$    | $\alpha_3$ | $\alpha_{15}$ | $\alpha_7$    |
|      |             | 46587,89         | 45800,26      | 24948,66      | 4618,172      | 377,3775   | 197,4941      | 45,45567      |
| 7    | MLP 15-8-1  | $\alpha_{11}$    | $\alpha_{10}$ | $\alpha_5$    | $\alpha_6$    | $\alpha_2$ | $\alpha_{12}$ | $\alpha_{13}$ |
|      |             | 3766139          | 2127698       | 1268187       | 345670,6      | 168333,2   | 143758,5      | 86916,33      |

|  |  |            |            |               |            |            |            |            |
|--|--|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|------------|
|  |  | $\alpha_9$ | $\alpha_8$ | $\alpha_{14}$ | $\alpha_4$ | $\alpha_3$ | $\alpha_7$ | $\alpha_5$ |
|  |  | 48105,73   | 26211,18   | 25045,16      | 13345,88   | 126,3924   | 56,24939   | 54,15148   |

Нейронная сеть 3 MLP 15-9-1 отражает данные с наименьшей ошибкой. Данная НС позволяет спрогнозировать процесс электризации жидких углеводородов, а также отображает зависимость

стабильности наножидкости от параметров MWCNT (диаметр агломераций, расстояние между ними, добротность, концентрация) (рис. 3- 5).

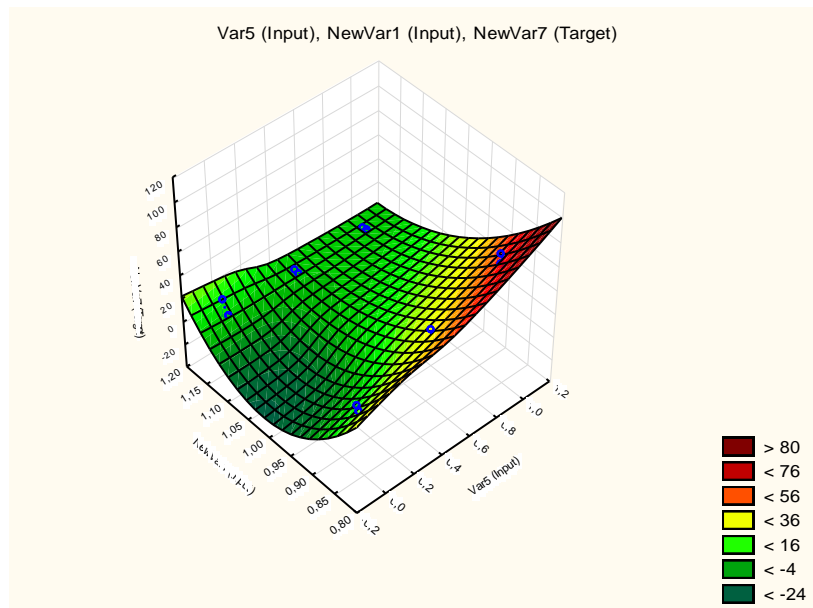


Рисунок 3. Зависимость напряженности электрического поля наножидкости от концентрации MWCNT в базовых жидкостях и добротности наночастиц

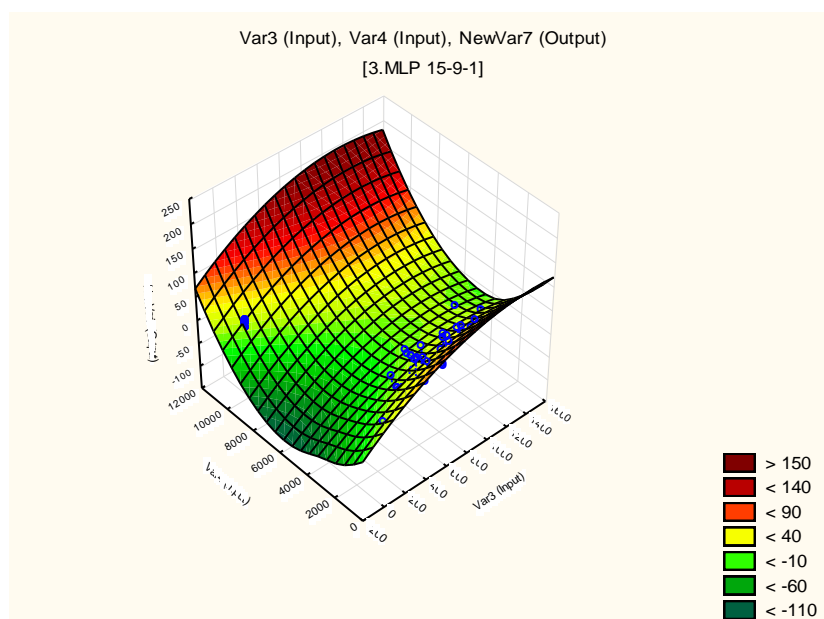


Рисунок 4. Зависимость напряженности электрического поля наножидкости от размера агломераций MWCNT и расстояния между ними

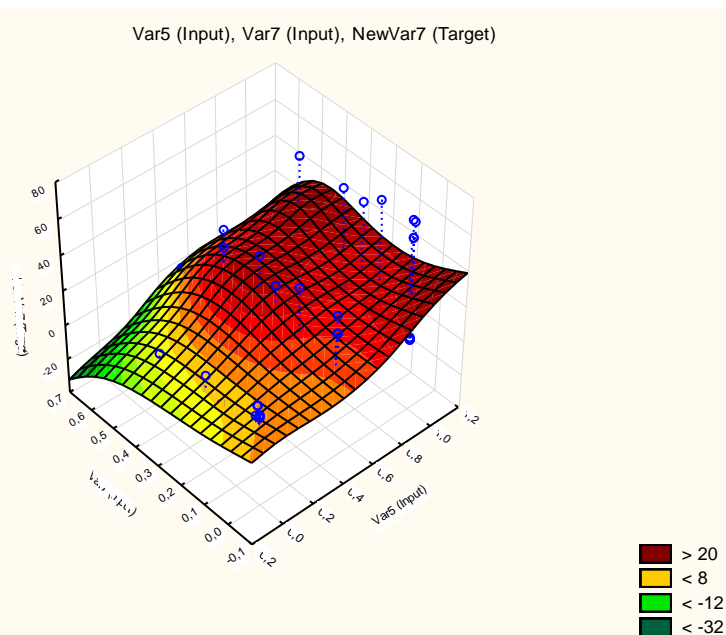


Рисунок 5. Зависимость напряженности электрического поля наножидкости от концентрации MWCNT в базовых жидкостях и удельного объемного электрического сопротивления наножидкости

### Выводы

Стабилизация наноструктур посредством электрофизического воздействия с параметрами ПЧМП, заключающегося в изменении дзета-потенциала наноструктур на границе раздела фаз жидкость-газ при воздействии ПЧМП, позволяет управлять параметрами MWCNT (диаметр агломераций, расстояние между ними).

В ходе нейросетевого моделирования выявлено, что факторами электризации жидких углеводородов при стабилизации наноструктур являются:

- добротность наночастиц;
- концентрация наночастиц в жидкостях;

- коэффициент динамической вязкости базовых жидкостей;
- коэффициент поверхностного натяжения наножидкости;
- диэлектрическая проницаемость наножидкости.

Нейросетевое моделирование процесса стабилизации углеродных наноструктур позволяет выявить экспериментальную зависимость между величинами расстояние между наноструктурами и их диаметр и диэлектрическая проницаемость и удельное объемное электрическое сопротивление жидкостей, что обеспечивает создание условий для снижения факторов пожарной опасности при обращении с жидкими углеводородами.

### Литература

1. Иванов А.В., Мифтахутдинова А.А., Нефедьев С.А., Симонова М.А., Маслаков М.Д. Условия стабилизации наноструктур для безопасной транспортировки легковоспламеняющихся жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 9. С. 35-43.
2. Иванов А.В., Ивахнюк Г.К., Емельянова А.Н. Исследование влияния углеродных нанотрубок на температуру вспышки керосина в условиях воздействия переменного частотно-модулированного потенциала // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 3 (27). С. 53-57.
3. Иванов А.В., Сорокин А.Ю., Ивахнюк Г.К., Демехин Ф.В. Управление электростатическими свойствами жидких углеводородов, модифицированных углеродными наноструктурами // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 7. С. 16-27.
4. Королев Д.С., Калач А.В., Каргашилов Д.В., Сорокина Ю.Н. Прогнозирование основных показателей пожаровзрывоопасности органических соединений с помощью дескрипторов и искусственных



нейронных сетей, используемых в расчете пожарного риска // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 9. С. 32-36.

5. Королев Д.С., Калач А.В., Каргашиллов Д.В. Прогнозирование температуры вспышки с помощью нейропакета КДС 1.0 на примере сложных эфиров масляной кислоты // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 3. С. 21-24.

6. Prabhu S., Uma M., Vinayagam B. K. Surface roughness prediction using Taguchi-fuzzy logic neural network analysis for CNT nanofluids based grinding process // Neural Computing and Applications. – 2015. – Т. 26. – №. 1. – С. 41-55. DOI: 10.1007/s00521-014-1696-8.

7. ГОСТ Р 55878-2013 Спирт этиловый технический гидролизный ректифицированный. Технические условия. М., 2014. 12 с.

8. ГОСТ 2768-84 Ацетон технический. Технические условия. М., 1984. 9 с.

9. ГОСТ 9410-78 Ксилол нефтяной. Технические условия. М., 1978. 8 с.

10. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика. М., 1978. 480 с.

11. Гусев Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии. Казань, 2008. 112 с.

12. ГОСТ ISO 6297-2015 Нефтепродукты. Топлива авиационные и дистиллятные. Определение удельной электропроводности. М., 2016. 8 с.

13. Елманов Г.Н., Логинов Б.А., Севрюков О.Н. Исследование топологии поверхности методом сканирующей атомно-силовой микроскопии. М., 2011. 64 с.

14. Иванов С.А., Уколов Д.С., Нурутдинов Г.Н., Таров В.П., Баронин Г.С. Исследование структурно-механических свойств твердофазных углеродсодержащих ПЭВП-нанокompозитов и прогнозирование результатов с помощью нейросетевых технологий // Вестник ТГУ. 2013. Т.18. №. 5. С. 2366-2368.

#### References

1. Ivanov A.V., Miftakhutdinova A.A., Nefediev S.A., Simonova M.A., Maslakov M.D. Usloviya stabilizatsii nanostruktur dlya bezopasnoy transportirovki legkovosplamenyayushchikhysya zhidkostey // Fire and explosion safety. - 2017. - Т. 26. - №. 9. - S. 35-43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.09.35-43.

2. Ivanov A.V., Ivakhnyuk G.K., Emelyanova A.N. Issledovaniye vliyaniya uglerodnykh nanotrubok na temperaturu vspyshki kerosina v usloviyakh vozdeystviya peremennogo chastotno-modulirovannogo potentsiala // Problems of Risk Management in the Technosphere. - 2013. - №. 3 (27). - S. 53-57.

3. Ivanov AV, Sorokin A.Yu., Ivakhnyuk GK, Demekhin F.V. Upravleniye elektrostatičeskimi svoystvami zhidkikh uglevodородov, modifitsirovannykh uglerodnymi nanostrukturami // Fire and explosion safety. - 2017. - Т. 26. - № 7. - S. 16-27. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.16-27.

4. Korolev D.S., Kalach A.V., Kargashilov D.V., Sorokina Yu.N. Prognozirovaniye osnovnykh pokazateley požarovzryvoopasnosti organicheskikh soyedineniy s pomoshch'yu deskriptorov i iskusstvennykh neyronnykh setey, ispol'zuyemykh v raschete požarnogo riska // Fire and explosion safety. - 2015. - Т. 24. - № 9. - S. 32-36. DOI: 10.18322/PVB.2015.24.09.32-38.

5. Korolev D.S., Kalach A.V., Kargashilov D.V. Prognozirovaniye temperatury vspyshki s pomoshch'yu neyropaketa KDS 1.0 na primere slozhnykh efirov maslyanoy kisloty // Fire and explosion safety. - 2016. - Т. 25. - № 3. - S. 21-24. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.21-26.

6. Prabhu S., Uma M., Vinayagam B. K. Surface roughness prediction using Taguchi-fuzzy logic neural network analysis for CNT nanofluids based grinding process // Neural Computing and Applications. – 2015. – Т. 26. – №. 1. – С. 41-55. DOI: 10.1007/s00521-014-1696-8.

7. GOST R 55878-2013 Spirt etilovyy tekhnicheskyy gidroliznyy rektifikovannyy. Tekhnicheskiye usloviya. М., 2014. - 12 s.

8. GOST 2768-84 Atseton tekhnicheskyy. Tekhnicheskiye usloviya. М., 1984. - 9 s.

9. GOST 9410-78 Ksilol neftyanoy. Tekhnicheskiye usloviya. М., 1978, - 8 s.

10. Kikoin A.K., Kikoin I.K. Molekulyarnaya fizika. М., 1978. 480 s.

11. Gusev YU. A. Osnovy dielektricheskoy spektroskopii. Kazan': KGU, 2008, - 112 s.

12. GOST ISO 6297-2015 Nefteprodukty. Topliva aviatsionnyye i distillyatnyye. Opredeleniye udel'noy elektroprovodnosti. М.: Standartinform, 2016. – 8 s.

13. Yelmanov G.N., Loginov B.A., Sevryukov O.N. Issledovaniye topologii poverkhnosti metodom skaniruyushchey atomno-silovoy mikroskopii. Moskva: NIYAU MIFI, 2011. — 64 с.

14. Ivanov S.A., Ukolov D.S., Nurutdinov G.N., Tarov V.P., Baronin G.S. Issledovaniye strukturno-mekhanicheskikh svoystv tverdogaznykh uglerodsoderzhashchikh PEVP-nanokompозитов i prognozirovaniye rezul'tatov s pomoshch'yu neyrosetevykh tekhnologiy // Vestnik TGU. - 2013. - Т.18. - №. 5. - S. - 2366-2368.