



# ВЕСТНИК

Брестского государственного технического университета

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научно-теоретический журнал **2 (104)' 2017**  
Издается с января 2000 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

- ВОЛЧЕК А.А.** Водные ресурсы реки Вилии на территории Беларуси: современное состояние и прогноз.....**3**
- ВОЛЧЕК А.А.** Моделирование колебаний уровней воды крупных озер на примере озера Балхаш.....**15**
- ЮРЧЕНКО Н.Т., ВАЛУЕВ В.Е., ВОЛЧЕК А.А., МЕШИК О.П.** Научно-практические аспекты согласования антропогенного водного режима почваридной зоны и естественного гидрологического режима водоисточников.....**25**
- ГРОМИК Н.В., ВОДЧИЦ Н.Н., СТЕЛЬМАШУК С.С., БАЗЕНКОВ Т.Н.** Совершенствование проточного тракта осевого насоса крупных насосных станций.....**29**
- ВОЛЧЕК А.А., МЕШИК О.П., ШЕШКО Н.Н., БАЗЕНКОВ Т.Н.** Водный режим болотного массива "званец" и моделирование работы его проводящей сети.....**33**
- ВОЛЧЕК Ан.А.** Затопления на территории Беларуси.....**39**
- АХМЕДОВ К.М., ЯРОМКО В.Н.** Исследование влияния уровня грунтовых вод и степени засоленности на физико-механические свойства грунтов.....**54**
- ИВАШЕЧКИН В.В., ВЕРЕМЕНЮК В.В., КРУГЛОВ Г.Г., АНАЦКО Я.Я., СОЛДАТЕНКО Я.А.** Прогноз уровней в Вилейском водохранилище при пропуске расходов половодья.....**57**
- ГЛУШКО К.А.** Исследование инфильтрации талых вод при постоянном уровне грунтовых вод на осушенных торфяниках.....**61**
- КОВАЛЕНКО А.В., ЮЗЮК А.Ю.** Исследование инфильтрации талых вод при постоянном уровне грунтовых вод на осушенных торфяниках.....**66**
- ТУР Э.А.** Влияние физико-химических свойств акриловых сополимеров на эксплуатационные показатели защитных покрытий, применяемых в водохозяйственном строительстве.....**68**
- КОЗЛОВСКИЙ Д.С., НАТАРОВА О.Н.** Особенности методов определения оптимальной влажности и влияния содержания органических веществ на процессы уплотнения земляного полотна и оснований дорожных одежд.....**74**
- СЕВЕРЯНИН В.С.** Вихревые потоки в устройствах пульсирующего горения.....**77**
- НОВОСЕЛЬЦЕВ В.Г., НОВОСЕЛЬЦЕВА Д.В.** Изменения в нормативной базе Республики Беларусь по проектированию энергоэффективных жилых домов.....**81**
- ТИМОШУК А.Л.** Энергия солнца в системах теплоснабжения. Аккумулирование теплоты.....**84**
- ЯНЧИЛИН П.Ф.** Варианты использования гелиоустановки "Луч".....**86**
- БЕЛОВ С.Г., НАУМЧИК Г.О.** Возможность идентификации ароматических соединений в водных растворах методов УФ-спектроскопии.....**90**
- ЖИТЕНЕВ Б.Н., АНДРЕЮК С.В.** Технологические решения подготовки воды, с примесями соединений азота и железа, для питьевого водоснабжения.....**95**
- ЖИТЕНЕВ Б.Н., РЫБАК Е.С.** Обесцвечивание и обезжелезивание подземных вод, содержащих органические примеси электрохимическим методом.....**98**
- НАУМЧИК Г.О., БЕЛОВ В.С.** Разработка метода диспергирования газа с помощью турбулентного потока жидкости на границе пористой стенки.....**102**
- ВОЛКОВА Г.А., СТОРОЖУК Н.Ю.** Разработка метода диспергирования газа с помощью турбулентного потока жидкости на границе пористой стенки.....**106**
- ЛЕВЧУК Н.В., ВАСИЛЕВСКАЯ М.В., ШЛЯХОВА Е.И.** Исследование адсорбционных свойств базальтовой фибры.....**109**

**УРЕЦКИЙ Е.А., МОРОЗ В.В., ЮХИМУК М.М.** К вопросу очистки сточных вод лакокрасочного производства на предприятиях приборо- и машиностроения.....**112**

**ШТЕПА В.Н., ПРОКОПЕНЯ О.Н., КОТ Р.Е., МОРГОЛЬ А.В., ЗАЕЦ Н.А.** Исследование процессов образования и осаждения взвешенных в воде веществ с применением автоматизированного измерительного комплекса.....**115**

**ХУРРАМОВ М.Г.** Способ получения фильтрующего материала и устройство его применения для очистки сточных вод красильно-отделочного производства.....**118**

**ЖИТЕНЕВ Б.Н., ТАРАТЕНКОВА М.А.** Обесцвечивание поверхностных вод напорной реагентной флотацией для предприятий энергетики.....**123**

**БОСАК В.Н., БАСОВ С.В., ТУР Э.А.** Влияние освещенности наземного слоя на динамику водно-эрозийных процессов территорий исторических парков Брестской области.....**126**

**ЯЛОВАЯ Н.П., ТРИФОНОВА Н.Г., ЯЛОВОЙ П.С.** Использование переработанных органических отходов в «зеленом» благоустройстве урбанизированных территорий.....**130**

**ДАНИЛОВ Ю.Д.** Эволюция моделей глобального экологического развития: политический аспект.....**135**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ И ОСАЖДЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ В ВОДЕ ВЕЩЕСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

**Введение.** Исследование воды в начальной и конечной точках водораспределительной сети продемонстрировало существенные различия зарегистрированных физических параметров (температуры, давления) и концентрации химических (биологических) веществ в разные периоды времени [1, 2]. Установлено, что показатели качества воды в различных точках сети водоснабжения могут приобретать недопустимые значения. При этом, чем больше срок эксплуатации системы, тем хуже качество воды (особенно по показателю содержания взвешенных органических и неорганических частиц) [3, 4].

Неравномерность водопотребления оказывает существенное влияние на процесс образования и осаждения на стенках трубопроводной сети взвешенных форм веществ, что отражается на работе системы очистки и качестве получаемой воды. Изучение динамики данного процесса позволяет не только более объективно оценить качество водоснабжения, но и рационально выбирать режимы работы системы водоподготовки в конкретных условиях. Наличие такой информации также дает возможность прогнозировать изменения свойств воды в системе водоснабжения в периоды аварий и не допускать развития негативных последствий, включая эпидемии.

**Постановка задачи.** Для исследования процесса образования и осаждения на стенках трубопроводов взвешенных форм веществ необходимо воспроизвести данный процесс на пробах воды, отбираемых в различ-

ных точках водопроводной сети в различные моменты времени, на значительном временном интервале при фиксированных значениях давления, которое может варьироваться в определенных пределах. Это требует создания автоматизированной экспериментальной установки, позволяющей проводить измерения в режиме реального времени в условиях поддержания заданной величины манометрического и вакуумметрического давлений.

Материалы и методика исследований. Известно, что физические и химико-биологические преобразования в воде происходят непрерывно под действием внешних физических, химических и биологических факторов [5]. После окончания их действия и наступления условно устойчивого состояния вода будет приобретать временно неизменные (стабильные) показатели качества [3, 6].

К указанным факторам относится давление, которое имеет различное значение на разных участках сети (рис. 1). При отсутствии потребления воды давление по длине трубопровода имеет постоянное значение.

Согласно типовому графику (рис. 1) кратковременные периоды пикового потребления чередуются с достаточно длительными периодами минимального потребления воды, следовательно, отборы проб для исследований целесообразно производить в период наиболее длительного интервала с наименьшим потреблением (с 24.00 до 6.00 часов) [2].

---

*Штепа Владимир Николаевич, к.т.н., доцент кафедры высшей математики и информационных технологий Полесского государственного университета.*

*Кот Роман Евгеньевич, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и ИТ» ПолесГУ.*

*Морголь Александр Владимирович, научный сотрудник НИЛ «Экоинженерия и ИТ» ПолесГУ.*

*Республика Беларусь, 225710, Брестская область, г. Пинск, ул. Кирова 24, к. 201.*

*Прокопеня Олег Николаевич, к.т.н., заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета. Республика Беларусь, 224010, г. Брест, ул. Московская, 267.*

*Заец Наталья Анатольевна, к.т.н., доцент кафедры автоматизации и робототехнических систем Национального университета биоресурсов университета Украины.*

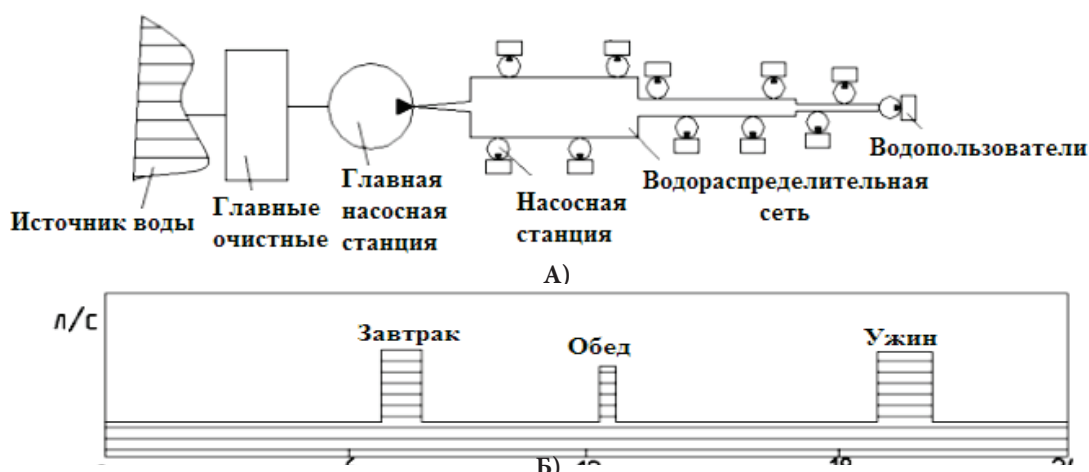
*Украина, 03041, г. Киев, ул. Героев Оборона, 12, учебный корпус 11, к. 332.*

Вместе с тем при транспортировке воды с условно стабильными показателями всегда возникают непредвиденные ситуации, связанные с проведением плановых технологических сезонных работ по дезинфекции сети или вызванные аварийным обесточиванием насосов подачи воды и порывами труб. Продолжительность последних и их повторяемость определяется техническим состоянием системы, сложностью аварии и оснащением обслуживающего персонала. При этом возможный срок прекращения водоснабжения может превышать сутки, что также необходимо учитывать при исследовании.

В процессе транспортирования воды по трубопроводам большой протяженности в периоды с минималь-

ным потреблением происходит образование и накопление биологического загрязнителя (рис. 2), который осаждается на стенках трубопроводов, а вода приобретает некоторые конечные свойства, с которыми поступает к потребителю. Соответственно, целесообразно осуществлять исследование изменения показателей качества воды именно на пробах, отобранных из сети в начале длительного периода с условно стабильными показателями давления.

Отбор проб осуществлялся с 23.00 до 24.00 часов в двух разных точках водораспределительной сети города Киева (расстояние по прямой 7 километров) при условии, что к этому времени в течение суток не было зафиксировано технологических или аварийных остановок подачи воды.



А – типовая структурная схема сети водоснабжения; Б – типовой график суточного водопотребления  
Рисунок 1. Технологический анализ возможностей безопасного водопотребления с сети водоканала

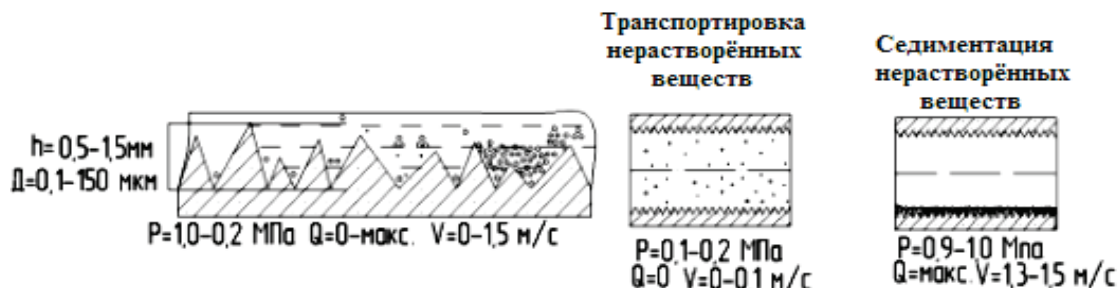
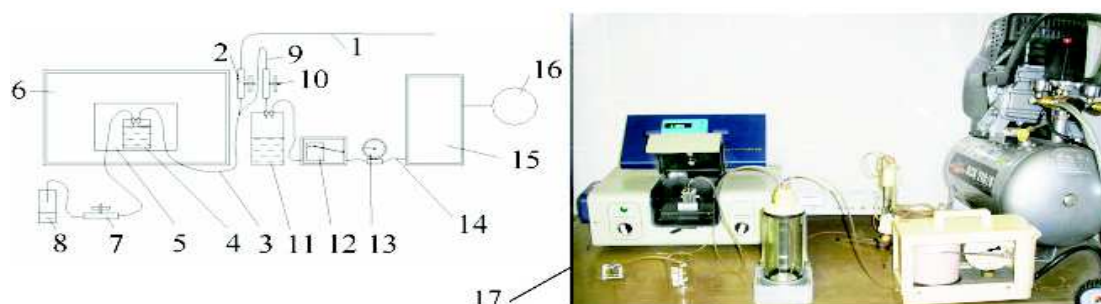


Рисунок 2. Графическое представление процесса накопления биологического загрязнителя воды в трубопроводе



1 – сеть водоснабжения; 2 – кран; 3 – трубка подачи воды к измерительной кювете, 4 – измерительная кювета высокого давления; 5 – измерительная камера прибора; 6 – прибор КФК; 7 – кран слива; 8 – сливная емкость; 9 – трубка подачи воды к контрольной ёмкости; 10 – кран контрольной ёмкости; 11 – контрольная ёмкость; 12 – самописец давления; 13 – микропроцессорный автоматический регулятор давления; 14 – соединительная трубка; 15 – компрессор; 16 – измерительный прибор; 17 – внешний вид автоматизированной лабораторной установки перед измерением  
Рисунок 3. Схема автоматизированной лабораторной установки для исследования динамики образования и осаждения веществ в воде при изменении манометрического и вакуумметрического давлений

**Результаты исследований.** Для исследования была разработана и изготовлена автоматизированная лабораторная установка (рис. 3). В соответствии с методикой измерения осуществлялось последовательное заполнение составляющих элементов измерительного комплекса пробой воды из сети водоканала (рис. 1). После этого задавалось соответствующее давление, которое поддерживалось постоянным с помощью автоматизированного микропроцессорного регулятора в течение всего времени измерений. Содержание частиц определялось в реальном времени прибором КФК по мутности воды.

Параллельно отбиралась проба воды для определения ее химико-биологического состава. Проба исследовалась в лаборатории с использованием стандартной методики Лурье [2]. Контрольные анализы качества исследуемой пробы воды, отобранной параллельно с подготовкой к работе измерительного комплекса, делали в лаборатории анализа качества воды. Перед новыми исследованиями все ёмкости комплекса были пустыми и промывались. Инструментальная погрешность регистрации концентрации веществ в воде (рис. 4) не превышает  $\pm 1\%$ .

Для оценки корректности экспериментальных исследований, согласно классической теории математической статистики, была проверена однородность исследовательских данных (рис. 4) всех пробоотборов по критерию Кохрена [3].

Число степеней свободы в нашем случае:  $M-1 = 4$  (пятая кратная повторяемость). Используя теоретические выкладки [3], для исследования проб на выходе станции II-го подъёма  $k = 29$  и  $f = 4$  (5%-й уровень значимости), приняли табличное значение критерия Кохрена ( $G_T$ ) – 0,16. При исследовании в точке на расстоянии 7 километров от станции II-го подъёма  $k = 30$  и  $f = 3$  (5%-й уровень значимости), приняли для всех случаев табличное значение критерия Кохрена ( $G_T$ ) – 0,2016.

Затем провели расчётный анализ полученных экспериментальных данных. Имея средние значения переменной состояния, рассчитали квадраты погрешностей опытов (дисперсии):

$$Su_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^M (y_{ij} - y_{s_i})^2}{(M-1)}, \quad i = 1, \dots, N, \quad (1)$$

где  $M$  – количество повторных опытов;  $y_{s_i}$  – средние значения переменной состояния;  $y_{ij}$  – текущее значение переменной состояния;  $N$  – количество вариантов опытов. Расчётный критерий Кохрена:

$$G_p = \frac{\max Su_i^2}{\sum Su_i^2}, \quad (2)$$

где  $\sum Su_i^2$  – сумма всех дисперсий.

Для вычисления расчётного критерия Кохрена использовали специализированный пакет прикладных математических программ Statistica 6.0 [4], где реализован соответствующий алгоритм.

В точке на выходе станции II-го подъёма:

$$G_p = 0,123, \quad (3)$$

тогда  $G_p < G_m$  (0,123 < 0,16). (4)

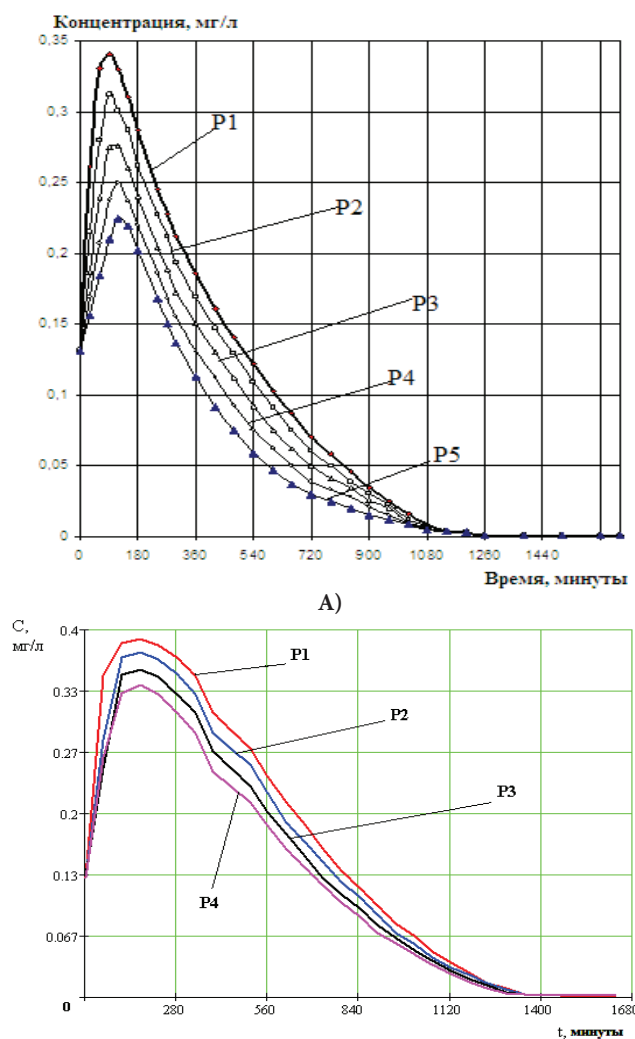
В точке на расстоянии 7 километров от станции II-го подъёма

$$G_p = 0,199. \quad (5)$$

Соответственно

$$G_p < G_m \quad (0,199 < 0,2016). \quad (6)$$

Согласно (4) и (6) гипотеза о воспроизводимости результатов опыта подтверждается. Все варианты экспериментальных наборов оказались равноценными, что подтверждает достоверность результатов экспериментов.



**Рисунок 4.** Динамика изменения концентрации осаждаемых веществ в контрольных пробах ёмкости при различных значениях давления: А – на выходе станции II-го подъёма; Б – в точке на расстоянии 7 километров от станции II-го подъёма (P1 – 0,06 МПа; P2 – 0,04 МПа; P3 – 0,02 МПа; P4 – 0 МПа (переходное состояние), P5 – -0,02 МПа (вакуумметрическое состояние))

Согласно результатам исследования (рис. 4) в течение первых 100-120 минут идёт образование частиц, которые находятся в воде во взвешенном состоянии. Конечное содержание частиц и интенсивность процесса увеличиваются с ростом давления. Для воды, взятой на выходе станции II-го подъёма (рис. 4, А), влияние давления проявляется в большей степени. Для воды, взятой на удалении от станции II-го подъёма (рис. 4, Б), характер влияния сохраняется, однако конечное содержание частиц несколько выше и находится в более узком диапазоне (0,33-0,38 мг/л).

В последующие 1000-1200 минут происходит осаждение взвешенных частиц, их содержание в воде снижается до значений близких к нулю. Длительность данной стадии практически не зависит от давления. Таким образом, при нахождении воды в условиях условно установившегося режима в течение 20-22 часов процесс образования и осаждение взвешенных частиц можно считать завершившимся.

Отсюда следует, что при перерывах в водоснабжении более 20 часов происходит наиболее интенсивное отложение частиц на внутренней поверхности трубопроводов. Это засоряет трубы и создаёт благоприятную среду для развития инфекции. В свою очередь при последующем интенсивном отборе воды осадок может смываться и в концентрированном виде попадать в очистительные устройства или непосредственно к потребителю. Требуемое качество воды в этом случае, как правило, не обеспечивается. Для предотвращения негативных последствий в подобной ситуации целесообразно осуществлять промывку сети с удалением осадка непосредственно после возобновления водоснабжения.

**Заключение.** Проведенные исследования динамики образования и осаждения взвешенных частиц в трубопроводах сети водоснабжения позволили выявить основные закономерности данного процесса и получить временные зависимости изменения содержания данных частиц в воде. Результаты могут быть использованы для рационального построения процесса очистки и эффективного управления им. В конечном счёте это позволяет повысить качество потребляемой воды.

Использование полученных зависимостей, также, дает возможность более корректно производить отбор проб при контроле качества воды.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Гончаров, Ф.И. Исследование механизма накопления осадка на стенках труб в сети водоканала / Ф.И. Гончаров // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании: сборник научных трудов – Одесса: ОНТУ, 2007. – Т. 20 – С. 58–67.
2. Гончаров, Ф.І. Наслідки втрат води з мережі водоканалу та пошук шляхів їх подолання / Ф.І. Гончаров, І.О. Даценко, В.М. Штепа // Підтоплення-2005: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: НІПЦ «Екологія. Наука. Техніка», 2005. – С. 37–41.
3. Штепа, В.Н. Концепция построения интеллектуальных систем управления биотехническими объектами с учётом влияния природных факторов / Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – М.: ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 2014. – Ч. 5. – С. 14–19.
4. Штепа, В.М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами / В.М. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К.: НУБіПУ, 2014. – Вип. 194. – Ч. 3. – С. 259–265.
5. Швецов, А.Б. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке / А.Б. Швецов, А.В. Козырева, С.Г. Седунов, К.А. Тараскин // Молекулярные технологии – М.: МГУ, 2009 – №3. – С. 98–121.
6. Мазоренко Д.И. Инженерная экология сельскохозяйственного производства / Д.И. Мазоренко, В. Козелко, Ф.И. Гончаров. - М.: Знание, 2006. – 376 с.

*Матеріал поступил в редакцію 09.05.17*

#### **SHTEPA V.N. PROKOPENYA O.N., KOT R.Y., MORGOL A.V., ZAETC N.A. The research of process of formation and sedimentation of suspended substances in the water with application of the automated measuring complex**

The shortcomings of the modern water supply systems are analyzed in the context of influence of fixing effect on the quality of water in the water distribution network. The method and experimental study of the effect of adjusted barometric and vacuum pressure on the particles suspended in water is described. Qualitative and quantitative characteristics of the formation and sedimentation of suspended substances in the water is obtained. The results of experimental research are substantiated by mathematical analysis.