



## DIFFERENTIAL RECYCLING WATER SUPPLY SYSTEMS

### ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЧИСТКА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Shandyba A.B. / Шандыба А.Б.

Ph.D., assistant prof. / к.т.н., доцент

Sumy National Agrarian University, Sumy, Kondrat'ev St. 160, 40021

**Аннотация:** В современных производствах широкое применение нашли главным образом локальные одно- и двухступенчатые оборотные системы в режиме с продувкой циркуляционного контура и/или с использованием реагентов. Характерным примером дифференцированного накопления и удаления загрязнений является оборотная система водяного охлаждения теплонагруженных поверхностей. Здесь в качестве основного легкоудаляемого компонента выступает температурное загрязнение, а тяжелоудаляемого - соли жесткости, накопление которых приводит к инкрустации элементов системы. В этом случае, если для охлаждения воды предусмотрена градирня, то минерализация ограничивается лишь продувкой системы. Применение ингибирующих добавок приводит к установлению солевого баланса в системе за счет гидравлического выноса в градирнях (то есть специфической продувки, пропорциональной соответствующему повышению допустимой минерализации циркуляционной воды), но без применения специализированных очистных стабилизационных установок.

**Ключові слова:** очистка циркуляционной воды, системы оборотного водоснабжения, качество очистки оборотной воды.

#### 1. Теоретическое обоснование дифференцированных систем оборотного водоснабжения. Постановка задачи исследования

Принимая во внимание традиционные схемы оборотного водоснабжения, во многих случаях продувку можно полностью исключить дополнительной байпасной степенью корректировки солесодержания оборотной воды на основе различных видов термореагентной обработки, ионного обмена, гиперфльтрации и других методов глубокой очистки [1], [2], [3]. В связи со значительной стоимостью устройства и эксплуатации замкнутых водооборотных систем, возникает проблема максимального сокращения гидравлической нагрузки на более дорогие и энергоемкие аппараты корректировки солесодержания. В таком случае рациональным решением может быть применение байпасной ступени дифференцированной очистки и стабилизации оборотной воды при условии баланса поступления и извлечения лимитирующего компонента загрязнения согласно уравнению:

$$C'_i E_i Q + C_i E_{in} Q_n = (r + g) C_{io} + M_i - G_i, \quad (1)$$

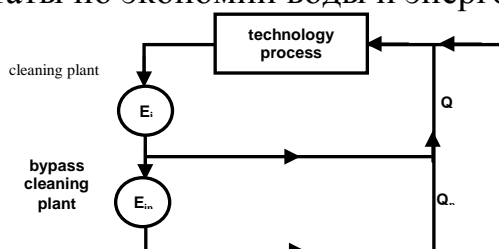
где:  $Q$ ,  $Q_n$  – соответственно, общая производительность оборотной системы и производительность  $n$ -й ступени очистки;  $E_i$  – эффективность очистки  $i$ -го компонента на первой ступени системы;  $E_{in}$ ,  $C_{in}$  – соответственно, эффективность очистки и концентрация  $i$ -го компонента в циркуляционной воде, которая поступает на  $n$ -ю ступень системы;  $C'_i$ ,  $C_i$  – соответственно, максимальная продувочная концентрация  $i$ -го компонента на первой ступени системы и текущая его концентрация перед  $n$ -й (байпасной) ступенью очистки и стабилизации;  $C_{io}$  – начальная его концентрация  $i$ -го компонента в подпиточной свежей воде;  $r$ ,  $g$  – соответственно, потери



циркуляционной воды на испарение и гидравлический вынос;  $M_i$  - интенсивность поступления  $i$ -го компонента в систему от технологического процесса;  $G_i$  - интенсивность потерь  $i$ -го компонента в цикле.

Для оценки возможности снижения расчетного расхода  $Q_n$  относительно специализированного очистного сооружения  $n$ -ой ступени исключим гидравлические потери, то есть  $(r + g) = 0$ . Тогда, учитывая специализацию очистного сооружения  $n$ -ой ступени, которая предусматривает эффективную очистку  $i$ -го лимитирующего компонента, из левой части выражения (1) получим условие двухступенчатой дифференцированной очистки и стабилизации циркуляционной воды в байпасном контуре.

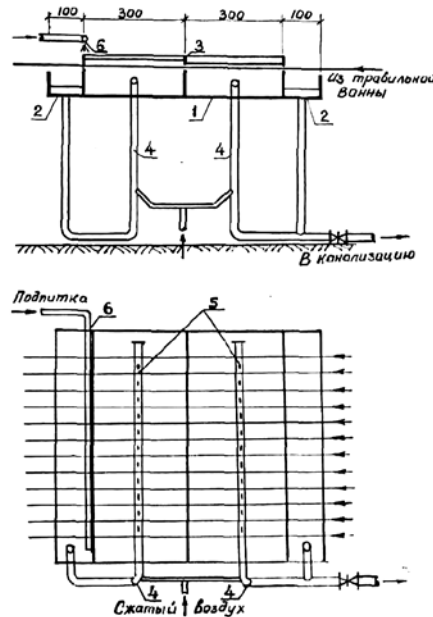
На первом этапе исследований была поставлена задача теоретически обосновать саму возможность отдельной очистки со значительным уменьшением расхода воды, подаваемой на вторую ступень и соответствующим сокращением затрат. На примере технологических процессов металлообработки и мелиоративных оборотных систем были получены обнадеживающие результаты по экономии воды и энергоресурсов.



**Рис.1 Принципиальная схема очистки и стабилизации оборотной воды**

### 1. Применение эрлифтов для циркуляции технологического раствора

Эрлифты являются специальным видом насосов, в которых одновременно осуществляется циркуляция и перемешивание растворов при промывке, пассивировании и нанесении функциональных покрытий на поверхность стального проката или металлоизделий (рис.2). Разработанные на кафедре охраны труда СНАУ компактные установки отличаются простотой конструкции, надежностью в эксплуатации и могут применяться для загрязненных растворов с абразивными компонентами. Одна из наиболее экономичных промышленных промывных установок [1], [2], [3], [4], [5], [6] состоит из ванны 1 с сборными водосточными желобами 2, разделенная перегородкой 3 на секции, каждая из которых оборудована циркуляционным эрлифтом 4, соединенным с перфорированной распределительной трубой 5. При подаче сжатого воздух образуется водовоздушная смесь, которая через отверстия распределительных труб поступает в секции ванны. Турбулизация раствора вблизи распределительных труб приводит к интенсивному смыву загрязнений с поверхности обрабатываемого металлокорда или других металлоизделий. Часть загрязненной промывной воды из первой секции по ходу движения металлокорда поступает в цеховую канализацию и далее на дифференцированную очистку с байпасом.



**Рис.2. Установка для обработки поверхности металлокорда**

Компенсация продувочных расходов на первой секции промывки обеспечивается за счет перетекания менее загрязненной воды из второй степени через гребневую перегородку 3, что разделяет секции. Подпитка второй секции осуществляется из душевого коллектора 6. Преимуществам подобной системы следует отнести низкое рабочее давление воздуха, что позволяет использовать вместо компрессорного сжатого воздуха относительно дешевый воздух центробежных воздуходувок. В результате проведенных исследований было установлено, что существующие полуэмпирические модели процесса нуждаются в уточнении для коротких циркуляционных эрлифтов. Рассмотрим некоторые гидравлические особенности работы эрлифта в промывных установках такого типа. Из опыта эксплуатации известны специфические гидродинамические явления, которые происходят с водовоздушной смесью при движении ее внутри подающей трубы. Одним из них есть то, что сжатый воздух после смешивания с водой поднимается вверх быстрее, чем вода, которая вовлекается в это движение и вследствие этого наблюдается так называемое "проскальзывание" потоков. При увеличении части воздуха в водовоздушной смеси, потери энергии, вызванные относительным движением воды и воздуха, в общем балансе будут превалировать над потерями трения о стенки подающей трубы и происходит существенное снижение к.п.д эрлифтной установки.

Следует отметить также, что относительное движение воды и воздуха в поднимающей трубе наблюдается независимо от того, заполненной воздухом все пересечение трубы, или воздух поднимается отдельными пузырьками. Количественное соотношение плотности воздуха и воды в водовоздушной смеси, которая создается эрлифтом, можно оценить следующим выражением:

$$\rho_c = \rho \frac{q}{q + kQ} \quad (2)$$

где, соответственно,  $\rho$ ,  $\rho_c$  – соответственно, плотность воды и водовоздушной смеси;  $q$ ,  $Q$  - расходы воды и воздуха соответственно;  $k$  - гидродинамический



коэффициент, характеризующий относительное количество воздуха, который создает водовоздушную смесь (к.п.д. смешивания).

Следует заметить, что подъем промывной жидкости на высоту  $h$  возможен лишь при выполнении условия,  $\rho_c = \rho \frac{H}{h+H}$  (3)

где:  $H$  - глубина погружения воздушного патрубка относительно уровня воды в секции;  $h$  - рабочая высота подъема, который равняется разнице уровней воды в секции и сборном водосточном желобе. С другой стороны, расход воздуха, который приходит в эрлифт, зависит от глубины погружения воздушного патрубка и расчетного давления, создаваемого воздуходувкой,

$$Q = \mu S_0 \sqrt{2g(H_0 - H)} \quad (4)$$

где:  $\mu$  - коэффициент расхода;  $S_0$  - площадь сечения воздушного патрубка;  $H_0$  - расчетный напор воздуходувки.

С учетом приведенных зависимостей (2-4) можно записать

$$\alpha = \frac{H}{H+h} = \frac{q}{q + A\sqrt{H_0 - H}} \quad (5)$$

где:  $\mu$  - часть воздуха в водовоздушной смеси (водовоздушное отношение);  $A$  - параметр производительности эрлифта.

Окончательное выражение, удобное для обработки экспериментальных данных, будет иметь вид:  $\frac{1-\alpha}{\alpha} q = A\sqrt{H_0 - H}$  (6)

Результаты промышленных испытаний предложенной конструкции [2] при минимальном количестве секций обработки (предыдущая и чистовая) и относительной глубине погружения воздушного патрубка в пределах 0,45 - 0,90 подтвердили ее адекватность для численного значения параметра эрлифта  $A = 0,65$ .

## 2. Результаты промышленных испытаний дифференцированной очистки в системе оборотного водоснабжения

Как известно, уровень требований к качеству очистки оборотной воды, очищенной от взвешенных веществ, определяется спецификой технологического процесса, а также интенсивностью накопления и удаления загрязнений в цикле [1], [2]. При этом сброс избыточных продувочных вод в систему коммунальной канализации обычно ограничивается максимальной концентрацией 300 - 500 мг/л для первой ступени цикла, хотя некоторые водопотребители допускают содержание взвешенных до 150 мг/л. Однако большинство технологических процессов требуют, чтобы этот показатель не превышал 20 - 40 мг/л. Так, согласно лабораторному анализу загрязненность сточных вод электродного производства Череповецкого сталепрокатного завода (РФ) при среднем водоотведении 120 м<sup>3</sup>/час составляет [мг/л]: взвешенные вещества 850 - 110; хром общий 4 - 16; марганец 0,5 - 7; силикаты 12 - 33; кальций 90 - 210; хлориды 6 - 40; PH 8 - 8,3.

С целью повышения эффективности [3], [4], [5], [6] очистки оборотной воды на существующих производственных площадях предложено применить двухступенчатую схему осветления «гидроциклон-фильтр».



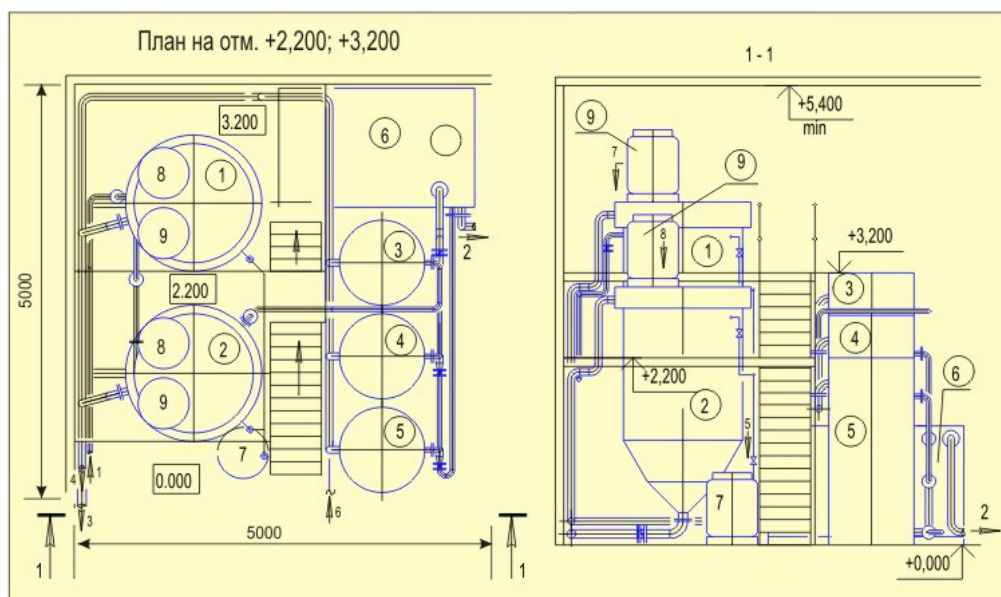
Согласно предлагаемой схеме, исходная вода, поступающая от участков цеха по напорным трубопроводам в пульподелитель (приемник) распределяется между гидроциклонами ГЦ – 1, 2, расположенными по оси центральных опорных колонн (Рис.3). Количество (2 шт.) и диаметр гидроциклонов (2,4 м) выбраны с учетом общей производительности и удельной гидравлической нагрузки порядка 5,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>•час, расстояния между колоннами и стесненных условий монтажа оборудования. Эффективность осветления в безнапорных гидроциклонах при номинальной нагрузке составляет 70 – 85 % , что обеспечивает снижение концентрации взвеси в очищенной воде с 800 – 100 мг/л до 200 – 250 мг/л. Улавливаемый в гидроциклонах осадок отводится в действующий горизонтальный отстойник, используемый в качестве 2-секционного осадкоуплотнителя с грейферной выгрузкой осадка. Объемный расход осадка с концентрацией твердого 6 – 10 г/л не превышает 8 – 10 % расхода сточных вод, что составляет 10 – 12 м<sup>3</sup>/час. Предварительно очищенная вода из гидроциклонов первой ступени поступает на фильтры 1,2,3 с плавающей пенополистирольной загрузкой. Эффективность очистки в условиях нисходящего фильтрационного потока не менее 85 %, при этом содержание взвеси в фильтрате снижается соответственно до 20 – 40 мг/л (Табл. 1).

Табл.1.

**Результаты двухступенчатой очистки сточных вод электродного цеха от взвешенных веществ**

Концентрация взв. в-в в исходной воде мг/л	Время отстаивания, мин.	Концентрация взв. в-в в пробе на глубине, мм 300 / 100	Эффект. осветл. %	Концентрация взвеш. веществ	
				песок	пенополист.
				0,5 0 - 1 мм	0,5 – 1,5 мм
1080	5	404/368		15	43
	10	295/271		15	33
	30	270/246	76	11	27
1022	5	353/310		16	37
	10	306/298		12	30
	30	237/200	80	10	24
780	5	328/294		16	37
	10	280/269		13	31
	30	174/155	80	10	22





**Рис. 3** Схема расположения очистных сооружений системы оборотного водоснабжения

### 3. Мелиоративная циркуляционная промывка загрязненных почв [3]

Промывная вода по распределительной системе лотков подается на загрязненный участок, ограниченный геомембранными экранами, препятствующими притоку грунтовых вод извне. Уровень промывных вод в пределах участка поддерживается ниже уровня грунтовых вод системой горизонтального дренажа, связанного с приемным колодцем, оборудованным циркуляционным насосом.

Разделение оборотного контура на две ступени позволяет снизить расход циркуляционной воды на байпасной линии и сэкономить эксплуатационные расходы. В отдельных случаях, если интенсивность накопления загрязнений невелика, можно ограничиться продувкой системы. Но рекомендуемым вариантом следует принять грубую механическую очистку основного объема циркуляционной воды на первой ступени и более качественную стабилизационную обработку на второй байпасной линии. Естественно, должен соблюдаться баланс поступления и удаления загрязнений из системы.

**ВЫВОДЫ.** При дифференцированной обработке байпасного потока воды достигается стабилизация всей циркуляционной системы за счет более эффективной очистки меньшего объема воды и удаления лимитирующих загрязнений из оборотного цикла. Техничко-экономическая эффективность интенсификации обработки металлоизделий в ваннах непрерывно-травильных агрегатов за счет использования короткого эрлифта достигается в комплексе водооборотной системы с локальными очистными сооружениями. Определены гидродинамические параметры работы коротких эрлифтов в промывных противоточных многоступенчатых ваннах обработки поверхности металлокорда. Предложена система дифференцированной очистки промывной воды в процессах мелиоративной рекультивации загрязненных почв.



Таблица 2.

### Результаты дифференцированной промывки грунтов от растворимых загрязнений

Experiment number	Stage number	Water volume ml	Effluent concentration, g/l	Mass of removed pollutant, mg (# total)
1	2	3	4	5
1a	1	100	2,56	256
	2	200	0,33	66 # 322
1b	1	200	1,75	350
	2	100	0,68	68 # 418
2a	1	100	2,33	233
	2	200	0,29	58 # 291
2b	1	200	1,78	356
	2	100	0,52	52 # 408
3a	1	100	2,21	221
	2	200	0,38	76 # 297
3b	1	200	1,72	344
	2	100	0,67	67 # 411
4a	1	100	2,25	225
	2	200	0,38	76 # 301
4b	1	200	1,83	366
	2	100	0,60	60 # 426
5a	1	100	2,13	213
	2	200	0,41	82 # 295
5b	1	200	1,69	338
	2	100	0,75	75 # 413
6a	1	100	2,18	218
	2	200	0,43	86 # 304
6b	1	200	1,67	334
	2	100	0,72	72 # 406
7a	1	100	2,05	205
	2	200	0,49	98 # 303
7б	1	200	1,64	328
	2	100	0,71	71 # 399
8a	1	100	2,29	229
	2	200	0,36	72 # 301
8б	1	200	1,73	346
	2	100	0,64	64 # 410

Литература:

1. Shandyba A.B. Ecology Forecast for Migration of the Chemical Substances into Ground and Surface Water.- Fresenius Environ. Bull.- Basel, Switzerland.-



1995.- vol.4, pp. 80-85.

2. Shandyba A.B., Vakal S.V., Chivanov V.D. Pollution Removal by Washing of Contaminated Soils.- in Proc. GREEN2 Int. Symposium “Contaminated and derelict land”.- Krakow, Poland.- 1997.- pp.313-316.

3. Tolbatov A.V. Improving the information support of management of agricultural enterprises through innovations / O.B. Viunenko, M.M. Ruban, H.A. Smoliarov, I.H. Smoliarov, A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // SW Journal Agriculture. Scientific world, Ivanovo, 2015. – Volume J21509 (9). [November 2015]. – P. 8–13. – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/j21509.pdf>

4. Tolbatov A.V. Organization of investments support in innovation activities of agriculture of the region / A.V. Tolbatov, G.A. Smolyarov, V.A. Yefanov, Y.G. Smoliarov, V.A. Tolbatov, M.N. Ruban, S.V. Tolbatov // SW Journal Management and Marketing. – Scientific world, Ivanovo, 2016. – Volume 07 J116 (10). [May 2016]. P. 3–9. – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/j11607.pdf>

5. Tolbatov A.V. Development concept modeling of business processes of modern industrial enterprises in terms of theoretical and legal approaches to the analysis information security / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyi, 2017. – №1 –P.196–199.

6. Tolbatov A.V. Functional modeling – methodological basis for investigation of business processes at industrial enterprises / A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – Khmel'nyts'kyi, 2017. – №3 – P.186–189.

**Abstract.** *The use of recycling water supply systems under non-blowing operation results in the contaminants accumulation and exceeding concentration limits for circulation water). Balance of accumulation and contaminant removing is provided by treatment plants (cleaners) which usually are special-purposed for several contaminants. However, it is necessary to remove all dangerous limited components from circulation water. Moreover, a different intensity of a different contaminants accumulation in circulation water must be compensated by means of an adequate intensity of removing these components from water on the treatment stages.*

**Key words:** *circulation water treatment, water recycling systems, quality of water recycling.*