

Анализ ультразвукового воздействия на растворы затворения и степень гидрофобизации твердой фазы в суспензиях строительного назначения

Н.Г. Вилкова¹, С.И. Мишина²

¹ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

² Пензенский государственный университет

Аннотация: Проведен анализ ультразвукового воздействия на растворы затворения и гидрофобизацию твердой фазы в суспензиях строительного назначения. Показано, что ультразвуковая обработка приводит к увеличению массового содержания частиц радиусом 2-7 мкм в растворе затворения, что способствует повышению относительного предела прочности полученных на его основе образцов. Ультразвуковая обработка суспензий с одинаковой относительной степенью гидрофобизации твердой поверхности приводила к различным краевым углами смачивания твердых частиц: $\Theta = 12^\circ, 45^\circ, 93^\circ, 69,4^\circ$ для частиц глины, цемента и кремнезема. Ультразвук приводит к значительному уменьшению объемной доли жидкости в трехфазной пене, стабилизированной частицами гидрофобизованной глины, по сравнению с процессом синерезиса в гравитационном поле.
Ключевые слова: трехфазная пена, суспензия кремнезема, глина, ультразвук, раствор затворения.

Использование ультразвука в различных сферах научной и практической деятельности: медицине, геофизике, строительном производстве, пищевой промышленности получило особое распространение в 80-е годы прошлого века, что было обусловлено важностью процесса с коммерческой точки зрения. Последние разработки в науке и технологии ультразвука в сферах неразрушающих методов контроля и оценки качества материала открывают новые возможности для его применения [1-3]. Частота ультразвуковых колебаний в зависимости от технологического процесса изменяется от 10^4 до 10^5 Гц [2]. Обработка ультразвуком суспензий твердых частиц приводит к диспергированию исходных крупных агрегатов, а повешение дисперсности обеспечивает необходимое изменение физико-химических свойств полученного материала. Получение монодисперсных частиц одинаковой формы приводит к снижению дефектов структуры полученного материала. Так керамические образцы, в технологии

изготовления которых одним из этапов значилась ультразвуковая обработка, показывали более плотную и однородную структуры и, как следствие, повышение механической прочности. Прочность на сжатие таких образцов достигала $120 \cdot 10^6$ Па [4]. На процесс диспергирования влияет поверхностное натяжение. Введение ПАВ до 1% позволяет стабилизировать диспергированные агломераты с сохранением их размеров после сушки суспензии [5]. Необходимо отметить, что одной из важных задач в производстве строительных материалов является их устойчивость к воздействиям влаги. Получение однородных в объеме гидрофобных материалов представляет научный интерес. Перспективным является использование ультразвука на различных стадиях приготовления материала и его гидрофобизации. В настоящее время развивается метод получения новых материалов в металлургии вспениванием порошков в присутствии поверхностно-активных веществ [6, 7].

Целью работы является разработка методов и анализ ультразвукового воздействия на дисперсные системы (пены и суспензии веществ, активно применяемых в строительном производстве) и качество полученного материала.

Методы исследования

1. Ультразвуковая обработка исследуемых суспензий

Для проведения ультразвуковой обработки дисперсных систем использовали технологический аппарат «Волна» модели УЗТА-0,4/22-ОМ (производитель ООО «Центр ультразвуковых технологий» г. Бийск).

2. Волновое воздействие на трехфазные пены

Кратность пены (K_n) при ультразвуковом воздействии определяли с помощью ячейки, схема которой представлена на рис. 1. Она состоит из стеклянного стакана объемом 500 мл, ультразвукового устройства и никелевых электродов, подключенных к кондуктометру (рис. 1).

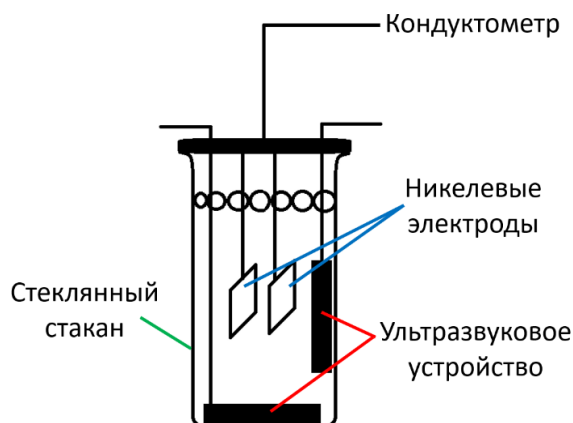


Рис. 1. – Ячейка для исследования кратности пен при ультразвуковом воздействии

3. Определение фракционного состава суспензий

Фракционный состав исходных суспензий и полученных после волновой обработки определяли методом седиментации.

4. Расчет относительной степени гидрофобизации твердой поверхности

Относительную степень гидрофобизации частиц твердой фазы рассчитывали по формуле $n_g = C/m$, где C – исходная молярная концентрация ПАВ-модификатора; m – масса твердых частиц в водной суспензии.

5. Получение трехфазных пен

Пену получали взбиванием механической мешалкой исходной суспензии в стеклянном стакане объемом 500 мл. Кратность дисперсной системы определялась по уравнению: $K_n = \frac{J_0}{J} V$, где J_0 – электрическая проводимость суспензии, J – проводимость пены, $V = 1,5-3$.

Результаты и обсуждение

1. Диспергирование суспензий

Изменение фракционного состава суспензии, содержащей 0,33% кремнезема (Аэросил-380) при ультразвуковом воздействии представлено на рис. 2.

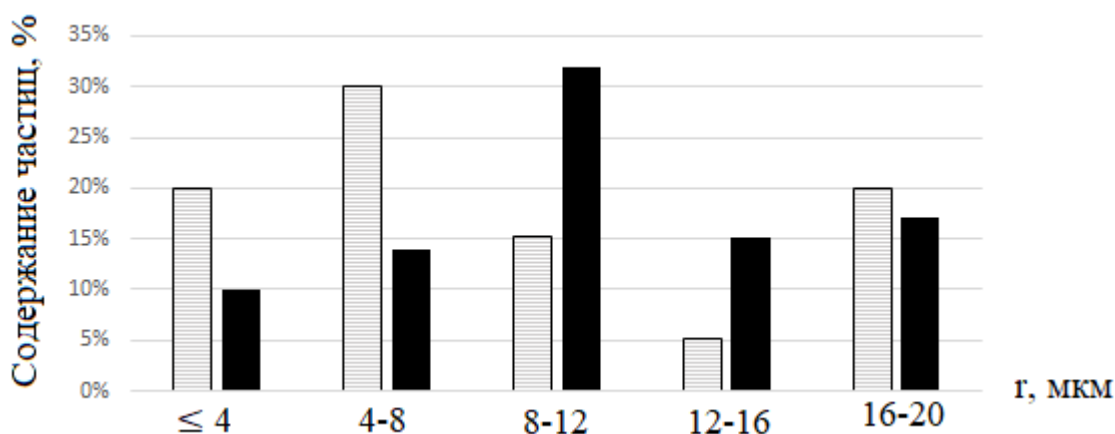


Рис. 2. – Фракционный состав суспензии, содержащей 0,33% кремнезема:

■ – исходная суспензия; □ – после обработки ультразвуком.

Ультразвуковая обработка суспензии кремнезема приводила к увеличению фракции с мелкими частицами (4-8 мкм) и уменьшению содержания крупных частиц. Увеличение концентрации модификатора катионного ПАВ гексиламина до концентрации 8,3 мМ в обработанной ультразвуком суспензии не вызывало укрупнения частиц, на агрегаты размером 4-8 мкм приходилось до 90% всех частиц твердой фазы. Подобное влияние ультразвука на суспензию цемента описано в работе [8].

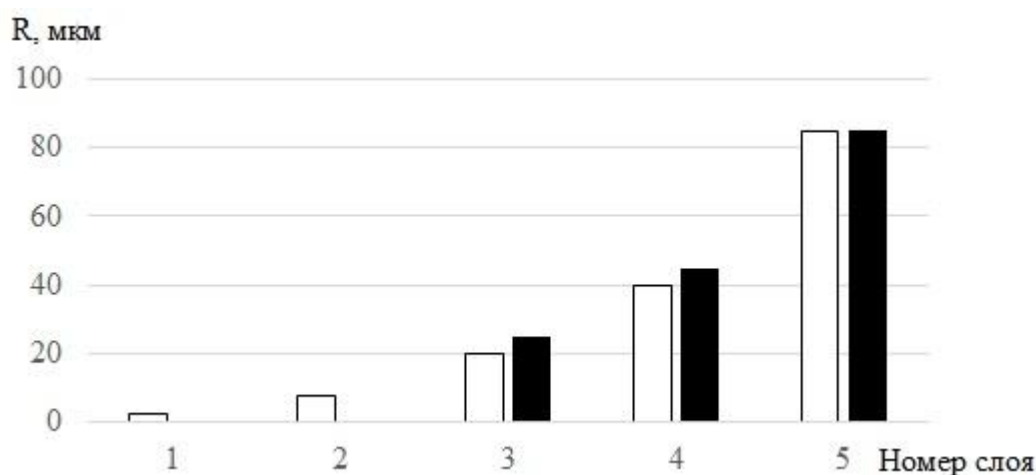


Рис. 3. – Оценка размеров агрегатов частиц в разных слоях суспензии цемента: ■ – исходная суспензия; □ – после обработки ультразвуком

Оценка воздействия ультразвука на расклинивающее действие маточного раствора цемента осуществлялась на основе седиментационного

анализа. Слой жидкости делили по высоте на пять частей, и в каждом слое проводилась оценка фракционного состава (рис. 3).

Обработка суспензий ультразвуком приводила к появлению новых фракций с мелкими частицами 2,25 и 7,5 мкм. Помимо этого, наблюдалось изменение процентного содержания фракций (рис. 4).

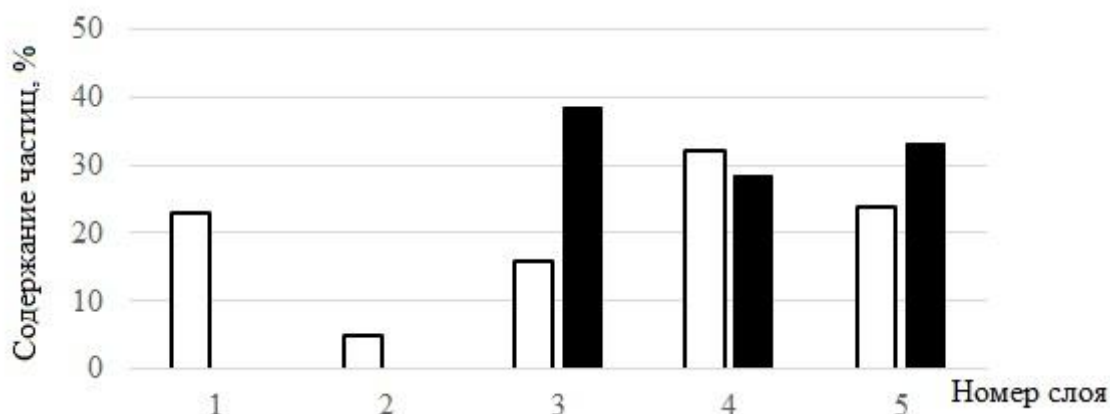


Рис. 4. – Послойное содержание частиц в суспензии цемента:

■ – исходная суспензия; □ – после обработки ультразвуком

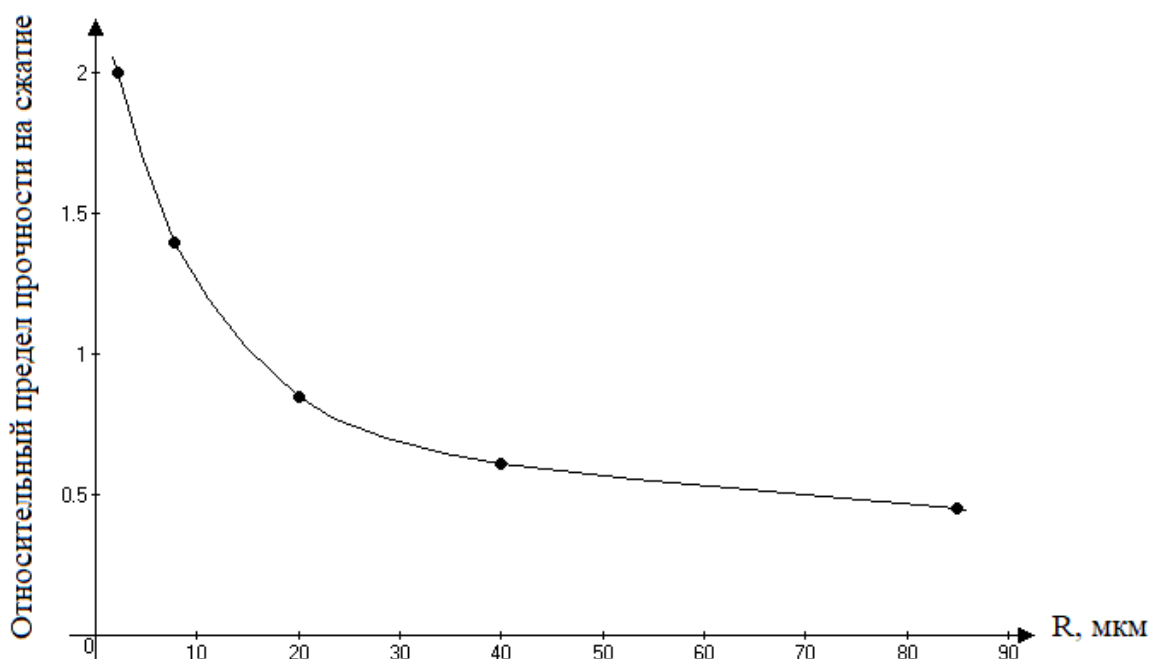


Рис. 5. – Относительный предел прочности цементного камня как функция радиуса частиц в воде затворения

Диспергирование частиц цемента до более мелких размеров, а, следовательно, возрастание площади поверхности твердой фазы, приводит к увеличению механической прочности строительных материалов на гидравлическом вяжущем.

Существенное влияние ультразвуковая обработка и введение мелкокристаллических затравок цемента (размером 2,25 мкм) оказывает на второй период твердения. Были проведены испытания цементного камня на прочность. Результаты испытаний представлены на рис. 5. Относительный предел прочности на сжатие образцов цементного камня изготовленных на первом слое маточного раствора и размером частиц $R = 2,25$ мкм почти в 2 раза выше прочности образцов изготовленных на пятом слое $R = 85$ мкм.

2. Ультразвуковая обработка суспензий и гидрофобизация частиц твердой фазы

Изучение процесса ультразвукового диспергирования и гидрофобизации частиц твердой фазы, которые составляют основу строительных материалов (глины, цемента, кремнезема) и изучение в качестве перспективных моделей трехфазных пен, полученных на их основе открывает широкие возможности как для повышения качества строительных материалов (пенобетона), так и для получения новых с улучшенными свойствами (однородной объемной структурой, равномерным гидрофобным покрытием, повышенной водостойкостью и др.). Процесс гидрофобизации частиц различной химической природы для получения устойчивых трехфазных пен изучался в работах [9, 10]. Краевой угол смачивания поверхности частиц, соответствующий максимальной гидрофобизации, не превышал 54° .

Нами проведена ультразвуковая обработка водных суспензий кремнезема, глины и цемента с последующей обработкой частиц твердой

фазы раствором гексиламина с целью их гидрофобизации. Оценка краевых углов смачивания поверхности кремнезема представлена в таблице 1.

Таблица № 1

Краевые углы смачивания поверхности частиц Аэросила (2%)

$C_{\text{ПАВ}}, \text{ М}$	0, 015	0,025	0,046
$\theta, ^\circ$	44,4	69,4	88,5

Таким образом, предварительная обработка суспензии ультразвуком и дальнейшая гидрофобизация гексиламином позволила повысить значение краевого угла до 88,5 градуса.

В таблице 2 показана зависимость краевого угла при ультразвуковой обработке суспензий глины и цемента (массовой содержание частиц в суспензии 1%), модифицированных гексиламином, от концентрации ПАВ.

Таблица № 2

Зависимость краевого угла смачивания глины (опыты 1-4) и цемента (опыты 5-7) от концентрации ПАВ

№ опыта	Время обработки, мин	$C_{\text{ПАВ}}, \text{ М}$	$n_g, \text{ ммоль/г}$	$\theta^0,$
1	10	0,015	1,5	12,0
2	10	0,030	3	17,9
3	10	0,050	5	20,8
4	20	0,060	5	28,8
5	10	0,015	1,5	45,9
6	10	0,030	3	43,5
7	10	0,060	6	42,2

Как видно из приведенной таблицы, изменение времени ультразвукового воздействия и повышение относительной степени гидрофобизации твердой поверхности приводило к увеличению краевого угла смачивания частиц глины. Однако поверхность глины оставалась более

гидрофильной по сравнению с поверхностью чистого аэросила и цемента при изменении степени гидрофобизации твердой фазы от 1,27 ммоль/л до 1,5 ммоль/л. В частности, при изменении концентрации гексиламина от 25,3 ммоль/л до 30 ммоль/л и времени обработки ($\tau=10$ минутам) краевой угол составлял $\Theta=12^{\circ}$ ($n_g=1,5$ ммоль/л) для частиц глины, $\Theta=45,93^{\circ}$ ($n_g=1,5$ ммоль/л) для частиц цемента и $\Theta=69,4^{\circ}$ ($n_g=1,27$ ммоль/л) для частиц кремнезема). Таким образом, установлено, что при одной и той же концентрации гексиламина и одинаковом времени обработки суспензии ультразвуком поверхность частиц кремнезема характеризуется более высокими значениями Θ по сравнению с поверхностью частиц глины, что, возможно, обусловлены различной степенью гидрофобизации отличающихся по строению и свойствам участков в указанных материалах.

3. *Осушение трехфазных пен при ультразвуковом воздействии на дисперсную систему*

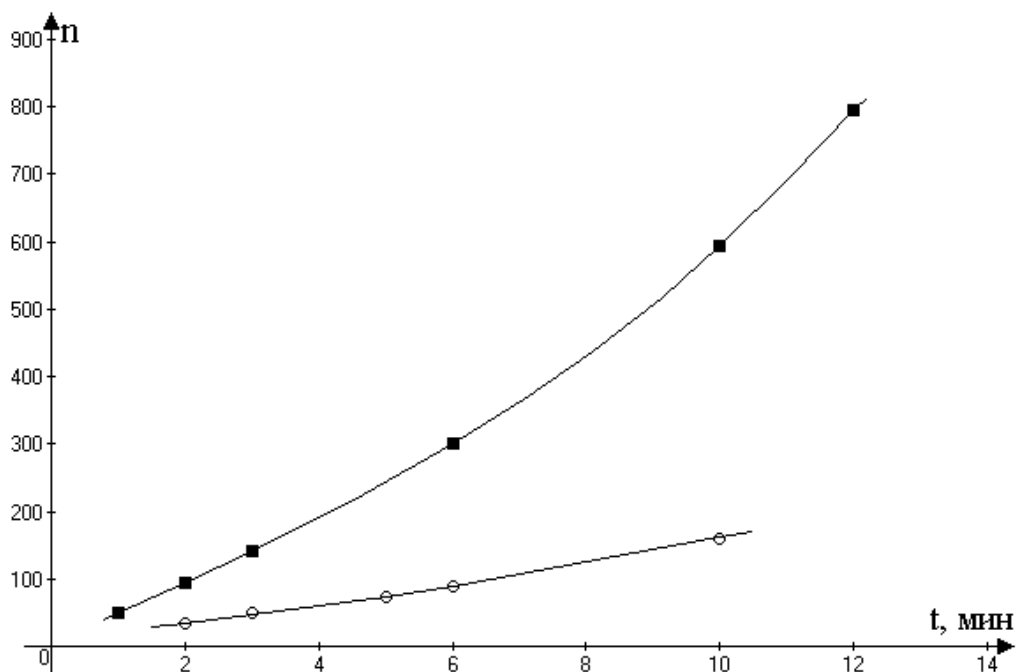


Рис. 7. – Зависимость кратности от времени для пены состава децилсульфат натрия + 0,1 М хлорид натрия + 0,1% глины:

○ – без волнового воздействия; ■ – при волновом воздействии

Нами исследовано влияние ультразвука на процесс синерезиса пен Пикеринга при волновом воздействии. В частности, на рисунке 4 представлено изменение объемной доли жидкости в пене, полученной из суспензии децилсульфат натрия +0,1 М хлорид натрия + 0,1% глины. Кратность данного образца увеличивалась в три раза (начальная кратность 45) за десять минут при синерезисе в гравитационном поле. При ультразвуковой обработке образца пены наблюдалось увеличение кратности более чем в десять раз за тот же период. Кратность дисперсной системы менялась от $n=100$ на второй минуте до $n = 800$ на 12 минуте. Отметим, что при волновом воздействии помимо ускоренного вытекания жидкости из пены происходит быстрая перестройка элементарных пенных ячеек от шаровых до структуры в виде многогранников, что, возможно, и является причинами быстрой деструкции пен Пикеринга под действием ультразвука.

Выводы

1. Увеличение дисперсности частиц в результате ультразвукового воздействия и использование их в растворе затворения повышают относительную прочность образцов на сжатие.
2. Поверхность частиц Аэросила характеризуется большими значениями углов смачивания по сравнению с частицами глины при сохранении концентрации ПАВ и времени обработки суспензии ультразвуком.
3. Ультразвук приводит к ускоренному (по сравнению с процессом синерезиса в гравитационном поле) осушению трехфазной пены, стабилизированной частицами гидрофобизованной глины.

Литература

1. Фокин Г.А., Гуськов А.С, Вилкова Н.Г. Ультразвук в строительстве. Пенза: ПГУАС, 2017. 317 с.
2. Афанасьева В.Ф. Магнитная обработка воды при производстве сборного железобетона // Бетон и железобетон. 1993. №11. С. 1-9.

3. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1980. 472 с.

4. Бабаханова З.А., Абдиева Ф.И., Шералиева М.А. Изучение ультразвукового воздействия на процессы получения ультрадисперсных керамических суспензий // Universum: технические науки: электронный научный журнал, 2020, 10(79). URL: universum.com/ru/tech/archive/item/10770

5. Зуев Ю.С., Приб И.А. Особенности керамики, синтезированной на основе наноструктурных порошков Al_2O_3 , подвергнутых ультразвуковой обработке // Глобальная ядерная безопасность. 2014. №1(10). С. 16–24.

6. Kennedy A.R. The effect of compaction density on the foamability of Al-TiH₂ powder compacts // Powder Metallurgy. 2002. V. 45. № 1. pp. 75-79.

7. Kennedy A.R. Aspects of the reproducibility of mechanical properties in Al based foams // Journal of Materials Science. 2004. V. 39. pp. 3085-3088.

8. Фокин Г.А., Гуськов А.С. Ускорение реакции твердения вяжущего низкочастотным ультразвуковым полем // Региональная архитектура и строительство. 2013. №17. С. 62-66.

9. Нуштаева А.В., Вилкова Н.Г. Гидрофобизация частиц кремнезема различными катионными поверхностноактивными веществами // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2021. Т.63. № 3. С. 22-29.

10. Vilkova N.G., Mishina S.I. The Effect of Organic Liquids on the Stability of the Films and Foams Stabilized by Surfactants of Various Types // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. V.10 (1). pp. 1896-1902.

References

1. Fokin G.A., Guskov A.S., Vilkova N.G. Ul'trazvuk v stroitel'stve [Ultrasound in construction]. Penza: PGUAS, 2017. 317 p.

2. Afanas'yeva V.F. Beton i zhelezobeton. 1993. №11. pp. 1-9.



3. Butt YU.M. Khimicheskaya tekhnologiya vyazhushchikh materialov [Chemical technology of binders]. M.: Vysshaya shkola, 1980. 472 p.
4. Babakhanova Z.A., Abdiyeva F.I., Sheraliyeva M.A. Universum: tekhnicheskiye nauki: elektronnyj nauchnyj zhurnal, 2020, 10(79). URL: [7universum.com/ru/tech/archive/item/10770](http://universum.com/ru/tech/archive/item/10770)
5. Zuyev YU.S., Prib I.A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2014. №1 (10). pp. 16–24.
6. Kennedy A.R. Powder Metallurgy. 2002. V. 45. № 1. pp. 75-79.
7. Kennedy A.R. Journal of Materials Science. 2004. V. 39. pp. 3085-3088.
8. Fokin G.A., Gus'kov A.S. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2013. №17. pp. 62-66.
9. Nushtayeva A.V., Vilkova N.G. Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2021. V.63. № 3. pp. 22-29.15.
10. Vilkova N.G., Mishina S.I. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. V.10 (1). pp. 1896-1902.

Дата поступления: 8.09.2024

Дата публикации: 17.10.2024