

# ВОЗМОЖНОСТИ РАСШИРЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДООЧИЩЕННЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В СИСТЕМАХ ЗАМКНУТОГО ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Я. Б. Мосейчук<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Аспирант Института водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук Украины, Киев, Украина

## Реферат

Распространенное использование нетрадиционных, альтернативных источников воды, в том числе, городских сточных вод и стоков агропромышленных комплексов, могут помочь смягчить жесткую конкуренцию за воду. Поскольку сточные воды от предприятий агропромышленного комплекса не токсичные и имеют много органических веществ, то их после очистки биологическими методами на установках с биореактором и контактно-осветлительным фильтром целесообразно использовать для технических нужд в замкнутых системах водоснабжения на этих предприятиях и орошения, а осадок – как удобрение для сельхозкультур. Проведённые аналитические и лабораторные исследования показали повышение эффективности использования предложенных сооружений для модернизации существующих, а также строительства новых сооружений очистки сточных вод.

**Ключевые слова:** закрытая система водоснабжения, сточные воды, очистка воды.

## OPPORTUNITIES FOR EXTENDED USE OF PURIFIED HOUSEHOLD WASTEWATER IN CLOSED SYSTEMS WATER USE OF ENTERPRISES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Y. B. Mosiichuk

## Abstract

The widespread use of non-traditional, alternative sources of water, including urban wastewater and agricultural effluents, can help alleviate fierce competition for water. Since wastewater from agro-industrial enterprises is not toxic and has a lot of organic matter, it is advisable to use them after purification via biological methods in installations with bioreactor and contact-clarification filter for technical needs in closed water supply systems at these enterprises and irrigation, and sediment as fertilizer for crops. Analytical and laboratory studies have shown an increase in the efficiency of using the proposed facilities for the modernization of existing, as well as the construction of new wastewater treatment plants.

**Keywords:** closed water supply system, wastewater, water treatment.

## Введение

Агропромышленные комплексы XXI века ориентированы на замкнутые безотходные системы производства продукции. Рост численности населения и экономический рост осуществляют большее давление на ресурсы пресной воды, и это давление усиливается в связи с изменением климата.

На Глобальном форуме по продовольствию и сельскому хозяйству в 2017 году было заявлено, что спрос на продукты питания вырастет минимум на 50% к 2050 году, и потребности сельского хозяйства в воде будут только расти. Спрос со стороны городов и промышленности также растет. Уже сейчас на сельское хозяйство приходится до 70% потребления пресной воды в мире.

Распространенное использование нетрадиционных альтернативных источников воды, в том числе, сточных вод городов и агропромышленных комплексов, могут помочь смягчить жесткую конкуренцию за воду. Кроме решения проблем, связанных с дефицитом воды, сточные воды часто имеют высокое содержание питательных веществ, позволяют использовать их в качестве удобрения.

## Замкнутые системы водопользования на предприятиях агропромышленного комплекса

Проблема использования очищенных хозяйственно-бытовых вод стимулирует к созданию усовершенствованных систем замкнутого водопользования в ресурсозатратных системах предприятий агропромышленного комплекса (АПК). Для интенсификации процессов в работе сооружений для доочистки сточных вод предложено делать акцент на методах, в основу которых заложено использование сил природы, биологических и фильтрационных сооружений.

В настоящее время существует ряд технологий и подходов, используемых во всем мире для очистки, управления и использования сточных вод в сельском хозяйстве, многие из которых адаптированы

под местную базу природных ресурсов, сельскохозяйственные системы, в которых они используются, и сельскохозяйственные культуры, которые они производят.

Модернизация существующих систем замкнутого водопользования и использование современных технологий в работе предприятий АПК позволяет рационализировать использование водных, материальных и энергетических ресурсов.

Основополагающие идеи усовершенствования систем замкнутого водопользования:

- разделение исходной воды на питьевую и техническую;
- забор воды с исходных источников (подземные или поверхностные) в количестве, нужном для пополнения использованной воды, а также потерь воды в системе водоснабжения;
- очистка воды к качеству питьевой в количестве, которое необходимо для пополнения использованной воды, а также потерь воды в системе водоснабжения;
- доочистка сточной воды к качеству технической воды;
- использование технической воды и осадков для орошения и удобрения сельхозкультур, а также для технического водоснабжения на предприятии;
- отвод дренажных вод для повторного использования на технические нужды предприятий АПК.

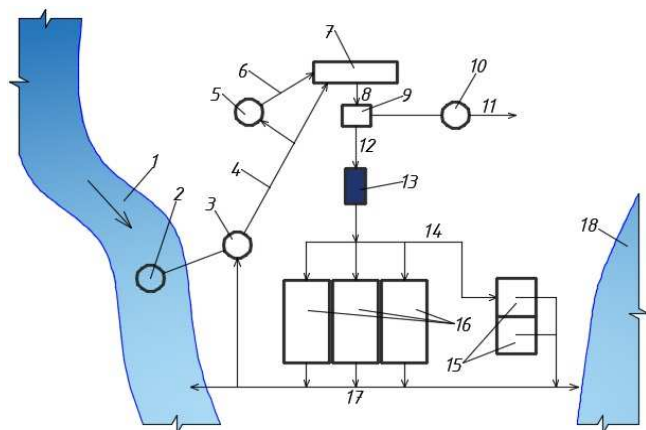
Поверхностный или подземный источники водоснабжения не влияют на принципиальный подход к созданию замкнутой системы водоснабжения.

Для примера рассмотрим систему работы предприятия с использованием поверхностного источника водоснабжения (рис. 1). Исходная вода из поверхностного источника поступает через фильтрующий оголовок 2 в водозаборные-очистное сооружение 3 и оттуда поступает на предприятие АПК 7. Часть технической воды проходит доочистку и

обеззараживания к стандартам питьевой воды на установке 5 и поступает на предприятие АПК 7 с расчетным расходом.

Сточные воды от предприятия поступают по трубопроводу 8 на очистные сооружения механической и биологической очистки 9, откуда иловая насосная станция 10 перекачивает осадки по трубопроводу 11 на переработку и дальнейшее повторное использование, а предварительно очищенные сточные воды поступают для доочистки на установку с БР и КОФ 13. Поскольку после установки сточные воды нетоксичны и имеют много питательных органических веществ, сточную жидкость целесообразно подавать на поля фильтрации 15 и использовать на полях орошения 16 для полива технических сельскохозяйственных культур. Дренажные воды из этих полей отводят по трубопроводу 17 на водозаборно-очистное сооружение 3 или, при чрезмерном их количестве, сбрасывают в реку 1 или в биопруд 18.

Преимущество предлагаемой замкнутой системы водопользования на предприятиях АПК заключается в уменьшении затрат на подготовку технической и питьевой воды, минимизации забора исходной воды из поверхностного водоема и сброса в нее очищенных сточных вод, способствует рациональному использованию водных ресурсов и защите окружающей среды от загрязнений.



1 – река; 2 – фильтрующий оголовок; 3 – водозаборно-очистное сооружение и насосная станция технической воды; 4 – подача технической воды; 5 – установка для доочистки технической воды; 6 – подача воды питьевого качества; 7 – предприятие агропромышленного комплекса; 8 – сброс сточных вод; 9 – сооружения механической и биологической очистки сточных вод; 10 – иловая насосная станция; 11 – подача иловой смеси на переработку; 12 – сброс сточных вод после отстойников; 13 – установка биологической очистки сточных вод; 14 – сброс очищенных сточных вод на поля фильтрации и орошения; 15 – поля фильтрации; 16 – поля орошения; 17 – отвод очищенной воды; 18 – биопруд

**Рисунок 1** – Схема замкнутого водного хозяйства на предприятии агропромышленного комплекса при использовании поверхностного источника водоснабжения

#### Установка биологической очистки сточных вод

Для интенсификации работы сооружений очистки сточных вод предложено использовать такие способы [1]:

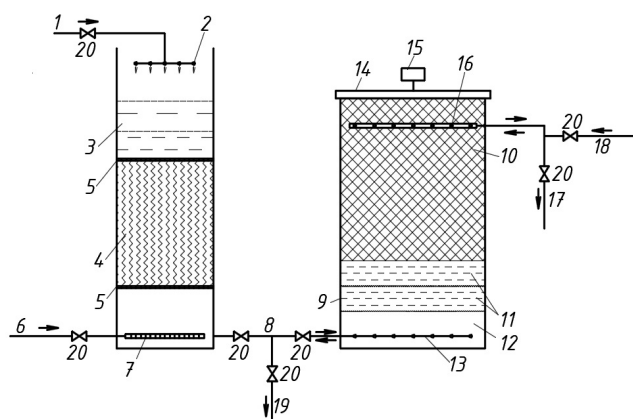
- аэрационная обработка исходной воды;
- контактная коагуляция примесей, находящихся в воде;
- начальная «зарядка» фильтров;
- рациональное дозирование реагентов при промывке фильтров;
- использование сил гравитации при восходящем движении сточной воды через плавающую фильтрующую загрузку;
- очистка сточных вод биологическими методами с помощью прикрепленных гидробионтов в биореакторах с тонковолокнистой загрузкой.

Совершенствование технологии биологической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод на предприятиях АПК предложено осуществить заменой технологических процессов отстаивания воды

на восходящую ее фильтрацию, а также заменить тяжелую загрузку в фильтрах доочистки на более эффективную легкую плавающую фильтрующую загрузку.

Экспериментальные исследования и практический опыт эксплуатации показали, что фильтры способны удалить из сточных вод до 90–95% взвешенных веществ (ВВ) и снизить до 50–70% их биохимическое потребление кислорода (БПК) [2].

Поставленная задача решается путем введения в технологическую схему очистки сточной жидкости биореактора (БР) с волокнистой загрузкой и контактно-осветлительных фильтров (КОФ) с легкой плавающей фильтрующей загрузкой (рис. 2) [3].



1 – подача сточных вод после механической очистки; 2 – аэратор; 3 – биореактор; 4 – волокнистая загрузка из капроновых нитей; 5 – колосниковые решетки; 6 – принудительная подача воздуха; 7 – воздухораспределительная система; 8 – подача жидкости от биореактора на контактно-осветлительный фильтр; 9 – контактно-осветлительный фильтр; 10 – плавающая фильтрующая загрузка; 11 – активный ил; 12 – подфильтровое пространство контактно-осветлительного фильтра; 13 – дренажно-распределительная система; 14 – крышка; 15 – вантуз; 16 – колпачковый дренаж; 17 – отвод фильтрованной воды; 18 – подача воды на промывку фильтра; 19 – сброс осадка и промывной воды; 20 – задвижки

**Рисунок 2** – Технологическая схема установки для биологической очистки сточных вод

Сначала работы БР происходит накопление и закрепление микроорганизмов, окисление и удаление из воды загрязнений, а на втором этапе происходит отмирание культуры и отрыв биомассы и минеральных частиц с поверхности волокон под действием гидродинамических сил фильтрационного потока, который выносит их в подфильтровое пространство КОФ, где создается активный ил, проходя через который, происходит очистка воды.

Этот слой осадка из хлопьев является полидисперсной средой, поскольку размеры хлопьев постоянно изменяются. Они увеличиваются вследствие прилипания к ним ВВ, удаляемых из воды, и уменьшаются под влиянием гидродинамического действия восходящего потока воды.

Восходящее фильтрование воды через фильтры с плавающей загрузкой имеет свои особенности, состоящие в том, что мелкие гранулы пенополистирола размещаются всегда внизу фильтрующей загрузки, ее нижние слои имеют меньшую пористость, их водопроницающие каналы быстро заполняются осадком, в то время как верхние слои фильтрующей загрузки в течение фильтрационного цикла почти не используются для заполнения их осадком.

Следовательно, в подфильтровом пространстве КОФ будут одновременно находиться хлопья, которые выпадают в осадок на дно фильтра, мелкие хлопья, которые гидродинамическим потоком восходящего движения воды прижаты к нижнему слою плавающей загрузки и отдельные хлопья, находящиеся во взвешенном состоянии. Все это зависит от размеров хлопьев, их плотности и скорости восходящего движения воды.

Описанные факторы значительно усложняют процесс осветления воды и возможность его математического моделирования.

В отличие от осветлителя со взвешенным осадком, в котором излишки осадка сбрасываются в осадкоуплотнитель, а в зоне осветления концентрация взвешенных частиц остается примерно постоянной, в подфильтровом пространстве КОФ в течение фильтроцикла происходит непрерывное накапливание осадка и увеличение его концентрации, что приводит к явлению стесненного осаждения взвешенных частиц (хлопьев), характерная особенность которого состоит в том, что скорость осаждения зависит не только от размеров и веса частиц, но и их концентрации.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты лабораторных исследований и вычислений зависимостей грязеемкости  $G$  и эффективности очистки  $E$  на установке с БР и КОФ при задержании на установке ВВ и примесей, обуславливающих БПК<sub>5</sub>.

Удельная грязеемкость определяется по формуле:

$$G = 0.024V_{fj} \int_0^{T_{fj}} C_{0,i} E_i dt, \text{ кг/м}^2, \quad (1)$$

где  $V_{fj}$  и  $T_{fj}$  – соответственно скорость фильтрования воды, м/ч, и продолжительность фильтроцикла, суток, для  $j$ -го цикла измерений процесса фильтрования воды;  $C_{0,i}$  – содержание ВВ в исходной воде, мг/дм<sup>3</sup>, в данный ( $i$ -ый) момент времени в течение фильтроцикла;  $E_i$  – эффективность очистки воды, определяется по формуле:

$$E_i = \frac{C_{0,i} - C_{f,i}}{C_{0,i}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

$C_{f,i}$  – содержание ВВ в фильтрованной воде, мг/дм<sup>3</sup>.

Из таблиц видно, что в течение фильтроцикла эффективность очистки воды сначала увеличивается до определенного предела, а потом начинает уменьшаться. Основным фактором влияния на изменение эффективности очистки воды является величина удельной грязеемкости  $G$  при данной скорости фильтрования воды  $V_f$ , которая определяется по формуле (1). Это объясняется тем, что увеличение объема активного ила в подфильтровом пространстве улучшает очистку воды от примесей, но увеличивает гидравлическое сопротивление восходящему движению воды, что приводит к проскоку загрязнений в фильтрованную воду, а, следовательно, увеличению значений  $C_{f,i}$  и уменьшению эффективности очистки воды  $E_i$ .

В предложенной схеме очистки БР имеет три назначения:

- биохимическое окисление примесей, находящихся в исходной воде, при помощи микроорганизмов, прикрепленных на поверхности волокнистой загрузки БР;
- удаление газов из воды для исключения пузырьковой кольматации в подфильтровом пространстве КОФ;
- обеспечение постоянной скорости фильтрования воды в течение фильтроцикла.

На КОФ происходят глубокая доочистка воды при ее восходящем движении через пенополистирольную загрузку. В подфильтровом пространстве этого фильтра накапливается активный ил, который дополнительно принимает участие в очистке воды.

Проведенные исследования показали, что одним из самых эффективных и экономичных методов очистки сточных вод является фильтрование на установках с плавающей загрузкой [4, 5]. В результате аэрации воды при излишки ее в надфильтровое пространство и проникновение кислорода воздуха в толщу незатопленной загрузки развивается биохимически активная среда, которая способна окислять органические загрязнения в сточной воде.

Концентрация растворенного кислорода в толще фильтрующей загрузки достигает более 2 мг/дм<sup>3</sup>, что обеспечивает активную жизнедеятельность микроорганизмов, находящихся в биопленке, которая образуется на поверхности зерен загрузки, а также активном иле, который накапливается в межпоровом пространстве [6].

На основании экспериментальных исследований процессов биологической очистки сточных вод на установках с волокнисто-пенополистирольной фильтрующей загрузкой установлено, что эффективность очистки зависит от скорости фильтрования воды и удельной грязеемкости фильтра.

Поскольку сточные воды от предприятий АПК не токсичные и имеют много органических веществ, то их после очистки биологическими методами на установках с БР и КОФ целесообразно использовать в замкнутых системах водоснабжения на этих предприятиях для технических нужд или орошения, а осадок – как удобрения. Проведенные аналитические и лабораторные исследования показали повышение эффективности использования предложенных сооружений для модернизации существующих, а также строительства новых сооружений очистки сточных вод.

### Заключение

Целесообразно проводить реконструкцию существующих канализационных сооружений с внедрением в технологическую схему узлов доочистки, таких как контактно-осветлительные фильтры и биореакторы с плавающей загрузкой с использованием этих сооружений в замкнутых системах водопользования на предприятиях АПК.

Для экономного расходования водных, материальных и энергетических ресурсов и минимизации сброса очищенных сточных вод в природные водоемы целесообразно применять замкнутые системы водопользования на предприятиях АПК, а биологическую очистку сточных вод осуществлять по предложенной технологической схеме, в состав которой входят БР с волокнистым и КОФ с пенополистирольными плавающими загрузками.

### Список цитированных источников

1. Хоружий, П. Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомуцька, В. П. Хоружий. – Київ : Аграрна наука, 2008. – 534 с.
2. Гириль, Н. Н. Доочистка сточных вод на зернистых фильтрах / Н. Н. Гириль, М. Г. Журба, Г. М. Семчук, Б. Н. Якимчук // Специальное издание. – СПОО «Типография Левобережная», 1998. – 92 с.
3. Станція для біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод : пат.122635 Україна. № u 2017 04845; заявл. 19.05.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
4. Запольский, А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
5. Ковальчук, В. А. Очистка стічних вод. – Рівне : ВАТ "Рівненська друкарня", 2002. – 622 с.
6. Гвоздяк, П. И. Микробиология и биотехнология очистки воды : quovadis? // Химия и технология воды. – 1989. – № 9. – С. 854–858.

### References

1. Horuzhy, P. D. resource-saving technologies of water supply / P. D. Horuzhy, Other homutetsky, V. P. Horuzhy. – Kiev : Agrarian science, 2008. – 534 p.
2. Girol, N. N. Tertiary treatment of sewage on granular filters / N. N. Girol, M. G. Zhurba, G. M. Semchuk, B. N. Yakimchuk // The Special edition. – SPOOO "Printing house Left-bank", 1998. – 92 p.
3. The station for biological purification of economic and household sewage: stalemate.122635 Ukraine. No u 2017 04845; yayavl. 19.05.2017; opubl. 25.01.2018, Bulletin No 2.
4. Zapolsky, A. K. Of water supply, water disposals and water quality: textbook. – Kiev : The higher school, 2005. – 671 p.
5. Kovalchuk, V. A. Sewage treatment. – Exactly : JSC Rivne Printing House, 2002. – 622 p.
6. Gvozdyak, P. I. Mikrobiologiya and biotechnology of water purification: quovadis? // Chemistry and technology of water. – 1989. – No 9. – Page 854–858.

Таблица 1 – Результаты исследований величин  $G$  и  $E$  в течение фильтроцикла для ВВ на установке с волокнисто-пенополистирольной загрузкой

Время фильтрации $T_f$ , сутки	Скорость восходящего потока воды $V_f = 1$ м/ч		Скорость восходящего потока воды $V_f = 3$ м/ч	
	Удельная грязеемкость $G$ , кг/м <sup>2</sup>	Эффективность очистки $E$ , %	Удельная грязеемкость $G$ , кг/м <sup>2</sup>	Эффективность очистки $E$ , %
1	0,52	80,00	0,68	72,31
2	1,04	80,37	1,37	73,28
3	1,56	80,44	2,07	74,05
4	2,09	80,81	2,77	74,81
5	2,62	81,18	3,48	75,38
6	3,15	81,68	4,19	76,15
7	3,68	81,62	4,92	77,10
8	4,22	81,99	5,65	77,86
9	4,76	82,72	6,39	78,63
10	5,30	83,03	7,11	76,92
11	5,84	83,33	7,83	76,15
12	6,38	84,07	8,53	75,38
13	6,94	84,62	9,23	74,62
14	7,50	84,98	-	-
15	8,05	85,35	-	-
16	8,61	84,62	-	-
17	9,17	85,04	-	-
18	9,73	85,40	-	-
19	10,30	86,13	-	-
20	10,85	85,29	-	-
21	11,40	84,07	-	-
22	11,94	83,70	-	-

Таблица 2 – Результаты исследований величин  $E$  и  $G$  в течение фильтроцикла для БПК<sub>5</sub> на установке с волокнисто-пенополистирольной загрузкой

Время фильтрации $T_f$ , сутки	Скорость восходящего потока воды $V_f = 1$ м/ч		Скорость восходящего потока воды $V_f = 3$ м/ч	
	Удельная грязеемкость $G$ , кг/м <sup>2</sup>	Эффективность очистки $E$ , %	Удельная грязеемкость $G$ , кг/м <sup>2</sup>	Эффективность очистки $E$ , %
1	0,36	74,33	0,80	75,58
2	0,72	74,75	1,61	76,26
3	1,09	75,12	2,43	76,95
4	1,45	75,12	3,25	76,96
5	1,82	76,62	4,07	77,55
6	2,19	77,00	4,89	77,60
7	2,56	77,61	5,72	78,29
8	2,94	78,22	6,56	79,00
9	3,33	80,20	7,41	79,65
10	3,72	80,30	8,24	78,31
11	4,11	80,79	9,06	77,64
12	4,50	80,70	9,87	76,19
13	4,89	80,79	10,67	75,51
14	5,29	81,28	-	-
15	5,69	81,68	-	-
16	6,09	82,25	-	-
17	6,50	83,33	-	-
18	6,90	83,66	-	-
19	7,30	81,28	-	-
20	7,69	80,39	-	-
21	8,07	79,00	-	-
22	8,45	78,50	-	-

Материал поступил в редакцию 04.07.2019