

УДК 628.161

Л.А. Хмарская, Т.Е. Свиноренко, В.А. Ваданов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ЦЕЛЬЮ  
ДОСТИЖЕНИЯ НОРМ ГСАНПИН 2.2.4-171-10

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск  
ООО ТД «Аква-Холдинг», г. Днепропетровск  
КП «Марганецкое производственное управление водопроводно-канализационного хозяйства»

Изучены основные проблемы подготовки питьевой воды согласно новым требованиям ГСанПиН 2.2.4-171-10. Предложены методы решения путем модернизации существующей схемы водоподготовки с использованием современных реагентов.

На текущий момент в сфере производства питьевой воды сложилась протеворечивая ситуация. Принятый 12.05.2010 приказ №400 Минздрава Украины утвердил новые санитарные нормы и правила «Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления человеком» (ГСанПиН 2.2.4-171-10) [1], ужесточив требования к качеству питьевой воды, подаваемой населению.

Однако, существующая технологическая схема подготовки питьевой воды, оборудование и фильтрующие загрузки на большинстве водоканалов остались без изменений. Кроме того, существует проблема прогрессирующего ухудшения качества исходной воды в источниках водоснабжения.

Указанное несоответствие новых требований и реальных возможностей являются основной причиной, по которой предприятия-поставщики не могут обеспечить население питьевой

водой, полностью соответствующей новым требованиям. Изменение технологической схемы водоподготовки в соответствии с современными методами очистки воды требует значительных капиталовложений.

Но существует ряд методов, позволяющих получать воду должного качества без значительных инвестиций и кардинального изменения технологической схемы. Один, из них – применение широкого спектра химических реагентов (таких как коагулянты, флокулянты, активированные угли, а также дезинфектанты), обеспечивающих качественно новый уровень водоподготовки.

Около 80% водоснабжения в Украине формируется из поверхностных вод, в частности из р. Днепр. Водозабор для хозяйственно-питьевых нужд г. Марганца осуществляется из р. Днепр в районе Каховского водохранилища. Основные

Таблица 1

Основные показатели качества исходной воды

Показатели качества (августовское цветение)	Единицы измерения	Исходная вода		
		max	min	средняя
Температура воды	°С	28,0	23,3	25,6
Интенсивность/характер запаха	балл	1зем/1зем	1зем/1зем	1зем/1зем
Цветность	град.	41,11	34,02	37,57
Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	7,75	7,75	7,75
pH	ед. pH	8,30	7,90	8,10
Окисляемость перманганатная	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	9,52	9,52	9,52
ХПК	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	21,0	21,0	21,0
Щелочность общая	мг-экв/дм <sup>3</sup>	3,8	3,0	3,4
Жесткость общая	моль/м <sup>3</sup>	4,05	4,05	4,05
Сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	411,20	411,20	411,20
Железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,191	0,191	0,191
Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	30,50	30,50	30,50
Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	69,01	69,01	69,01
Азот аммиака	мг/дм <sup>3</sup>	0,293	0,123	0,195
Мутность	мг/дм <sup>3</sup>	10,17	4,39	7,28

© Л.А. Хмарская, Т.Е. Свиноренко, В.А. Ваданов, 2014

показатели качества исходной воды, используемой для подготовки питьевой, предназначенной для потребления человеком, приведены в табл. 1.

*Описание существующей схемы очистки воды*

Технология подготовки питьевой воды производится по классической схеме (рис. 1). Подготовка питьевой воды осуществляется на втором подъеме насосно-фильтровальной станции (НФС II-го подъема). Основные этапы очистки воды включают в себя первичное хлорирование рабочим раствором гипохлорита натрия, коагуляцию рабочим раствором гидроксихлоридов алюминия, отстаивание, фильтрацию и вторичное хлорирование.

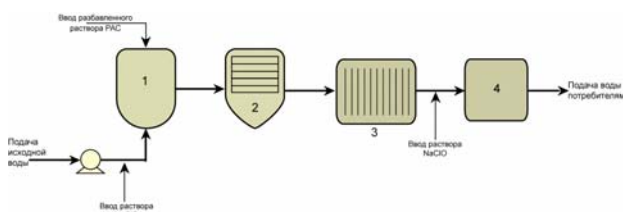


Рис. 1. Существующая схема реagentной обработки на насосно-фильтровальной станции г. Марганца:

- 1 – вертикальный смеситель; 2 – отстойник;  
3 – песчано-гравийные фильтры; 4 – резервуар чистой воды

Исходная вода отличается высокой цветностью и мутностью, особенно в период весеннего паводка и осеннего цветения. В связи с этим систематически нарушаются нормативы ГСанПиН 2.2.4-171-10 по таким показателям как «Взвешенные вещества», «Мутность» и «Цветность». Присутствие в воде значительных количеств растворенных органических соединений так же приводит к превышению показателя «Перманганатная окисляемость». Применение первичного хлорирования при водоподготовке в сочетании с высоким содержанием органических загрязнений в исходной воде приводит к образованию хлорорганических соединений, в том числе хлороформа, в концентрациях, значительно превышающих требования ГСанПиН 2.2.4-171-10.

Существующая схема водоподготовки не обеспечивает необходимое качество воды по вышеприведенным показателям, поэтому актуальной задачей является реконструкция НФС и подбор оптимального варианта реagentной обработки с целью соблюдения норм ГСанПиН 2.2.4-171-10

#### *Экспериментальная часть*

Для подбора оптимальных соотношений доз коагулянтов и флокулянтов были проведены лабораторные испытания, которые позволили сравнить реagentы в условиях высокой мутности исходной воды. В качестве реagentов для водоподготовки применялись коагулянт гидроксихлорид алюминия (ПОЛВАК-40), а также

органический флокулянт (поли-ДАДМАС DB-45).

Исходная вода для проведения пробной коагуляции отбиралась до ввода раствора гипохлорита натрия. Пробы исходной воды обеззараживались рабочим раствором гипохлорита натрия в лабораторных условиях в одинаковых дозах. Пробы анализировались как после одностадийной обработки коагулянтом, так и с дополнительным применением флокулянта.

Коагулянты дозировались в товарном виде, флокулянты вводились в виде 0,1%-го раствора. Эксперименты проводились на лабораторном флокуляторе Velp Scientifica (Италия).

Коагулирование проводилось по следующей схеме:

1. Холостое перемешивание 2 мин, 250 об./мин;
2. Введение дозы гипохлорита натрия;
3. Холостое перемешивание 2 мин, 250 об./мин;
4. Введение коагулянта. Перемешивание 2 мин 250 об./мин;
5. Введение флокулянта. Перемешивание 1 мин 250 об./мин;
6. Медленное перемешивание 2 мин, 40 об./мин;
7. Отстаивание 2 ч.

После отстаивания проб проводился контроль осветления и содержания продуктов гидролиза (остаточный алюминий) по стандартным методикам [2]. Алюминий определялся в нефiltrованной (отстоянной) пробе. Дополнительно определялась концентрация остаточного хлора для определения эффективности обеззараживания [3]. Результаты проведенных лабораторных исследований приведены в табл. 2.

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить:

1. При малых дозах реagentа (10–20 мг/дм<sup>3</sup>) без использования флокулянта, в растворах происходит частичный гидролиз ПОЛВАК-40, что приводит к увеличению содержания остаточного алюминия и неблагоприятно сказывается на процессе очистки. Увеличение же дозы до 40 мг/дм<sup>3</sup> позитивно сказывается на осаждении загрязняющих частиц и уменьшается содержание соединений алюминия в очищенной воде благодаря более полному осаждению укрупненных частиц.

2. Применение коагулянта ПОЛВАК-40 в товарном виде обеспечивает удаление мутности при дозировке 30 мг/дм<sup>3</sup>. Дополнительное применение флокулянта в дозе 0,2 мг/дм<sup>3</sup> обеспечивает снижение дозы коагулянта до 10 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Применение флокулянта DB-45 в дозе 0,2 мг/дм<sup>3</sup> с повышенными дозами коагулянта (порядка 40 мг/дм<sup>3</sup>) обеспечивает максимальное удаление растворенных загрязнений (снижение цветности, окисляемости). При этом значитель-

Таблица 2

Показатели очищенной воды после пробной коагуляции

Коагулянт	Доза коагулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Доза флокулянта, мг/дм <sup>3</sup>	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Цветность, град.	Остаточный алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	Cl <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
Исходная вода	0	0	5,85	33	<0,04	0
ПОЛВАК-40	10	0	1,57	14,02	0,356	0,29
	20		1,12	13,37	0,391	0,52
	30		<0,58	19,18	0,387	0,57
	40		<0,58	12,73	0,372	0,80
ПОЛВАК-40	10	0,1	1,35	17,02	0,305	0,28
	20		0,98	15,95	0,294	0,40
	30		<0,58	15,05	0,224	0,68
	40		<0,58	14,02	0,225	0,71
ПОЛВАК-40	10	0,2	<0,58	18,21	0,230	0,72
	20		<0,58	14,56	0,316	0,57
	30		<0,58	11,12	0,204	0,72
	40		<0,58	9,50	0,265	0,72

Примечание: \* – в случае использования для очистки алюминийсодержащих реагентов концентрация остаточного алюминия может быть увеличена до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

но снижается концентрация остаточного алюминия по сравнению с одностадийной обработкой коагулянтам.

4. Применение двухстадийной реагентной обработки коагулянтам и флокулянтам позволяет увеличить эффект обеззараживания гипохлоритом натрия, что позитивно сказывается на концентрации остаточного хлора в очищенной воде и обеспечивает пролонгированное действие дезинфектанта.

5. Для проведения промышленных испытаний рекомендуется использовать коагулянт ПОЛВАК-40 в дозе 10 мг/дм<sup>3</sup> и флокулянт поли-ДАДМАС ДВ-45 в дозе 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

6. Для оптимизации процесса реагентной обработки необходимо дозировать коагулянт в товарном виде в трубопровод перед смесителем. Оптимальная точка подачи флокулянта – выход из смесителя (существующая линия дозирования коагулянта).

Далее было проведено серии опытов для определения эффективности флокуляционной обработки на действующих сооружениях НФС г. Марганца в период сезонного повышения мутности в р. Днепр. На базе насосно-фильтровальной станции II-го подъема с 30.08.2011 по 08.09 2011 проведены промышленные испытания флокулянта поли-ДАДМАС ДВ-45.

Коагулянт ПОЛВАК-40 подавался в товарном виде (10 мг/дм<sup>3</sup> по товарному продукту) непосредственно в трубопровод перед смесителем (рис. 2). Рабочий раствор флокулянта после

разбавления (0,2 мг/дм<sup>3</sup> по товарному сухому веществу) вводился в верхнюю часть вертикального смесителя. Рабочий раствор гипохлорита натрия (4,5 мг/дм<sup>3</sup> по активному хлору) подавался дозирующим насосом в трубопровод до точки ввода коагулянта.

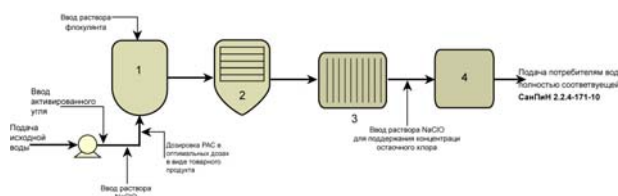


Рис. 2. Модернизированная схема реагентной обработки на насосно-фильтровальной станции г. Марганца:

1 – вертикальный смеситель; 2 – отстойник;

3 – песчано-гравийные фильтры; 4 – резервуар чистой воды

В табл. 3 представлены среднесуточные результаты анализов исходной воды и воды на выходе с насосно-фильтровальной станции II-го подъема. Остаточный хлор измерялся после фильтров (результат первичного хлорирования). В ходе промышленных испытаний отмечен рост концентрации остаточного хлора после первичного хлорирования.

Как видно из данных приведенных в табл. 3, до начала испытания степень снижения «Мутности» составляла около 68%, а количество остаточного хлора находилось в пределах 0,23–0,25 мг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о недостаточной степени очистки воды от органических загрязнений.

31 августа были начаты промышленные испытания флокулянта. В течение 4 дней наблюдалось постепенное улучшение основных параметров очищенной воды: снижение «Мутности» более чем на 90%, увеличение содержания остаточного хлора до 0,84 мг/дм<sup>3</sup>, что свидетельствует о высокой степени очистки от органических загрязнителей. Однако, 4 сентября произошла аварийная остановка оборудования, что привело к некоторому ухудшению основных параметров очищенной воды. На следующий же день, 5 сентября, подача реагентов была возобновлена. Степень осветления составила 87%, количество остаточного хлора в воде зафиксировалось на достаточно высоком уровне (0,46 мг/дм<sup>3</sup>), а содержание алюминия не превышало нормы. Таким образом, из результатов промышленных испытаний флокулянта можно сделать следующие выводы:

1. Применение двухстадийной реагентной обработки коагулянтам и флокулянтам позволило почти вдвое снизить дозу коагулянта ПОЛВАК-40 с 25 до 10 мг/дм<sup>3</sup>. Доза флокулянта ДВ-45 составляла при этом 0,2 мг/дм<sup>3</sup>.

2. Удаление мутности при двухстадийной

Основные показатели исходной и обработанной воды

Дата	Мутность исходной воды, мг/дм <sup>3</sup>	Мутность очищенной воды, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация остаточного Al в РЧВ, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация остаточ. Cl, мг/дм <sup>3</sup>	Доза реагентов, мг/дм <sup>3</sup>	Примечание
28.08.2011	5,40	1,70	0,250	<0,20	NaClO: 4,5; П-40: 25; ДБ-45: 0	
29.08.2011	5,90	2,01	0,230	<0,20	NaClO: 4,5; П-40: 25; ДБ-45: 0	
30.08.2011	5,52	1,70	0,250	<0,20	NaClO: 4,5; П-40: 25; ДБ-45: 0	
31.08.2011	5,46	1,16	0,256	0,24	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	1*
01.09.2011	9,60	0,80	0,300	0,46	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	
02.09.2011	8,34	0,86	0,312	0,84	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	
03.09.2011	9,33	0,86	0,300	0,84	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	
04.09.2011	8,60	1,06	0,286	0,76	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	2*
05.09.2011	6,28	1,20	0,120	0,46	NaClO: 4,5; П-40: 0; ДБ-45: 0	3*
06.09.2011	9,16	1,20	<0,04	0,46	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	
07.09.2011	5,08	1,70	<0,04	0,46	NaClO: 4,5; П-40: 10; ДБ-45: 0,2	4*

Примечание: 1\* – начало промышленных испытаний флокулянта; 2\* – аварийная остановка дозирующего оборудования реагентов (флокулянта и коагулянта); 3\* – восстановление подачи реагентов; 4\* – прекращение промышленных испытаний.

обработке достигает 92%. При одностадийной обработке коагулянтом ПОЛВАК-40 в дозе 25 мг/дм<sup>3</sup> снижение мутности достигает лишь 30%.

3. Использование двухстадийной обработки, а также применение флокулянта ДВ-45 в указанных дозах позволяет в 2,5 раза снизить расход коагулянта.

Снижение расхода натрия гипохлорита для обеспечения обеззараживающего эффекта потребовало более детальных исследований.

Присутствие в воде значительного количества растворенных органических веществ привело к необходимости проведения сравнительных исследований реагентов в условиях высокой перманганатной окисляемости исходной воды.

Лабораторные испытания проводились на базе НФС II-го подъема 26.10.2011 с использованием следующих реагентов: коагулянт гидроксид алюминия ПОЛВАК-40, порошкообразный активированный уголь Norit W35, органический флокулянт поли-ДАДМАС ДВ-45.

Исходная вода для проведения пробной коагуляции отбиралась до ввода раствора натрия гипохлорита. Затем обеззараживались рабочим раствором в лабораторных условиях гипохлорита натрия в одинаковых дозах. Пробы анализировались как после одностадийной обработки коагулянтом, так и с дополнительным применением флокулянта. Дополнительно проведены испытания с предварительной обработкой исходной воды 0,1%-й суспензией активированного угля в дозе 10 мг/дм<sup>3</sup> по товарному углю.

Коагулянт на основе гидроксидов алюминия дозировался в товарном виде микродо-

затором Ependorf, флокулянт вводился микропипетой Biohit в виде 0,1%-го раствора.

Эксперименты проводились на лабораторном флокуляторе Velp Scientifica (Италия).

После отстаивания проб проводился контроль осветления, динамики показателя «Перманганатная окисляемость» и содержания продуктов гидролиза (остаточный алюминий) по стандартным методикам. Алюминий определялся в нефильтрованной (отстойной) пробе. Дополнительно определялась концентрация остаточного хлора для определения эффективности обеззараживания. Результаты проведенных лабораторных исследований приведены в табл. 4.

Как видно из результатов, приведенных в табл. 4, доза коагулянта, как при использовании флокулянта, так и без него, которая позволяет снизить показатели «Перманганатная окисляемость» и «Мутность», составляет 60 мг/дм<sup>3</sup>. Однако, при этом содержание остаточного алюминия в очищенной воде значительно превышает установленные нормы. Дополнительное применение активированного угля позволяет значительно снизить этот показатель за счет усиления процесса коагуляции, а также улучшает органолептическое качество воды.

Исходя из существующих проблем, с целью соблюдения требований ГСанПиН 2.2.4-171-10 было рекомендовано внести следующие изменения в технологию подготовки питьевой воды.

1. В исходную воду, подаваемую на очистные сооружения (до ввода реагентов), дозировать порошкообразный активированный уголь в концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup>. Это позволяет сорбировать растворенные и взвешенные загрязня-

Таблица 4  
Основные показатели очищенной воды

Доза ПОЛВАК-40, мг/дм <sup>3</sup>	Доза DB-45, мг/дм <sup>3</sup>	Доза Norit W 35	Остаточный алюминий, мг/дм <sup>3</sup>	Цветность, град.	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Перманганатая окисляемость, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
Исходная вода	0	0	<0,04	27	1,35	10,1
20	0	0	0,451	14	<0,58	8,9
40	0	0	0,508	10	<0,58	6,33
60	0	0	0,806	13	<0,58	5,14
80	0	0	0,398	14	<0,58	5,65
20	0,2	0	0,533	8	<0,58	8,05
40		0	0,407	14	<0,58	5,68
60		0	0,665	5	<0,58	5,31
80		0	0,188	5	<0,58	3,94
20	0,2	10	0,338	7	<0,58	5,99
40			0,272	6	<0,58	4,62
60			0,159	12	<0,58	5,82
80			0,263	6	<0,58	3,6

Примечание: анализировались нефильтрованные пробы.

ющие вещества, обеспечивая экономию коагулянта, а также позволяет эффективно удалять укрупненные частицы при фильтрации, при этом снижается расход воды на промывку фильтров, а также обеспечивает повышение вкусовых качеств очищенной воды. Для работы в период резкого ухудшения показателей качества воды в источнике водоснабжения (появление запахов органического происхождения, рост радиоактивного загрязнения и т.п.) был предусмотрен ввод активированного угля непосредственно в смеситель, перед отстойниками. Это позволяет увеличить коэффициент сорбции загрязнений и снижает риск «проскока» загрязняющих веществ на фильтры и в резервуар чистой воды.

2. При первичном хлорировании снизить дозу дезинфектанта (натрий гипохлорита). При вторичном хлорировании поддерживать требуемую концентрацию по остаточному хлору. Это позволяет не только избежать образования тригаллометанов, но и снижает расход натрия гипохлорита, что приводит к снижению затрат на обеззараживание и улучшению органолептических свойств обработанной воды.

3. Коагуляцию проводить с применением гидроксихлоридов алюминия в товарном виде в оптимальных дозах (50-80 мг/дм<sup>3</sup>, в зависимости от показателей исходной воды). Применение коагулянта в товарном виде снижает затраты на приготовление рабочего раствора и позволяет избежать потери эффективности коагулянта. Указанные дозы коагулянта в совокупности с

остальными нововведениями обеспечивают снижение окисляемости с 10 до 3 мг О<sub>2</sub>/л.

4. При сезонном увеличении мутности дополнительно обеспечить дозирование флокулянта в количестве 0,2 мг/дм<sup>3</sup> по товарному кристаллическому веществу. В качестве флокулянта рекомендуем применение рабочего раствора полидиаллилдиметиламмоний хлорида, который обеспечивает укрупнение флоккул, образованных в результате предыдущих этапов очистки, и снижает концентрацию остаточного алюминия в обработанной воде.

При обеспечении рекомендованных параметров очистки основная часть загрязнений удалится в отстойниках, в связи с чем снизится нагрузка на фильтры, увеличив фильтроцикл и уменьшив потребность воды на промывку фильтров. Кроме того, необходимость во вторичном хлорировании будет значительно ниже, чем при использовании только первичного хлорирования.

Все перечисленные изменения в технологии подготовки воды представлены в виде схемы, приведенной на рис. 2.

#### Выводы

В ходе модернизации реагентного хозяйства и изменении режима и точек ввода реагентов были получены следующие положительные изменения в процессе подготовки питьевой воды в соответствии с требованиями нормативов ГСанПиН 2.2.4-171-10.

1. Очищенная вода соответствует всем нормативным показателям. Это особенно актуально в период сезонного ухудшения качества исходной воды по таким критичным показателям, как «Цветность», «Мутность», «Запах» и др.

2. Снижился расход дезинфицирующего реагента (натрий гипохлорита) в связи с предварительным удалением загрязнений, влияющих на хлорпоглощаемость (в т.ч. показатель «Перманганатной Окисляемости»).

3. В связи с тем, что основная часть загрязнений оседает в отстойниках, уменьшились затраты очищенной воды, применяемой для промывки фильтров, и, как следствие, сократились затраты электроэнергии на подачу воды для промывки фильтров.

4. Снижилось токсикологическое воздействие на потребителей в связи с глубоким удалением загрязнений бактериологического и вирусного характера, а также благодаря предотвращению образования хлорорганических соединений, обладающих мутагенными свойствами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГСанПиН 2.2.4-171-10. Гигиенические требования к воде питьевой, предназначенной для потребления челове-

ком. – Введ. 2010-01-07. – Официальный вестник Украины, № 51. – 2010. – 99 с.

2. *ГОСТ 18165-89*. Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия. – Введ. 1991-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

3. *ГОСТ 18190-72*. Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора. – Введ. 1974-01-01. – Контроль качества воды: сборник ГОСТов. – М.: Стандартиформ, 2009. – 70-76 с.

Поступила в редакцию 10.01.2014