

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.34

DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.6

**В.Д. НАЗАРОВ**  
**М.В. НАЗАРОВ**  
**А.А. ОСИПОВА**  
**К.В. ДИМОВ**  
**М.А. ДРЁМИНА**

## ОЧИСТКА ПРИРОДНЫХ ВОД ОТ БАРИЯ И СОЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ

WATER PURIFICATION FROM BARIUM AND HARDNESS SALTS

*Разработана методика повышения качества питьевой воды: удаление солей жёсткости и токсичного элемента – бария. Показаны различные способы очистки природных вод – электрохимическое фильтрование, фильтрование через загрузку при добавлении реагентов в одну ступень очистки, фильтрование через загрузку при добавлении реагентов в две ступени очистки. Делается вывод, что исследуемая вода может быть доведена до норм СанПиН 2.1.4.1074-01 лишь при определенной технологии очистки воды, разработанной для источника водоснабжения.*

**Ключевые слова:** водоподготовка, подземный источник, соли бария, соли жесткости, реагентное фильтрование, фильтрующая загрузка, электрохимическое фильтрование воды

В практике водоочистки широко известны методы, основанные на применении озона, ультрафиолета, активированных углей, обработке воды биологическими методами.

Широкое распространение получил метод реагентного фильтрования с применением коагулянтов [1, 2]. Коагуляция используется для удаления взвешенных и органических веществ, тяжелых металлов, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), снижения цветности. Степень удаления загрязнений при коагуляции зависит от качества применяемых реагентов, конструкции сооружений.

Важными факторами развития технологии коагуляции являются дальнейшее совершенствование теории процесса, создание новых коагулянтов и фильтрующих материалов, оптимизация конструкций сооружений, использование коагуляции с применением силовых полей [3-13].

При проведении процесса коагуляции в каждом конкретном случае должны создаваться оптималь-

*The methodology of improvement of drink water quality is developed: hardness salts and barium elimination. Different ways of water purification as electrochemical filtration, pulp filtration with reactants in one step, pulp filtration with reactants in two steps are shown. In the article it is proved that water under study could be raised to sanitary norms 2.1.4.1074-01 only with specific purification technology developed for water supply source.*

**Keywords:** water treatment, underground source, barium salts, hardness salts, reactant filtration, resin charge, electrochemical water filtration

ные условия для используемого реагента и обрабатываемой воды. Только тогда достигается заданная скорость химической реакции, образование хлопьев с оптимальными параметрами, сокращение времени уменьшения устойчивости дисперсной системы.

В исследуемой природной воде п. Жуково Уфимского района Республики Башкортостан содержание солей жёсткости превышает допустимое значение до 2,5 раза, солей бария – до 5 раз.

При длительном употреблении воды, содержащей барий, возможно повышение у человека кровяного давления. Даже разовое употребление воды, содержание бария в которой значительно превосходит максимально допустимые значения, может привести к мышечной слабости и болям в брюшной области.

Гидроксид бария оказывает негативное влияние на воздушно-дыхательные пути, прижигающее действие на роговицу глаз и кожу. Хлорид бария увеличивает проницаемость сосудов, что может привести к кровоизлиянию и отекам, вызвать анемию, лимфоцитоз, лейкопению.

Норматив по барии, рекомендованный Всемирной организацией здравоохранения, составляет 0,7 мг/л. Российскими санитарными нормами установлено еще более жесткое предельно допустимое значение по барии в питьевой воде – 0,1 мг/л.

Жесткая вода неприятна на вкус, в ней излишне много кальция. Высокая жесткость ухудшает органолептические свойства воды, придавая ей горьковатый вкус и оказывая отрицательное действие на органы пищеварения. Постоянное употребление внутрь воды с повышенной жесткостью приводит к снижению моторики желудка, к накоплению солей в организме и, в конечном итоге, к заболеванию суставов и образованию камней в почках и желчных путях. По нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 жесткость питьевой воды должна быть не выше 7 мг-экв/л.

В работе были использованы следующие методы очистки воды:

- реагентное фильтрование [1,2];
- инновационный метод электрохимического фильтрования [2-13].

**Реагентное фильтрование.** Вода фильтруется в зернистом направлении сверху вниз. За счёт эффекта кристаллизации происходит осаждение нерастворимых солей жесткости на поверхности зерен загрузки. В качестве реагентов был использован оксихлорид алюминия, сульфат натрия. В качестве подщелачивающего реагента – гидроксид натрия.

**Инновационный метод электрохимического фильтрования.** В фильтре расположены два электрода параллельно друг другу. Один из них изготовлен из алюминия, другой – из меди. Электроды создают электрохимический источник тока.

Существует два механизма действия электрохимического фильтра:

1. Растворение электроотрицательного электродного материала, которым является алюминий. Вследствие этого образуется гидроксид алюминия, который является коагулянт. Установлено, что электроды растворяются по закону Фарадея.
2. Поляризация зёрен фильтрующей загрузкой. В электрическом поле зерна поляризуются и образуются положительные и отрицательные связанные заряды на каждом зерне. Все диспергированные частицы, обладающие своим зарядом, идут к противоположному заряду. Закрепление извлекаемых частиц происходит под действием электростатического поля.

Фильтрующие зернистые материалы применяются в любых системах водоснабжения и водоотведения для получения воды заданного качества. Фильтрующие материалы подразделяются на активные, инертные и инертно-активные. Степень активности определяется по наличию сорбционных, ионообменных и каталитических свойств, позволяющих извлекать из очищаемой воды нефтепродукты, органиче-

ские вещества, тяжелые металлы, токсичные минеральные вещества.

Ведётся интенсивное внедрение активных фильтрующих материалов, прежде всего для очистки от железа, марганца и сероводорода, которые чаще всего присутствуют в источниках водоснабжения, промстоках и ливневых водах.

Все известные активные фильтрующие материалы делятся на две группы:

- материалы с объемными каталитическими свойствами, не требующие регенерации окислителями для восстановления каталитических свойств. К первым относятся: МЖФ (Россия), Birm USA), Catalox (USA) и силицированный кальцит (Россия);
- материалы с поверхностной активностью, требующие регенерации для восстановления каталитической активности: Цеокс, Ферокс, МТМ.

В результате исследований, проведенных авторами, доказано, что лучшими каталитическими свойствами обладает силицированный кальцит, который был использован в дальнейших опытах.

В исходную воду в качестве подщелачивающего реагента был добавлен NaOH в концентрации 100 мг/л. В результате повышен водородный показатель с 7,8 до 8,4. В качестве коагулянта был добавлен  $Al_2(OH)_3Cl_3$  в концентрации 100 мг/л. Затем произведено барботирование пузырьками воздуха в течение 20 мин и фильтрование подготовленной воды со скоростью 4-8 м/ч (табл. 1).

Для улучшения показателей качества воды был применен метод электрохимического фильтрования. Наиболее эффективные электроположительные электроды были выполнены из коксопековой композиции.

Электрод электрохимического фильтра (рис. 1), включающий в себя углеродосодержащие блоки с образованием в них электроконтактов, согласно полезной модели выполнен в форме диска 1, внутри которого расположены от центра по радиусу электродконтакты из медной проволоки с угловым расстоянием от 5 до 90 град., причем периферийные точки радиальных электроконтактов соединены круглым электроконтактом из медной проволоки, имеющим внешний токопровод, а пространство между радиальными электроконтактами содержит сквозные отверстия для прохождения воды, при этом электрод изготовлен из анодной массы, состоящей из нефтяного пека и нефтяного кокса. Электрод может быть выполнен из углеродосодержащего материала в форме плоского правильного восьмиугольника, образованного пластинами 2, вершины восьмиугольника соединены с центром электрода такими же пластинами 3, причем внутри пластин расположены электроконтакты из медной проволоки, один из которых соединен с внешним токоподводом 4, при этом электрод изготовлен из анодной массы, состоящей из нефтяного

Таблица 1

Эффект очистки природной воды от солей жёсткости и бария фильтрованием

№ п/п	Определяемые показатели	Ед. измерения	Результаты испытаний	Величина допустимого уровня	Нормативные документы на методы исследований
Результаты испытаний до фильтрования					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	16,0±2,400	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,525±0,105	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 4 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	8,4±1,260	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,310±0,062	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 6 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	9,0±1,350	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,328±0,065	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 8 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	9,3±1,395	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,344±0,069	0,1	ГОСТ 31870-2012

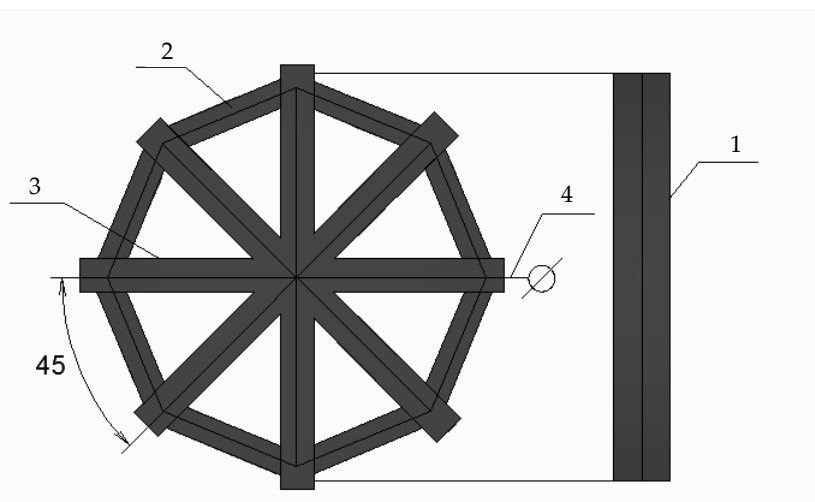


Рис. 1. Эскиз электрода в виде восьмиугольника

пека и нефтяного кокса. Углеродсодержащая анодная масса состоит из 30-40 % масс нефтяного пека, остальное – нефтяной кокс.

В исходную воду в качестве подщелачивающего реагента был добавлен NaOH в концентрации 100 мг/л. В результате повышен водородный показатель с 7,8 до 8,4. В качестве коагулянта был добавлен Al<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub> в концентрации 100 мг/л. Затем было проведено барботирование пузырьками воздуха в течение 20 мин и фильтрование подготовленной воды со скоростью (4-8) м/ч (табл. 2).

Из результатов опыта следует, что жесткость снизилась до нормативных значений, концентрация бария превышает допустимую величину.

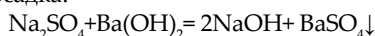
Для достижения цели испытываемая вода была пропущена через две ступени реагентного фильтрования. В первой ступени была применена модифи-

цированная загрузка, во второй использован электрохимический фильтр.

Водородный показатель исходной воды составил 7,3. При добавлении щелочи NaOH в концентрации 100 мг/л рН был доведен до 8,36. Натурная вода потеряла прозрачность, стала мутной. В качестве коагулянта применялся сернокислый натрий Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в концентрации 150 мг/л. Аэрирование воды осуществлялось в течение 30 мин.

Фильтр заполнялся силицированным кальцитом, загрузка промывалась раствором перманганата калия, после чего подготовленная вода фильтровалась с той же скоростью.

Происходила следующая реакция с образованием осадка:



Результаты опытов представлены в табл. 3.

Таблица 2

Эффект очистки природной воды от солей жесткости и бария электрохимическим фильтрованием

№ п/п	Определяемые показатели	Ед. измерения	Результаты испытаний	Величина допустимого уровня	Нормативные документы на методы исследований
Результаты испытаний со скоростью 4 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	6,7±1,005	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,28±0,050	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 6 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	6,9±1,035	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,302±0,060	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 8 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	7,2±1,080	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,31±0,062	0,1	ГОСТ 31870-2012

Таблица 3

Результаты очистки природной воды от солей жесткости и бария двухступенчатым реагентным фильтрованием

№ п/п	Определяемые показатели	Ед. измерения	Результаты испытаний	Величина допустимого уровня	Нормативные документы на методы исследований
Результаты испытаний до фильтрования					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	16,0±2,400	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг/л	0,525±0,105	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 4 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	6,1±0,915	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	0,060±0,012	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 6 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	6,3±0,945	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	0,064±0,013	0,1	ГОСТ 31870-2012
Результаты испытаний со скоростью 8 м/ч					
1	Жесткость общая	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	6,6±0,99	7	ГОСТ 31954-2012
2	Барий (Ba2+)	мг-экв/ дм <sup>3</sup>	0,076±0,015	0,1	ГОСТ 31870-2012

Таким образом, можно сделать вывод: данная технология очистки справилась с поставленной целью и снизила показатели до требуемых величин.

В ходе проведения опытов разработана инновационная схема водоподготовки, представленная на рис. 2.

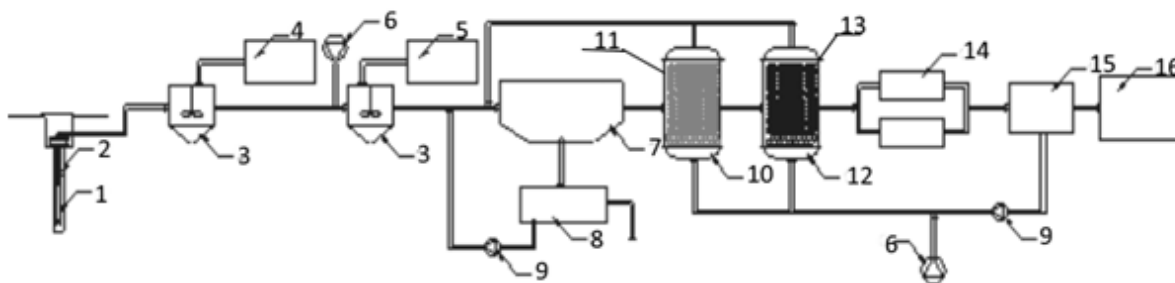


Рис. 2. Технологическая схема очистки природной воды, содержащей повышенные концентрации солей жесткости и бария

Очистка природной воды осуществляется следующим образом: исследуемая вода забирается из источника водоснабжения 1 погружным насосом 2, после чего отправляется в камеру смешения 3, куда добавляется подщелачивающий реагент из реагентного хозяйства 4. Для интенсивного смешивания, хлопьеобразования и окисления оксида бария установлен компрессор 6. Далее добавляется коагулянт из реагентного хозяйства 5, после чего вода направляется в вертикальный отстойник 7. Шлам удаляется на шламовую площадку 8, а иловые воды насосом 9 направляются обратно в отстойник для повторного прохождения очистки. Фильтр 10 заполнен модифицированной загрузкой 11, а фильтр 12 – силицированным кальцитом 13, который имеет каталитические свойства. С помощью насоса 9 исследуемый объект направляется на промывку фильтров 10 и 12. Очищенная от примесей вода поступает на завершающий этап очистки – ультрафиолетовое обеззараживание 14, а затем в резервуар чистой воды, после чего подаётся на насосную станцию второго подъёма 15 и по транспортной сети – трубопроводам – потребителю населенного пункта 16.

**Выводы.** Предложенная технология очистки природных вод от солей жесткости и бария включает в себя фильтрование в модифицированной загрузке в присутствии коагулянта и щелочного реагента, отстаивание, вторичное фильтрование в активном фильтрующем материале. Разработанная методика позволяет повысить качество воды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. М.: Изд. МГУ, 1996. 680 с.
2. Назаров В.Д., Зенцов В.Н., Назаров М.В., Водоснабжение в нефтедобыче: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. 447 с.
3. Патент РФ 2438985 МПК С02F1/00. Способ очистки природных и сточных вод и устройство для его осуществления / Назаров В.Д., Назаров М.В.; заявл. 26.05.2010, опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.

Об авторах:

#### НАЗАРОВ Владимир Дмитриевич

доктор технических наук, профессор  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (917) 343-08-78

#### НАЗАРОВ Максим Владимирович

кандидат технических наук  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (917) 342-12-61

4. Патент РФ 2422187 МПК В01D25/00. Сорбционный фильтр / Назаров В.Д., Назаров М.В., Лейпи И.В.; заявл. 18.08.2009, опубл. 27.06.2011, Бюл. №6.

5. Патент РФ 240035 МПК С02F1/46. Фильтр для очистки воды / Назаров В.Д., Назаров М.В., Музаметзянов А.Р.; заявл. 20.05.2009, опубл. 27.09.2010, Бюл. №27.

6. Патент РФ 2399425 МПК ВОЗС3/00. Фильтр для очистки воды / Назаров В.Д., Назаров М.В., Музаметзянов А.Р.; заявл. 20.05.2009, опубл. 20.09.2010, Бюл. №26.

7. Патент РФ 2390506 МПК С02F5/02. Способ умягчения природных вод / Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р.; заявл. 27.09.2009, опубл. 27.05.2010, Бюл. №15.

8. Патент РФ 2369565 МПК С02F5/00. Способ умягчения природных вод / Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р.; заявл. 24.03.2008, опубл. 10.10.2009, Бюл. №28.

9. Патент РФ 2360869 МПК С02F1/465. Устройство для электролитической обработки нефтесодержащих вод / Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р.; заявл. 27.10.2008, опубл. 10.07.2009, Бюл. №19.

10. Патент РФ на полезную модель 88346 С02F1/465. Скорый фильтр для очистки воды. // Назаров В.Д., Назаров М.В./ заявл. 20.05.2009, опубл. 10.11.2009, Бюл. №31.

11. Патент РФ 2466102 МПК С02F1/46. Фильтр для очистки воды / Назаров В.Д., Назаров М.В., Крупина О.В., Зенцов В.Н.; заявл. 12.04.2011, опубл. 10.11.2012, Бюл. №31.

12. Назаров М.В. Очистка природных и сточных вод электрохимическим фильтрованием // Градостроительство и архитектура. 2013. №1. С.51–60. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.01.9

13. Назаров В.Д., Назаров М.В., Вайншток П.Н. Доочистка сточных вод нефтехимических предприятий электрохимическими методами // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. №5. С.10–13.

#### NAZAROV Vladimir D.

Doctor of Engineering Science, Professor  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1,  
tel. (917) 343-08-78

#### NAZAROV Maksim V.

PhD in Engineering Science  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1,  
tel. (917) 342-12-61

**ОСИПОВА Анна Андреевна**

магистр  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (917) 494-14-13  
E-mail: Anyaosipova\_94@mail.ru

**OSIPOVA Anna A.**

Master's Degree Student  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1,  
tel. (917) 494-14-13  
E-mail: Anyaosipova\_94@mail.ru

**ДИМОВ Кирилл Владимирович**

аспирант  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1

**DIMOV Kirill V.**

Postgraduate Student  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1,

**ДРЁМИНА Мария Александровна**

магистр  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (917) 466-77-96  
E-mail: Dremina\_MA@mail.ru

**DRYOMINA Maria A.**

Master's Degree Student  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Bashkortostan, Ufa, Kosmonavtov str., 1,  
tel. (917) 466-77-96  
E-mail: Dremina\_MA@mail.ru

Для цитирования: Назаров В.Д., Назаров М.В., Осипова А.А., Димов К.В., Дрёмина М.А. Очистка природных вод от бария и солей жесткости // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №2. С. 32-37. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.6.

For citation: Nazarov V.D., Nazarov M.V., Osipova A.A., Dimov K.V., Dryomina M.A. Water purification from barium and hardness salts // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 2. Pp. 32-37. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.6.

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»**

Основные виды деятельности:

- проведение определенных областью аккредитации испытаний строительных материалов
- освоение и внедрение новых методов анализа показателей состава и свойств строительных материалов
- проведение исследовательских работ в области производства, эксплуатации и утилизации строительных материалов
- исследование техногенных образований на предмет использования при производстве строительных материалов
- исследование сырьевых компонентов для производства строительных материалов с целью определения области оптимального применения и влияния их свойств на качество выпускаемой продукции

По вопросам сотрудничества обращаться по адресу:  
443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
Тел./факс: (846) 333-59-00  
E-mail: uhdnir@samgasu.ru

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

ПРИ ПОДАЧЕ СТАТЕЙ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ ПРОСЬБА СОБЛЮДАТЬ  
ВСЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРИВЕДЕННЫЕ НА САЙТЕ ЖУРНАЛА «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»  
([www:journal.samgasu.ru](http://www:journal.samgasu.ru)) В РАЗДЕЛЕ АВТОРАМ