УДК 691.223 DOI: 10.69537/VKNIIRAN.2025.22.3.013

# ПРИМЕНЕНИЕ ПАВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДИСПЕРСНОСТИ ЦЕМЕНТА

**© Абдуллаев Абухан Магомедович**

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова
Российской академии наук

***Аннотация***. Установлена актуальность улучшения гранулометрического состава цемента применением современных методов. При очень сильном снижении поверхностного натяжения до величин приближенных к критическим, возможно самопроизвольное диспергирование системы в отсутствии внешних механических воздействий. На таком основании можно предположить, что замешивание грубодисперсных цементов с удельной поверхностью 1800-2800 см$^2$/г высокоэффективными ПАВ (Frem Giper S-TB) дают эффект повышения удельной поверхности цементного порошка в результате снижения поверхностного натяжения в водных растворах, что подтверждается проведенными исследованиями. Разными методами показано диспергирование цементного порошка под влиянием поверхностно-активных веществ (ПАВ). Оптимизация гранулометрического состава в результате применения ПАВ может быть использовано как энергосберегающий эффект с малыми энергозатратами и временем помола цемента на производстве.

***Ключевые слова:*** цемент, удельная поверхность, гранулометрия, диспергирование.

# THE USE OF SURFACTANTS TO OPTIMIZE THE DISPERSION OF CEMENT

**© Abdullaev Abukhan Magomedovich**

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences

***Abstract.*** The relevance of improving the granulometric composition of cement using modern methods has been established. With a very strong decrease in surface tension to values close to critical, spontaneous dispersion of the system is possible in the absence of external mechanical influences. On this basis, it can be assumed that mixing coarse-dispersed cements with a specific surface area of 1800-2800 cm2/g with highly effective surfactants (Frem Giper S-TB) has the effect of increasing the specific surface area of cement powder as a result of reducing surface tension in aqueous solutions, which is confirmed by the studies conducted. The dispersion of cement powder under the influence of surfactants has been shown by various methods. Optimization of the granulometric composition as a result of the use of surfactants can be used as an energy-saving effect with low energy consumption and cement grinding time in production.

***Key words:*** cement, specific surface area, granulometry, dispersion.

Повышение удельной поверхности цемента сопровождается улучшением физико-механических характеристик, в частности, увеличением прочности цементного камня. Наиболее эффективными для получения высоких показателей цементобетонных композитов считаются цементы со значениями удельной поверхности 4500-6000 $см^2/г$, дальнейшее увеличение этого параметра отрицательно влияет на прочность конечного продукта гидратации [1,2].

Современная цементная промышленность ориентирована на выпуске цементов с удельной поверхностью 3000-3500 $см^2/г$, но даже достижение таких параметров является достаточно энергозатратным. Очевидно, выпуск цемента с более высокой удельной поверхностью в заводских условиях является крайне нецелесообразным. С учетом таких ограничений, разработка методов по оптимизации удельной поверхности цементного порошка изменением ее гранулометрии, предлагаемая автором работы, является актуальной задачей. Необходимо отметить, что на поверхности цементных зерен на микроскопическом уровне наблюдаются микротрещины разных размеров [4-8].

При замешивании цементного теста обычная вода плохо проникает в микротрещины на поверхности зерен цемента из-за высокого поверхностного натяжения, в результате чего, в теле цементного камня могут оставаться непрогидратированные участки, или же при этом проигодратировалась только оболочка зерна самого вяжущего. В целях повышения проникающей способности воды затворения предлагается снижение ее поверхностного натяжения, что сопровождается утончением пленки воды. Для решения такой проблемы используют пластифицирующие добавки на поликарбоксилатной основе [9-15]. Поверхностно-активные молекулы, попадая в микротрещины и достигая мест, где ширина их равна размеру одной-двух молекул, стремятся своим давлением расклинить трещину. Это явление известно под названием адсорбционно-расклинивающего эффекта, что впервые было обнаружено и изучено академиком П.А. Ребиндером [3,16].

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что вопрос получения оптимального гранулометрического состава цемента и повышения его качественных характеристик достаточно слабо изучен. С учетом этого, для проведения исследований, авторами использовалась современная гиперпластифицирующая добавка Frem Giper S-TB, применяемая в подборе рецептуры высокопрочных бетонов.

Целью настоящей работы является улучшение диспергирования цементного порошка и цемента, изготовленного в лабораторных условиях применением ПАВ через функцию снижения поверхностного натяжения.

**Методы и материалы исследований.**

В представленной работе использован гиперпластификатор Frem Giper S-TB страна производитель Республика Беларусь. Для проведения экспериментальных исследований в качестве основного вяжущего применялся портландцемент АО «Чеченцемент» ЦЕМ I 42,5 Н, основные свойства используемого цемента приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Основные свойства цемента**

| Завод изготовитель и марка | Удельная поверхность $м^2/кг$ | НГ, % | Плотность, $кг/м^3$ | Сроки схватывания, час-мин. | | Активность, Мпа, 28 сут | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | начало | конец | сжатие | изгиб |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Чеченцемент ЦЕМ I42,5H | 330 | 25 | 3100 | 2-15 | 3-40 | 52,6 | 6,2 |

Контролируя на весах, в воду затворения микропипеткой DV 100 добавляли гиперпластификатор Frem Giper S-TB концентрацией 6% от массы воды, тщательно перемешивали на магнитной мешалке ПЭ-6110 в течение 1 минуты. В полученный раствор добавляли цементный порошок массой 10 г и с помощью лазерного анализатора частиц Horiba LB550 определяли размеры зерен и их динамику. Для получения микрофотографий использовали электронный микроскоп Quanta 3D 200i. Для измельчения клинкера и других компонентов использовали лабораторную шаровую мельницу РМ-100.

## Результаты и обсуждение

Исследование гранулометрического состава частиц, получаемого с применением в виде диспергирующего вещества смесь воды с гиперпластификаторами Frem Giper S-TB, были обнаружены размеры частиц цементов, а также определен факт появления в системе новых частиц разных размеров. После пропускания цементного порошка через сито, оставшееся количество зерен с размерами 100 и более мкм взвешивалось на электронных весах. Полученные зерна добавлялись в заранее приготовленную концентрированную смесь воды и гиперпластификатора. После перемешивания суспензия подвергалась анализу гранулометрии частиц. Полученные результаты представлены на рис. 1 и 2.

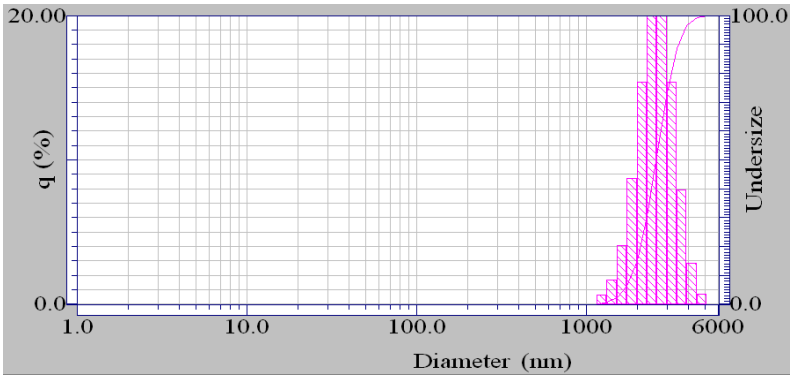


**Рис.1.** Размер частиц и их распределения в результате отслаивания от 100 мкм зерен цемента в воде. Размер частиц – 2571нм; динамика – 356

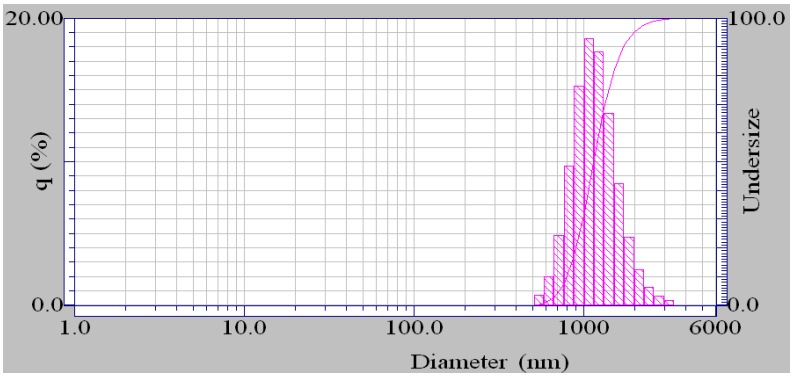


**Рис.2.** Размер частиц и их распределения в результате отслаивания от 100 мкм зерен цемента в воде с добавкой гиперпластификатора Frem Giper STB. Размер частиц – 1141; динамика – 1261

Результаты исследований частиц цемента на лазерном анализаторе HORIBA говорят о том, что после перемешивания 100 мкм зерен в жидкой концентрированной смеси воды с гиперпластификатором в отличие от использования чистой воды повышает динамику частиц в 3 раза. Средний размер частиц в результате добавки гиперпластификатора понижается в 2 раза. Высокая динамика объясняет улучшение отслаивания частиц от крупных 100 микронных зерен. Вероятно, повышение концентрации частиц при перемешивании с концентрированной жидкостью может припятствовать отслаиванию воды и образованию большого количества пор, свидетельством которому является работа [2].

Для более подробного описания такого процесса, при введении в воду затворения Frem Giper S-TB, по данным анализатора частиц, и сравнения результатов диспергирования зерен цемента сделаны снимки порошка обычного цемента и цемента, приготовленного измельчением в течение 4 минут клинкера с добавлением гипса и железных огарков в лабораторной шаровой мельнице РМ-100. Значение удельной поверхности данного цементного порошка не провышало 2000 г/см$^2$, тогда как в той же мельнице в течение 12 минут измельчения получается обыкновенный стандартный цемент со значением удельной поверхности 3100-3400 г/см$^2$. Ниже приведены микрофотографии двух цементов, сделанные на РЭМ.

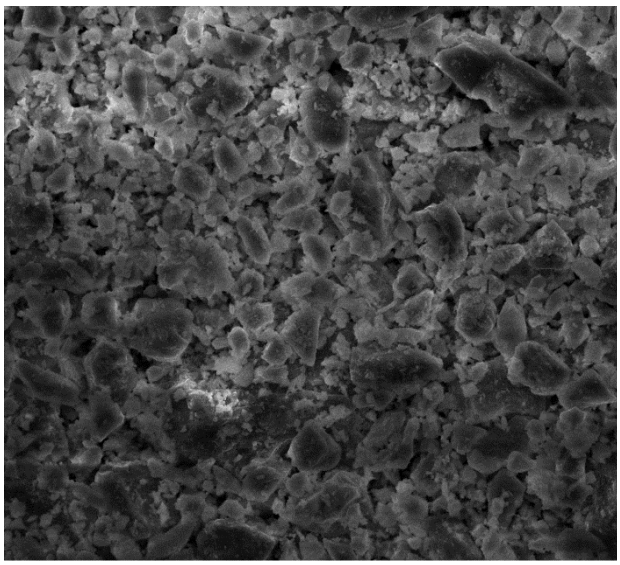

**Рис. 3.** Цемент $S_{уд}$=3200г/см$^2$

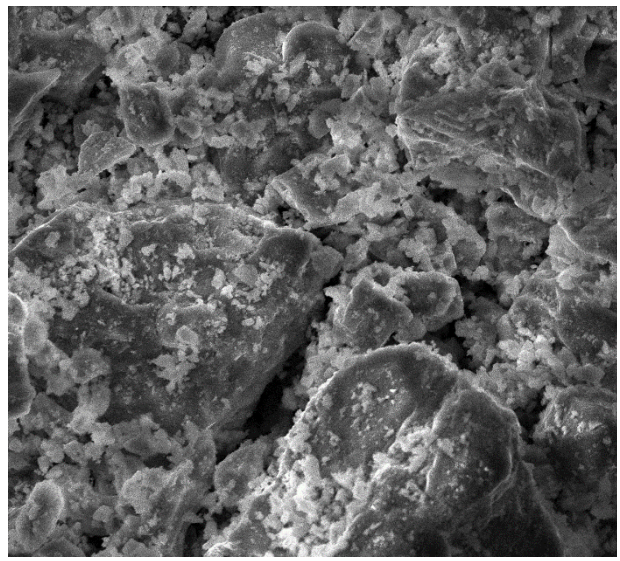

**Рис. 4.** Цемент $S_{уд}$=1600г/см$^2$

Образец цемента, изготовленный в течение 4 минут измельчения, отличается от цемента обычного присутствием в составе большого количества крупных зерен размерами 40-50 мкм. Для дальнейшего анализа и проверки эффекта диспергирования, полученного по данным анализатора частиц, в результате применения Frem Giper S-TB в воде, исследования проводили с использованием цементного порошка малого измельчения с удельной поверхностью 2000 г/см$^2$.

Получаемые суспензии на основе цементного порошка сразу после изготовления взбалтовали в течение 30 секунд, затем выливали в термостойкую стеклянную чашку, на дне которого распологались предметные стекла, и высушивали в сушильном шкафу при постоянной температуре 100$^0$С. Предметные стекла, на каторых высушены образцы

суспензий, ставили на столик для микроскопа и исследовали поверхности полученных образцов.

Микрофотографии частиц цементного порошка с удельной поверхностью 2000 г/см$^2$ диспергированного в обычной воде и в воде с Frem Giper S-TB, представлены на рисунках 5 и 6.

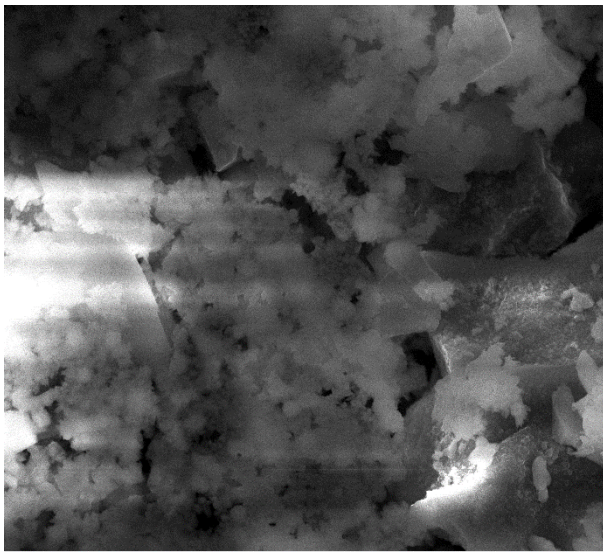

**Рис. 5.** Цемент (удельная поверхность 2000 г/см$^2$) диспергированный в дистиллированной воде

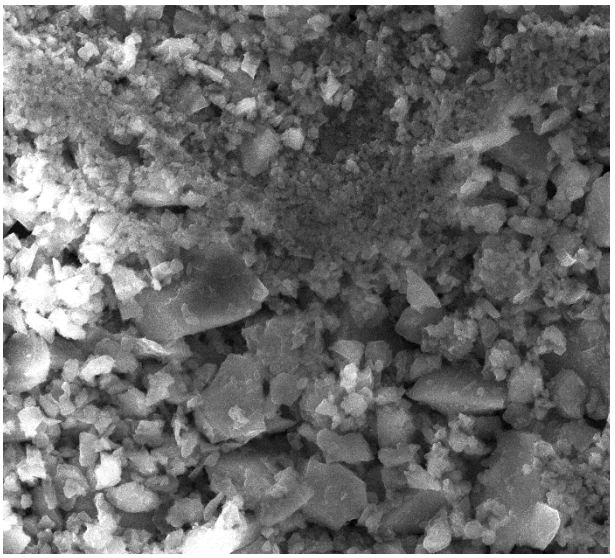

**Рис. 6.** Цемент (удельная поверхность 2000 г/см$^2$) диспергированный в воде с ПАВ(Frem Giper S-TB)

По снимкам рис. 5 и 6 видно, что результаты, полученные на анализаторе частиц, подтверждаются наличием большого количества более однородных размеров частиц. По микрофотографиям можно установить, что до модификации ПАВ зерна цемента имели неоднородный характер. На снимках, сделанных после модификацирования ПАВ (рис.6), ясно представлено, что исходные крупные зерна, которые можно наблюдать на первом снимке (рис.5.), уже отсутствуют. Поверхность образца равномерная, зерна цемента получили однородные и более мелкие размеры. Исследования на РЭМ позволяют сделать вывод о том, что модифицирование воды ПАВ дает мощный эффект диспергирования цементных зерен исходного порошка.

**Вывод:** по полученным результатам можно сделать вывод, что при очень сильном снижении поверхностного натяжения до величин приближенных к критическим, возможно самопроизвольное диспергирование системы в отсутствии внешних механических воздействий. На таком основании можно предположить, что замешивание грубодисперсных цементов с удельной поверхностью 1800-2800 см$^2$/г высокоэффективными ПАВ (Frem Giper S-TB) дают эффект повышения удельной поверхности цементного порошка в результате снижения поверхностного натяжения в водных растворах, что подтверждается проведенными исследованиями. Оптимизация гранулометрического состава в результате применения ПАВ может быть использована как энергосберегающий эффект с малыми энергозатратами и временем помола цемента на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пащенко А.А.-К.: Теория цемента. Будивельник. / 1991. 168 с.: ил.-ISBN 5-7705-0321-1.
2. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464с.
3. Справочник химика 21. Химия и химическая технология http://chem21.info/info/1484172/ (Электронный ресурс)
4. Абдуллаев М.А.В., Абдуллаев А.М., Абдуллаев Р.М. Высокопрочные мелкозернистые бетоны на основе комплексной нанодобавки. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 6 (786). С. 78-93. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-786-6-78-93
5. Абдуллаев Р.М., Абдуллаев М.А.В., Абдуллаев А.М. Основные свойства цементного камня с добавкой нано-порошка кремния Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 4 (15). С. 89-98. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2023.15.4.008
6. Межидов В.Х., Абдуллаев А.М. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗЕРЕН ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА ПРИ СОВМЕСТНОМ ПОМОЛЕ КЛИНКЕРА И ГИПСОВОГО КАМНЯ. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2017. № 3 (699). С. 5-13.
7. Абдуллаев А.М., Межидов В.Х. АДГЕЗИЯ ГИПСА НА КЛИНКЕРЕ В ПРОЦЕССЕ ИХ РАЗМОЛА. Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. № 9 (693). С. 50-59.
8. Муртазаев С.А.Ю., Батаев Д.К.С., Абдуллаев А.М., Сайдумов М.С., Аласханов А.Х. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНЫХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ. Научное обозрение. 2017. № 12. С. 6-11.
9. Жегера К.В., Лавров И.Ю., Трощев Д.В. Оптимизация синтеза наноструктурирующей добавки для применения в рабочей смеси 3D-принтера. Региональная архитектура и строительство. 2024;2(59):60-65. DOI: 10.54734/20722958
10. Жегера К.В., Дасаева Н.А. Разработка состава бетонной смеси с применением наноструктурирующей добавки для 3d-печати малых архитектурных форм. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2025. Т. 17. № 1. С. 14-22.
11. Козлова И.В., Дударева М.О. Варианты введения тонкодисперсной добавки на основе системы TIO2-BI2O3 в цементные композиции. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2024. Т. 16. № 2. С. 90-99.
12. Панин В.Е., Дерюгин Е.Е., Кульков С.Н. Мезомеханика упрочнения материалов нанодисперсными включениями // Прикладная механика и техническая физика, 2010. №4. С. 127-142.
13. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высокопрочные бетоны/ М.: изд. Ассоциации строительных вузов. 2006. 368 с.
14. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. - 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1989. 188с.
15. Рамачандран В. Добавки к бетону: Пер. с англ. Т.И. Розенберг, С.А. Болдырева; Под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат, 1988. 563 с.

16. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах // Физикохимическая механика. Москва: Наука, 1979, С. 246-250.

REFERENCES

1. Pashchenko A.A.-K.: Theory of cement. Budivelnik. / 1991. 168 p.: ill.-ISBN 5-7705-0321-1.
2. Akhverdov I.N. Fundamentals of concrete physics. Moscow: Stroyizdat, 1981. 464c.
3. Handbook of chemistry 21. Chemistry and chemical technology http://chem21.info/info/1484172 / (Electronic resource)
4. Abdullaev M.A.V., Abdullaev A.M., Abdullaev R.M. High-strength fine-grained concretes based on complex nano-additives. News of higher educational institutions. Construction. 2024. No. 6 (786). pp. 78-93. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-786-6-78-93
5. Abdullaev R.M., Abdullaev M.A.V., Abdullaev A.M. Basic properties of cement stone with the addition of nano-silicon powder Bulletin of the Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Series: Natural and technical sciences. 2023. No. 4 (15). pp. 89-98. DOI: 10.34824/VKNIIRAN.2023.15.4.008
6. Mezhidov V.Kh., Abdullaev A.M. FEATURES OF THE FORMATION OF PORTLAND CEMENT GRAINS DURING THE COMBINED GRINDING OF CLINKER AND GYPSUM STONE. News of higher educational institutions. Construction. 2017. No. 3 (699). pp. 5-13.
7. Abdullaev A.M., Mezhidov V.H. ADHESION OF GYPSUM TO CLINKER IN THE PROCESS OF THEIR GRINDING. News of higher educational institutions. Construction. 2016. No. 9 (693). PP. 50-59.
8. Murtazaev S.A.Yu., Bataev D.K.S., Abdullaev A.M., Saidumov M.S., Alaskhanov A.H. HIGH-STRENGTH CEMENT COMPOSITES USING COMPLEX ADDITIVES BASED ON NANOSTRUCTURED MINERAL COMPONENTS. Scientific review. 2017. No. 12. pp. 6-11.
9. Zhegera K.V., Lavrov I.Yu., Troshchev D.V. Optimization of the synthesis of a nanostructuring additive for use in the working mixture of a 3D printer. Regional architecture and construction. 2024;2(59):60-65. DOI: 10.54734/20722958
10. Zhegera K.V., Dasaeva N.A. Development of the composition of a concrete mixture using a nanostructuring additive for 3d printing of small architectural forms. Nano-technologies in construction: scientific online journal. 2025. Vol. 17. No. 1. pp. 14-22.
11. Kozlova I.V., Dudareva M.O. Options for introducing a finely dispersed additive based on the TIO2-BI2O3 system into cement compositions. Nanotechnology in construction: a scientific online journal. 2024. Vol. 16. No. 2. pp. 90-99.
12. Panin V.E., Deryugin E.E., Kulkov S.N. Mesomechanics of hardening materials with nanodisperse inclusions // Applied Mechanics and Technical Physics, 2010. No. 4. pp. 127-142.
13. Bazhenov Yu.M., Demyanova V.S., Kalashnikov V.I. Modified high-strength concretes/ M.: ed. Associations of construction universities. 2006. 368 p.
14. Ratinov V.B., Rosenberg T.I. Additives in concrete. - 2nd ed., revised. Moscow: Stroyizdat, 1989. 188 p.
15. Ramachandran V. Additives to concrete: Translated from English by T.I. Rosenberg, S.A. Boldyreva; Edited by A.S. Boldyrev and V.B. Ratinov. Moscow: Stroyizdat, 1988. 563 p.

16. Rebinder P.A. Surface phenomena in dispersed systems // Physico-chemical mechanics. Moscow: Nauka Publ., 1979. Pp. 246-250.