

2. *Новые* высокотехнологичные композиционные термопласты для перспективных моделей автомобилей ВАЗ / М. Л. Кацевман [и др.] // Пластические массы. – 2006. – № 10. – С. 26–28.

3. *Whites, K.* Wave computation of constitutive parameters for lossless composite chiral materials / K. Whites, W. Full // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 1995. – Vol. 43, № 4. – P. 376–384.

4. *Жигун, И. П.* Свойства пространственно-армированных пластиков / И. П. Жигун, В. А. Поляков. – Рига : Зинатне, 1978. – 215 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИЙ БАЗАЛЬТОВОЕ ВОЛОКНО – ПЛАСТИФИКАТОР – Порообразователь – УПРОЧНЯЮЩИЙ АГЕНТ, СФОРМИРОВАННЫХ РАДИАЛЬНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

**Е. Е. Петюшик¹, И. В. Фомихина¹, Л. В. Маркова¹,
Т. В. Гамзелева¹, А. А. Дробыш², Т. Е. Евтухова²**

*¹Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа,
г. Минск, Беларусь, тел.: +375 (17) 292-85-81, e-mail: isctr@tut.by*

*²Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, тел.: +375 (29) 678-01-06, e-mail: ipf-ipo@bntu.by*

Введение. Уровень современной техники требует все более широкого применения различных средств и способов, улучшающих качество пористых материалов. Для расширения области применения керамических пористых композиционных материалов (КПМ) стоит задача существенного повышения проницаемости при сохранении достаточной прочности. Керамика на основе дисперсных волокон характеризуется малым удельным весом в сочетании с повышенной прочностью, теплопроводностью, устойчивостью относительно тепловых ударов. Предположительно, создание КПМ на основе базальтовых волокон к указанным выше преимуществам добавит и увеличение коэффициента проницаемости [1, 2]. Однако ассортимент волокон, пригодных

для создания технологически прочной керамики, ограниченными свойствами исходного материала. При производстве базальтовых волокон в качестве сырья используются горные породы, химический состав которых близок по составу к алюмосиликатным порошкам: SiO_2 – 47,5–55,0 мас.%; Al_2O_3 – 14,0–20,0 мас.%. Как было доказано ранее, спекание подобной композиции будет происходить с участием жидкой фазы. Таким образом, могут создаваться пористые материалы, характеризующиеся композиционной структурой, на основе волокнистой матрицы – КПМ. Пористые композиционные материалы на основе базальтовых волокон ранее не создавались [3, 4].

Отличительной особенностью КПМ является то, что регулирование фильтрующих характеристик осуществляется не только объемным соотношением базальтовой матрицы и порообразователя, но и характером взаимного расположения волокон, которое определяется технологическими режимами формования изделия, а также соотношением и структурой исходных компонентов [5].

Цель работы – установить закономерность структурообразования композиций базальтовое волокно – пластификатор – порообразователь – упрочняющий агент, сформированных радиальным прессованием с последующим спеканием.

Задача исследования – изучить закономерность формирования структуры и состава и механических свойств пористых композиционных материалов на основе базальтовых волокон, сформированных радиальным прессованием с последующим спеканием.

Материалы и методика исследования. Формирование керамических композиций осуществляли путем добавления к базальтовому волокну 10 и 15 % Fe_2O_3 или 2 и 4 % MnO в качестве упрочняющего агента, а также пластификатора и порообразователя. Радиальное прессование проводили при давлении прессования 40 МПа. Композиции спекали при температурах 1050, 1075, 1100 и 1125 °С. В данной статье помещены результаты исследования композиций после прессования с последующим спеканием при температуре 1100 °С. Результаты, полученные при других температурах, представлены в статьях [6, 7]. Исследование морфологических особенностей исследуемых образцов про-

водили на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения Mira фирмы Tescan (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором AZtec фирмы Oxford Instruments Analytical (Великобритания). Исследование фазового состава выполняли на рентгеновском дифрактометре Ultima IV (Rigaku) в Cu-K α -излучении с вращением образца в собственной плоскости.

Испытание на сжатие осуществляли на универсальной испытательной машине Tinius Olsen H150K-U (Англия). Погрешность измерения составила 1 %.

Результаты и их обсуждение. Морфология поверхности и диаграммы сжатия композиций на основе базальтового волокна

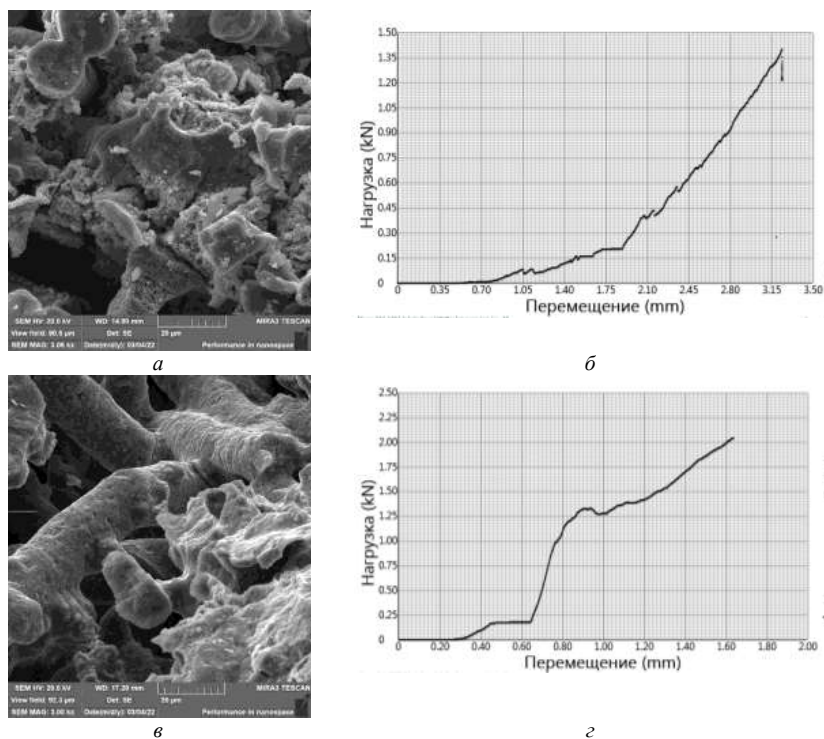


Рис. 1. Морфология поверхности и диаграммы сжатия образцов композиций на основе базальтового волокна с добавлением 10 % Fe₂O₃ (а, б) и 15 % Fe₂O₃ (в, г) после спекания при температуре 1100 °С

на с 10 и 15 % Fe_2O_3 после спекания при температуре 1100 °С приведены на рис. 1.

Результаты испытания на сжатие показали, что образцы композиций на основе базальтового волокна с 10 % Fe_2O_3 после спекания при температуре 1100 °С имеют предел прочности на сжатие 2–4 МПа, а с 15 % Fe_2O_3 – 4–6 МПа.

По данным микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализа определено, что за счет расплавления базальтового волокна и взаимодействия с упрочняющим компонентом Fe_2O_3 на поверхности композитов образуется мелкодисперсная структура, состоящая из фаз на основе алюмосиликатов $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$,

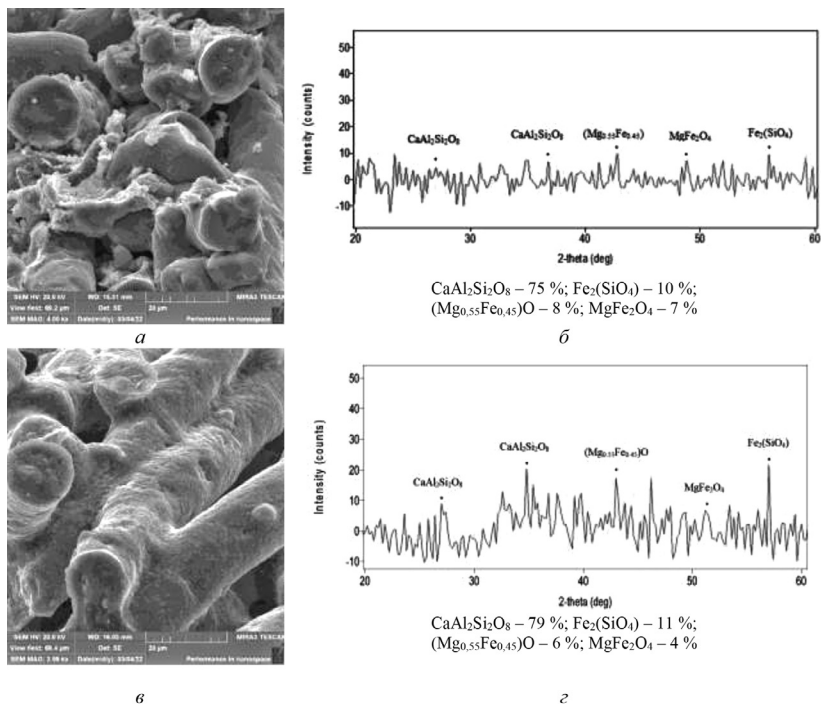


Рис. 2. Морфология поверхности и рентгенофазовый анализ композиций на основе базальтового волокна с добавлением 10 % Fe_2O_3 (а, б) и 15 % Fe_2O_3 (в, г) после спекания при температуре 1100 °С

силикатов железа $\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$, сложных соединений оксидов магния и железа $(\text{Mg}_{0,55}\text{Fe}_{0,45})\text{O}$ и MgFe_2O_4 (рис. 2).

Морфология поверхности и диаграммы сжатия композиций на основе базальтового волокна с 2 и 4 % MnO после спекания при температуре 1100°C приведены на рис. 3.

Результаты испытания на сжатие показали, что в композициях на основе базальтового волокна с 2 % MnO после спекания при температуре 1100°C предел прочности составляет 6,8 МПа, а с 4 % MnO – 9,6 МПа.

Морфология поверхности и рентгенофазовый анализ композиций на основе базальтового волокна с добавлением 2 и 4 % MnO после спекания при температуре 1100°C представлен на рис. 4.

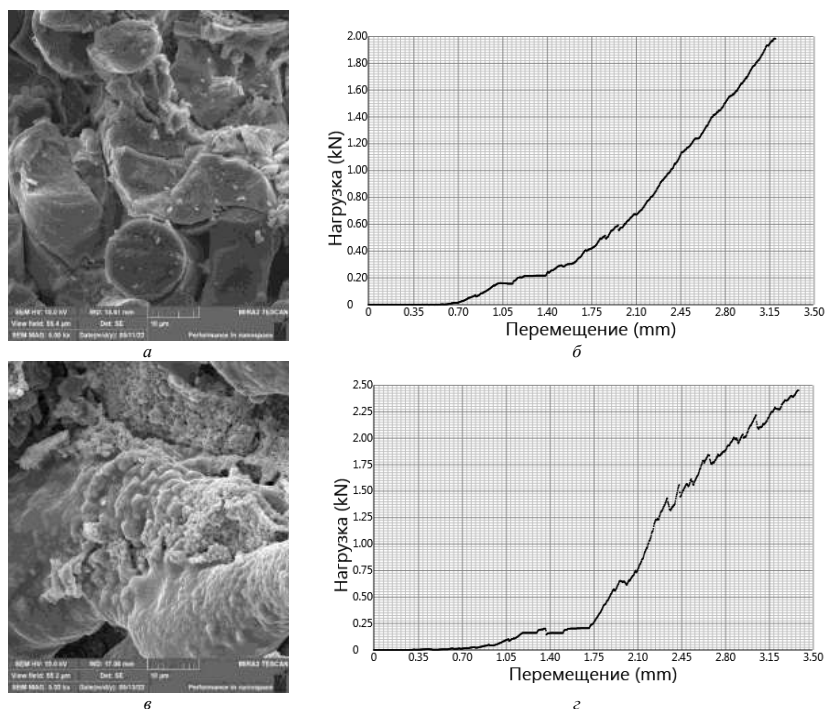


Рис. 3. Морфология поверхности и диаграммы сжатия образцов композиций на основе базальтового волокна с добавлением 2 % MnO (а, б) и 4 % MnO (в, з) после спекания при температуре 1100°C

Показано, что на поверхности базальтового волокна с добавлением 2 и 4 % MnO кроме основной алюмосиликатной фазы $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ образуются алюмомарганцевые силикаты $\text{MnAl}(\text{SiO}_4)\text{O}$ и алюмомарганцевые шпинели типа Mn_2AlO_4 (см. рис. 4), что приводит к увеличению предела прочности на сжатие до 9,6 МПа.

Особенностью формирования композитов на основе базальтового волокна с добавками Fe_2O_3 и MnO после спекания является образование структуры, близкой к дисперсно-упрочненной каркасного типа на основе базальтового волокна, с равномерно распределенными в ней частицами упрочняющей фазы и порами размером 20–50 мкм.

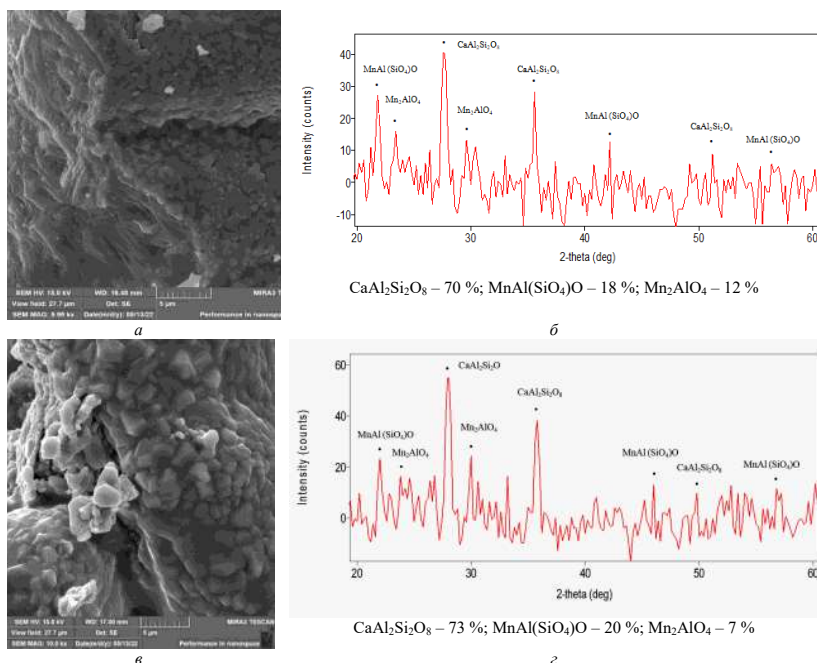


Рис. 4. Морфология поверхности и рентгенофазовый анализ композиций на основе базальтового волокна с добавлением 2 % MnO (а, б) и 4 % MnO (в, г) после спекания при температуре 1100 °С

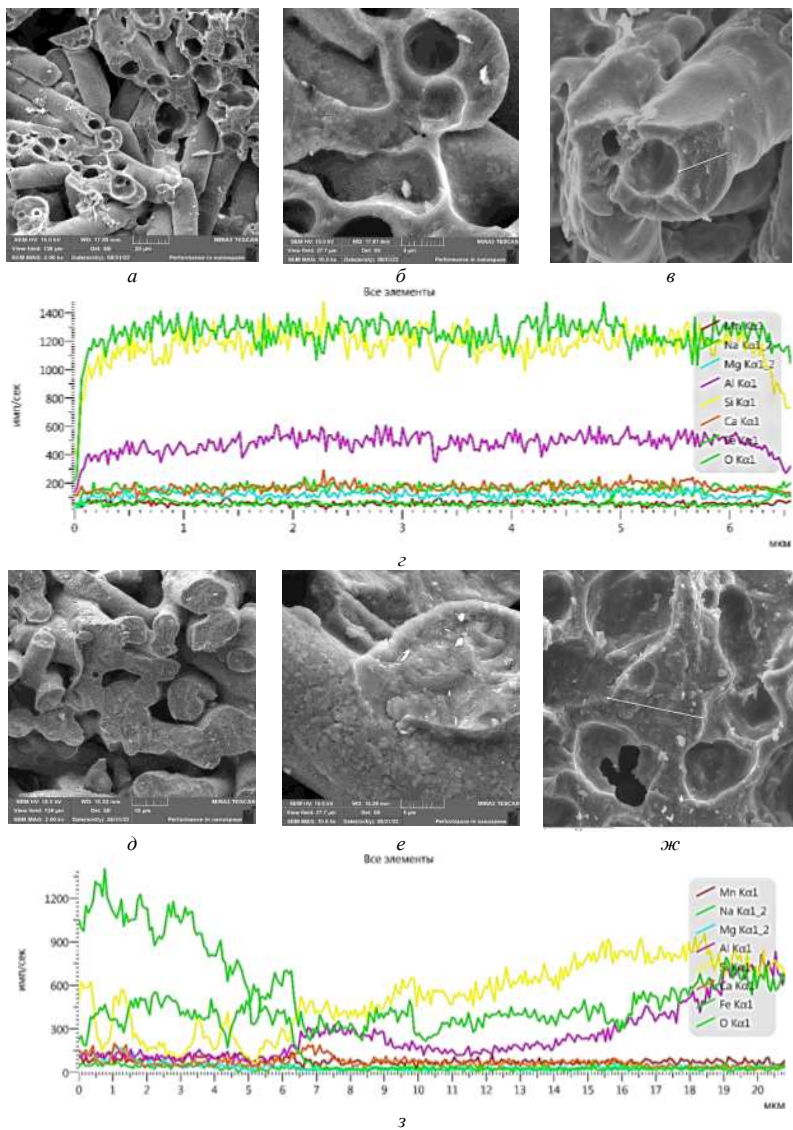


Рис. 5. Морфология поверхности и микрорентгеноспектральный анализ композиций на основе базальтового волокна с добавлением 4 % MnO и порообразователя после спекания при температуре 1050 °C (а–з) и 1100 °C (д–ж)

Контактообразование композиций при спекании происходит за счет образования эвтектических фаз силикатного и шпинельного типов на поверхности волокна в местах соприкосновения с упрочняющим компонентом и волокон друг с другом. При испытании на сжатие композитов наблюдается хрупкое разрушение посредством макрорасслоений (отколов), о чем свидетельствует пилообразный ход кривых на диаграммах сжатия.

Морфология поверхности и микрорентгеноспектральный анализ композиций на основе базальтового волокна с добавлением 4 % MnO в присутствии порообразователя после спекания при 1050 и 1100 °С приведены на рис. 5.

Исследовано, что в процессе спекания при температуре 1100 °С в присутствии порообразователя происходят вспенивание и образование полостей в композитах. Концентрационные кривые распределения элементов по излому от края до края волокна показывают, что основными элементами являются Ca, Al, Si, O. При температурах 1050 и 1075 °С наблюдается равномерное распределение элементов в сечении волокна (рис. 5, а–з). При температуре 1100 °С происходит перераспределение элементов от сердцевины волокна к краям (рис. 5, д–з) с образованием на поверхности эвтектических фаз типа алюмосиликатов и шпинелей по данным рентгенофазового анализа. Основной фазой композитов на основе базальтового волокна является алюмосиликатная фаза $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Выводы

1. Экспериментально установлено, что композиты на основе базальтового волокна с 10 и 15 % Fe_2O_3 или 2 и 4 % MnO, сформированные радиальным прессованием при давлении 40 МПа с последующим спеканием, имеют структуру каркасного типа на основе базальтового волокна с равномерно распределенными в ней частицами упрочняющей фазы и порами.

2. Определено, что в процессе спекания при температурах 1050–1100 °С, в присутствии порообразователя происходят вспенивание и образование полостей в композитах. Распределение

основных пор размером 20–50 мкм в композитах равномерное. Образование отдельных крупных полостей размером порядка 700 мкм происходит при выгорании порообразователя.

3. Методами микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализов определено, что за счет расплавления базальтового волокна и взаимодействия с упрочняющим компонентом Fe_2O_3 на поверхности композитов образуется мелкодисперсная структура, состоящая из фаз на основе алюмосиликатов $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$, силикатов железа $\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$, сложных соединений оксидов магния и железа $(\text{Mg}_{0,55}\text{Fe}_{0,45})\text{O}$ и MgFe_2O_4 .

4. Экспериментально установлено, что образцы композиций на основе базальтового волокна с 10 % Fe_2O_3 после спекания при температуре 1100 °С имеют предел прочности на сжатие 2–4 МПа, а с 15 % Fe_2O_3 – 4–6 МПа.

5. Исследовано, что в композитах с добавлением 2 % MnO и 4 % MnO после спекания при температуре 1100 °С на поверхности базальтового волокна кроме основной алюмосиликатной фазы $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ образуются алюмомарганцевые силикаты $\text{MnAl}(\text{SiO}_4)\text{O}$ и алюмомарганцевые шпинели типа Mn_2AlO_4 , что приводит к увеличению предела прочности на сжатие до 10 МПа.

6. Концентрационные кривые распределения элементов по излому от края до края волокна с упрочняющими компонентами Fe_2O_3 и MnO показали, что основными элементами в композитах являются Ca , Al , Si , O . При температурах 1050 и 1075 °С наблюдается равномерное распределение элементов в сечении волокна. При температуре 1100 °С происходит перераспределение элементов от сердцевины волокна к краям с образованием на поверхности эвтектических фаз типа алюмосиликатов и шпинелей по данным рентгенофазового анализа. Основной фазой композитов на основе базальтового волокна является алюмосиликатная фаза $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Литература

1. Витязь, П. А. Фильтрующие материалы: свойства, область применения, технология изготовления / П. А. Витязь, В. М. Капщевич, Р. А. Кусин ; под ред. П. А. Витязя. – Минск : НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.

2. *Main aspects of the theory and technology of producing permeable materials with the organized porous structure through deformation processing / Y. Piatshushyk [et al.] // 15th International Plansee Seminar, Reutte, Austria. – Reutte, 2001. – Vol. 3. – P. 285–299.*

3. *Дробыш, А. А. Получение пористых проницаемых материалов и изделий из минеральных композиций способом радиального прессования для фильтрации жидкостей и газов : дис. ...канд. техн. наук : 05.16.05 / А. А. Дробыш. – Минск, 2007. – 154 с.*

4. *Crystallization mechanism of basalt glass fibers in air / M. S. Manylov [et al.] // Mendeleev Communications. – 2013. – Vol. 23, № 6. – P. 361–363.*

5. *Влияние размера частиц порошка на структурные характеристики пористых проницаемых макротел на основе природного кварца / О. П. Реут [и др.] // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2006. – Вып. 29. – С. 337–341.*

6. *Влияние режимов формирования на характеристики пористых материалов из базальтовых волокон / Е. Е. Петюшик [и др.] // Порошковая металлургия : респ. межвед. сб. науч. тр. – Минск, 2022. – Вып. 45. – С. 143–146.*

7. *Закономерности структурообразования спеченных композиционных материалов на основе базальтового волокна / Е. Е. Петюшик [и др.] // Новые материалы и технологии: Порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы 15-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 50-летию основания Гос. науч. учреждения «Ин-т порошковой металлургии им. акад. О. В. Романа», Минск, 14–16 сент. 2022. – Минск, 2022. – С. 411–415.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ ПОРИСТЫМ МАТЕРИАЛОМ НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

**Е. Е. Петюшик¹, И. В. Фомихина¹, А. А. Дробыш²,
Т. Е. Евтухова², О. В. Степанова², И. В. Саксонов²**

¹*Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа,
г. Минск, Беларусь*

²*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь*

Введение. Традиционно применяемые сегодня устройства очистки воды работают в режиме фильтрации, когда частицы загрязнений удерживаются на зернах фильтрующего материала