



УДК 669.013:628.1

В.И. ЧИСЛОВ, главный технолог, **А.С. ПЕРЕЛЫГИН**, начальник группы

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

И.П. СОЛОМАХА, старший инженер

Белоцерковский сталепрокатный завод, г. Белая Церковь

ПУТИ СОКРАЩЕНИЯ ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ ПРИРОДНОГО ИСТОЧНИКА НА ПРИМЕРЕ БЕЛОЦЕРКОВСКОГО СТАЛЕПРОКАТНОГО ЗАВОДА

Рассмотрены проектные решения по снижению объема речной воды, забираемой на производственные нужды, на примере Белоцерковского сталепрокатного завода. Отмечена возможность и необходимость более широкого использования очищенных дождевых и доочищенных бытовых сточных вод на производственные нужды. Приведены схемы закрытых и открытых оборотных циклов:

закрытые и открытые оборотные циклы водоснабжения, очистка, охлаждение, дождевые воды, бытовые стоки, природный источник, сокращение сбросов в водоемы

Строящийся сталепрокатный мини-завод (г. Белая Церковь) включает электросталеплавильный цех, прокатный цех и сопутствующие им вспомогательные производства.

В сталеплавильном производстве водяное охлаждение предусматривается для электродуговой сталеплавильной печи (ДСП), машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и установки «печь-ковш» (УПК).

В прокатном цехе охлаждается нагревательная печь и элементы мелкосортно-проволочного стана 350/200: рабочие клетки, участок холодильника, участок уборки прутков и участок производства катанки.

Технологией предусмотрены два способа охлаждения: закрытый бесконтактный и открытый контактный. При закрытом бесконтактном охлаждении вода в процессе производства только нагревается, при открытом контактом – нагревается и загрязняется.

Требования к качеству воды (исходной и отработанной) отличаются для различных потребителей. Показатели качества воды приведены в табл. 1.

При решении задачи обеспечения водой металлургического производства в основу закладывается, в первую очередь, выполнение требований технологического процесса к качеству и количеству подаваемой воды

и к надежности водообеспечения и, во вторую очередь – стремление к минимальному забору воды из природных источников с одновременным максимальным сокращением или прекращением сбросов в водоемы.

Сокращение объемов воды, забираемой из природного источника, достигается:

- организацией водоснабжения по оборотной схеме,
- организацией оборотного водоснабжения с использованием аппаратов воздушного охлаждения,
- использованием очищенных дождевых вод,
- повторным использованием промывных вод фильтров,
- использованием доочищенных бытовых сточных вод города или завода.

На Белоцерковском сталепрокатном заводе организовано 9 оборотных циклов водоснабжения: 6 – закрытых бесконтактных, 1 – открытый бесконтактный и 2 – открытых контактных.

В закрытых бесконтактных оборотных циклах отсутствует контакт воды и с охлаждаемым элементом и с воздухом; в открытом бесконтактном цикле имеет место контакт воды с атмосферным воздухом; в открытом контактном цикле вода контактирует как с охлаждаемым элементом, так и с атмосферным воздухом. Организация оборотных циклов диктуется качеством исходной и отработанной воды и требуемым давлением. Закрытые бесконтактные оборотные циклы организованы для охлаждения элементов ДСП и УПК (два оборотных цикла), кристаллизатора МНЛЗ, оборудования МНЛЗ, нагревательной печи прокатного стана,

охлаждаемого газохода сталеплавильной печи. В четырех из шести закрытых оборотных циклов для охлаждения отработанной воды используются теплообменники «вода-вода», в двух – аппараты воздушного охлаждения «вода-воздух».

Для охлаждения воды в теплообменниках организуется открытый бесконтактный оборотный цикл, в котором нагретая вода охлаждается в вентиляторных градирнях открытого типа. В закрытых оборотных циклах отсутствуют потери умягченной воды, но имеют место потери воды на испарение и капельный унос в вентиляторных градирнях открытого бесконтактного цикла.

Производительность закрытых оборотных циклов с теплообменниками составляет 3950 м³/час, открытого бесконтактного – 3706 м³/час, в т.ч. 3520 м³/час – на охлаждение умягченной воды в теплообменниках и 186 м³/час – на нужды вспомогательных производств (отделения обжига известняка, компрессорной, кондиционеров, полив зеленых насаждений и др.).

Производительность оборотных циклов с аппаратами воздушного охлаждения (АВО) составляет 4040 м³/час. Применение воздушных охладителей возможно в тех случаях, когда требуемая температура исходной воды превышает максимальную температуру воздуха по сухому термометру не менее чем на 10 °С. Для сталеплавильной печи и охлаждаемого газохода эта температура составляет: для исходной воды – соответственно 70 и 85 °С, для отработанной воды – 90 и 110 °С.

На рис. 1 приведены схемы закрытых бесконтактных и открытого бесконтактного оборотных циклов водоснаб-

Таблица 1 – Показатели качества воды для различных потребителей

Наименование показателей	Наименование потребителей, количественные показатели качества воды									
	ДСП, кристаллизаторы и оборудование МНЛЗ, нагревательная печь		ДСП/УПК: панели, свод/газоход (закрытое охлаждение)		МНЛЗ, вторичное охлаждение (открытое охлаждение)		Прокатные станы (открытое охлаждение)		Объекты вспомогательного производства, теплообменники закрытых контуров	
	исходная вода	отработанная вода	исходная вода	отработанная вода	исходная вода	отработанная вода	исходная вода	отработанная вода	исходная вода	отработанная вода
Активная реакция pH	7,2–9	7,2–9	7,2–9	7,2–9	8,5–9,5	8,5–9,5	7–9	7–9	7–9	7–9
Общее солесодержание, мг/л	300	300	300	300	600	624	1470	1500	540	750
Общая жесткость, мг-экв/л	0,4	0,4	0,4	0,4	7	7,2	7	7,08	7	7
Щелочность, мг-экв/л	0,36	0,36	0,36	0,36	4	4	4	4	4	4
Хлориды, мг/л	35	35	35	35	100	104	130	131,5	130	130
Сульфаты, мг/л	35	35	35	35	250	260,2	125	126,4	125	125
Взвешенные вещества, мг/л	40	40	40	40	20	1100	30	500	10	10
Температура, °С	40	50	70/85	90/110	45	60	40	45	30	40
Нефтепродукты, мг/л	1	1	1	1	5	25	5	30	0,5	0,5



жения. На схеме условно объединены в две группы закрытые бесконтактные оборотные циклы с теплообменниками и с воздушными охладителями, так как расчетные потери, а, следовательно, и подпитка в них отсутствуют.

Применение схемы оборотного водоснабжения с АВО позволило уменьшить расход свежей технической воды на 108 м³/час по сравнению со схемой открытого бесконтактного охлаждения с теми же исходными данными.

При этом следует отметить, что возможность повышения температуры исходной воды до величины, позволяющей применить АВО, определяется технологическими требованиями для металлургического оборудования

и, учитывая значительные объемы потребляемой воды, решение этой задачи является весомым резервом уменьшения водопотребления из природных источников.

В открытом бесконтактном оборотном цикле вода теряется в градирнях на испарение и капельный унос. Потери воды на испарение определяются в соответствии с [1] в зависимости от расхода и температурного перепада нагретой и охлажденной воды. Потери воды на капельный унос в современных градирнях составляют 0,01–0,02 % и они значительно меньше рекомендуемых значений 0,1–0,2 % [1]. Однако это обстоятельство не ведет к сокращению расхода подпиточной воды, так как при уменьшении капельного уноса увеличивается

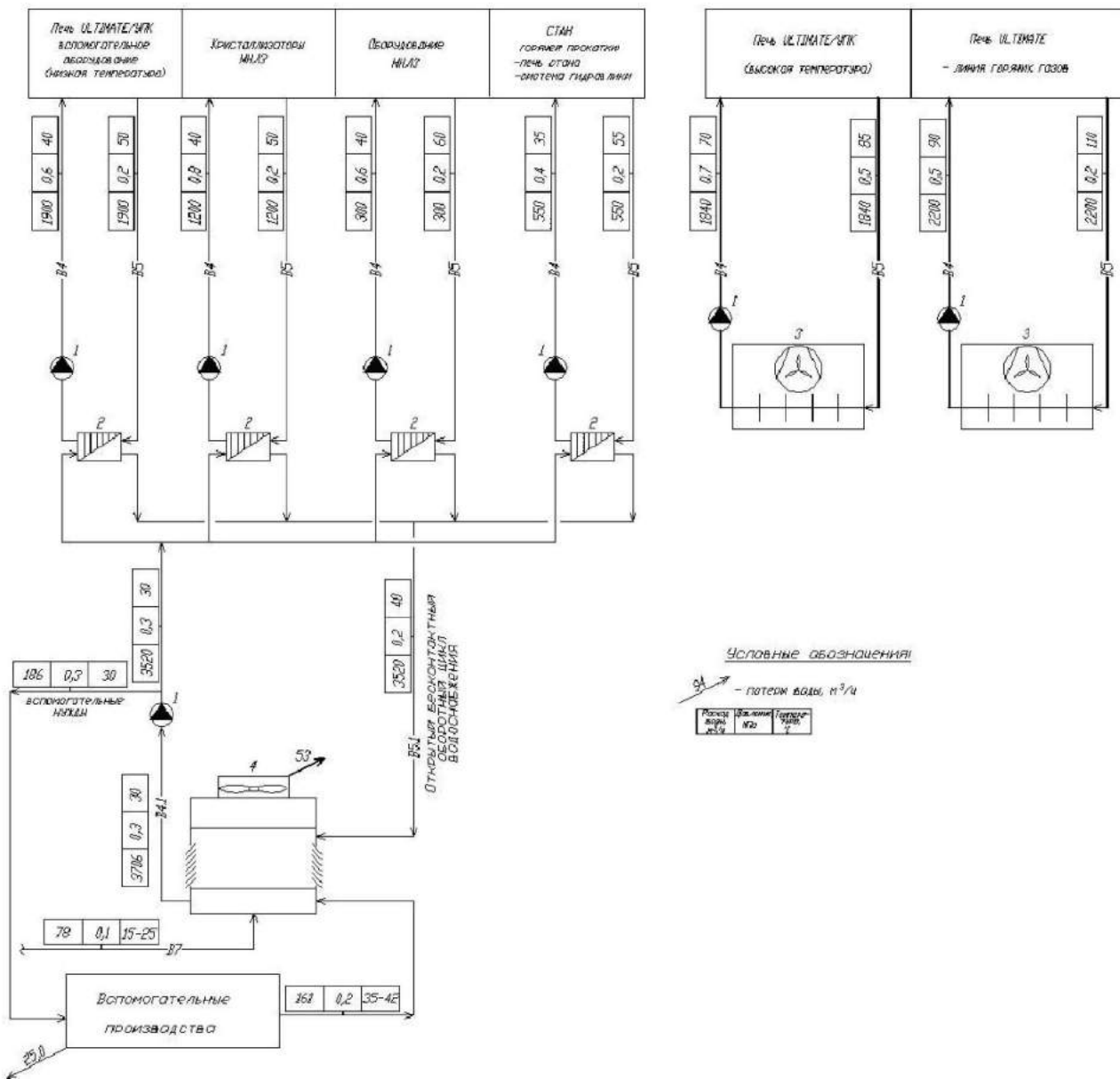


Рисунок 1 – Схема закрытых и открытого бесконтактных оборотных циклов (контуров) водоснабжения:

1 – насосы; 2 – теплообменники; 3 – аппараты воздушного охлаждения; 4 – вентиляторная градирня; В4, В5 – трубопроводы закрытых контуров; В4.1, В4.5 – то же открытого контура; В7 – подпитка

расход воды на продувку системы с целью поддержания солевого баланса оборотной воды.

Открытые контактные оборотные циклы организуются для открытого охлаждения заготовки после кристаллизатора МНЛЗ и для прокатных станов (охлаждение валков, гидросбив окалины, охлаждение проката). Вода в процессе производства нагревается и загрязняется окалиной, маслами.

Производительность контактного оборотного цикла МНЛЗ составляет $510 \text{ м}^3/\text{час}$, оборотного цикла прокатного стана – $1600 \text{ м}^3/\text{час}$.

В состав каждого из открытых контактных оборотных циклов входят ямы для окалины (первичные отстойники) с шламовыми насосными станциями, бункера обезвоживания, напорные фильтры с песчаной загрузкой, вентиляторные градирни. Объем ямы для оборотного цикла МНЛЗ составляет 214 м^3 , оборотного цикла прокатного стана – 215 м^3 .

Осадок из ям для окалины перегружается порталным грейферным краном в бункер обезвоживания, а после обезвоживания перегружается тем же краном в транспортное средство.

Для сбора и удаления масел в ямах для окалины устанавливаются маслосборные устройства с вращающейся сеткой. Выделенные из воды масла направляются на утилизацию.

Время пребывания воды в яме для окалины цикла МНЛЗ при отсутствии осадка составляет 25 мин, при заполнении осадочной части на 2 м – 17 мин. В прокатном цехе в яму для окалины направляется отработанная вода, содержащая крупнодисперсную взвесь, расход – $700 \text{ м}^3/\text{час}$. Конструктивные решения ям для окалины циклов прокатного стана и МНЛЗ аналогичны. Время пребывания воды в яме для окалины прокатного стана при отсутствии осадка составляет 21 мин, при заполненной осадочной части на 2 м – 15 мин.

Стоки с мелкодисперсной взвесью от линии термообработки (расход $900 \text{ м}^3/\text{час}$) перекачиваются сразу на фильтры, что позволяет уменьшить размеры ямы для окалины, заглубление которой относительно пола цеха составляет $\sim 14,6 \text{ м}$. Для повторного использования промывочных вод фильтров предусматривается устройство отстойника – флокулятора. Осветленная вода после отстойника – флокулятора направляется на напорные фильтры, а осадок – в шламособорник, из которого насосом подается на фильтр-пресс для обезвоживания. Обезвоженный осадок с влажностью 40–50 % пригоден для транспортирования.

Схема открытого контактного оборотного цикла мелкосортно-проволочного стана 350/200 приведена на рис. 2

В открытых контактных циклах вода теряется в процессе производства (на испарение и капельный унос), в процессе охлаждения (в градирнях) и в процессе очистки.

Потери в процессе охлаждения имеют тот же характер, что и в градирнях открытого бесконтактного цикла, и в общем зависят от климатических условий, времени года, температурного перепада и конструкции водоуловителя.

Уменьшение потерь воды в процессе очистки (в общем балансе – незначительное) достигается снижением влажности осадка в процессе обезвоживания.

Более весомым вкладом в уменьшение расхода воды, забираемой из природного источника водоснабжения, является использование очищенных дождевых вод.

В ТЭР для Белоцерковского сталепрокатного завода предполагалось использовать практически всю дождевую воду, поступающую в централизованную сеть дождевой канализации, для чего предусматривалось два пруда-отстойника емкостью 24 и 32 тыс. м^3 . В последующем, ввиду недостатка места, были предусмотрены трехсекционный отстойник емкостью 4350 м^3 и двухсекционный отстойник емкостью 3000 м^3 , которые выполняют функции как аккумулирующей емкости, так и очистного сооружения. Для расчета объема аккумулирующей емкости и отстойника использовались рекомендации [2]. Расчетный расход дождевых вод с площадки завода определялся в соответствии с [3, 4] и составил 7700 л/с . За 20 мин интенсивного дождя на площадку завода общей площадью $54,3 \text{ га}$ выпадет осадков в количестве 9240 м^3 , из них 7350 м^3 (79,5 %) будет аккумулировано в отстойниках. Дожди малой интенсивности и талые воды будут полностью очищаться и использоваться на технические нужды.

Так как вода после отстаивания подается на подпитку оборотных циклов, то расчетная производительность отстойно-аккумулирующей емкости – $171 \text{ м}^3/\text{час}$.

На рис. 3 представлен схематический план, а на рис. 4 – продольный разрез трехсекционного отстойника дождевых вод.

Задержание масел, всплывающих на поверхность воды, происходит перед водораспределительной перегородкой и, главным образом, перед щелевой поворотной трубой $\varnothing 300 \text{ мм}$. Осадок из отстойника перекачивается в бункер обезвоживания переносным насосом. Подсушенный осадок используется для планировочных земляных работ.

При рабочем уровне воды и расчетном расходе $171 \text{ м}^3/\text{час}$ время пребывания воды в отстойнике составит 10 часов, при максимальном уровне – 22 часа. При времени пребывания 10 часов в осадок выпадут части-

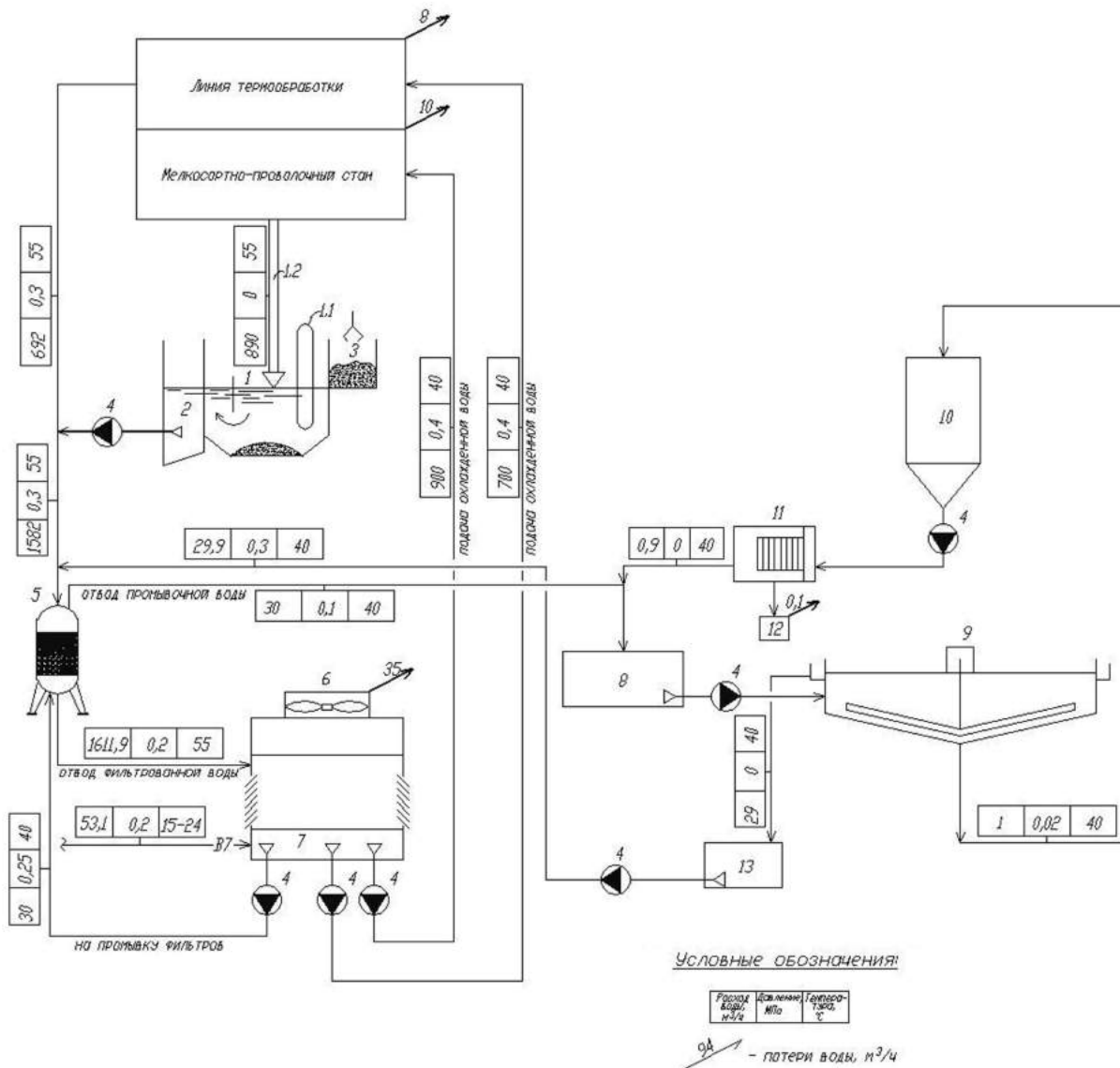


Рисунок 2 – Схема открытого контактного цикла (контура) водоснабжения:

- 1 – яма для окалины; 1.1 – маслосборное устройство; 1.2 – лоток (канал); 2 – приемная камера нас. ст.;
 3 – бункер обезвоживания; 4 – насос; 5 – фильтр с песчаной загрузкой; 6 – вентиляторная градирня; 7 – резервуар;
 8 – бак отработанной промывной воды; 9 – отстойник-флокулятор; 10 – шламосборник; 11 – фильтр-пресс; 12 – емкость для обезвоживания шлама; 13 – бак осветленной воды.

цы гидравлической крупностью 0,076 мм/с, при 22 часах – 0,034 мм/с, что соответствует размеру мелкого ила [5].

При рабочем уровне скорость всплытия частиц нефтепродуктов (масел) составит:

$$U = \frac{h}{t} = \frac{2750}{3600 \times 10} = 0,076 \text{ мм/с,}$$

где h – высота зоны осаждения, мм;
 t – время пребывания воды в отстойнике, с.

Диаметр всплывающих частиц определен из уравнения Стокса [6]

$$d = \sqrt{\frac{U \times 18\mu}{981(\rho_1 - \rho_2)}} = 0,0033 \text{ см,}$$

где μ – кинематический коэффициент вязкости – 0,02;
 ρ_1 – плотность воды – 1 г/см³;
 ρ_2 – плотность нефтепродуктов – 0,875 г/см³.

Из отстойника вода поступает в приемную камеру насосно-фильтровальной станции. В ту же камеру поступает и свежая техническая вода с расчетным расходом 171 м³/час – это решение позволяет регулировать производительность отстойника от 0 до 171 м³/час, т.е. время пребывания воды в отстойнике можно увеличить

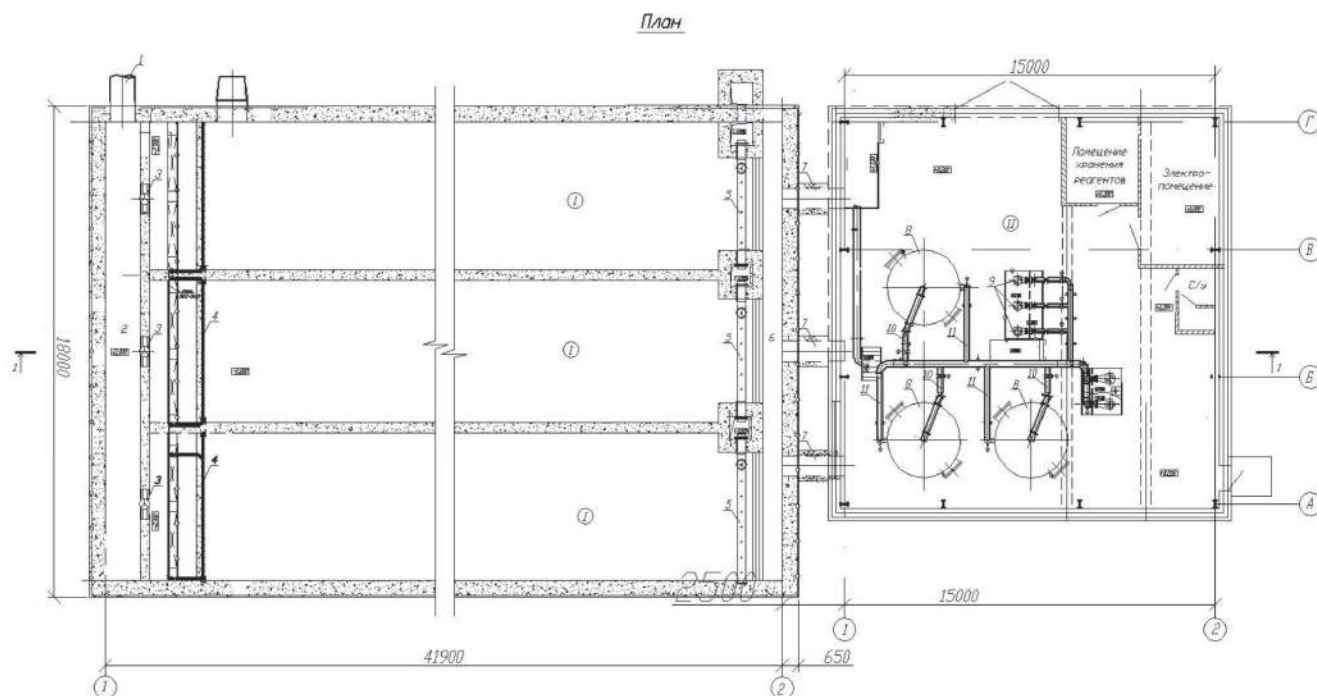


Рисунок 3 – Очистные сооружения дождевых вод – план (обозначения на рис. 4)

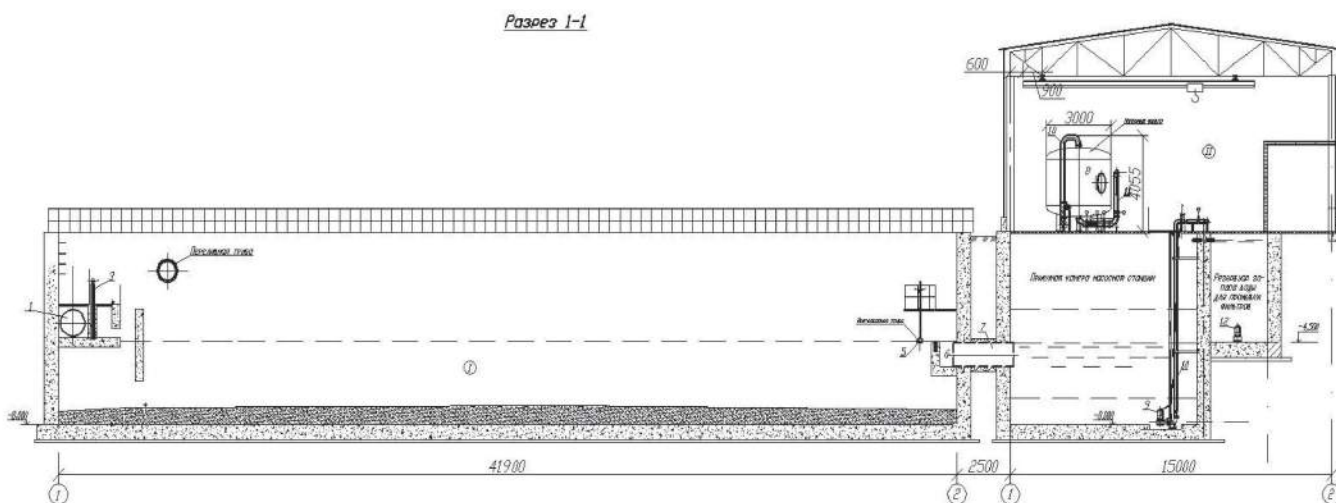


Рисунок 4 – Очистные сооружения дождевых вод – продольный разрез:

- I – трехсекционный горизонтальный отстойник; II – насосно-фильтровальная станция; 1 – подача дождевой воды;
- 2 – водораспределительный канал; 3 – щитовой затвор; 4 – водораспределительная перегородка; 5 – щелевая маслосборная поворотная труба с ручным приводом; 6 – водосборный канал; 7 – перепускная труба; 8 – фильтр; 9 – погружной насос;
- 10 – трубопровод подачи воды на фильтры; 11 – трубопровод фильтрованной воды в цех водоподготовки; 12 – насос подачи воды на промывку фильтра

до нескольких суток и таким образом повысить эффект осветления.

Из камеры с помощью погружных насосов (2 – рабочих, 1 – резервный) номинальной производительностью 87 м³/час, вода с напором 46 м подается на напорные фильтры и далее – в цех водоподготовки, где также проходит через фильтры с песчаной загрузкой.

В насосно-фильтровальной станции установлены напорные фильтры с антрацито-кварцевой загрузкой Ø 3 м в количестве 3 шт. Крупность антрацитовой загрузки 0,8–1,8 мм, песчаной – 0,5–1,25 мм. Промывка фильтров – водо-воздушная.

Загрязненная промывная вода поступает на отстойник. Возврат воды в систему позволяет снизить потери воды на собственные нужды практически до нуля.



Важным и существенным резервом экономии воды природных источников является использование доочищенных сточных вод после городских канализационных очистных сооружений. Причина, по которой доочищенные сточные воды не находят широкого применения в практике водоснабжения промышленных предприятий, носит, скорее, психологический, а не технический характер.

В ТЭО строительства сталепрокатного завода решение о применении доочищенных сточных вод не заложено, однако, в связи с резким увеличением отпускной цены природной воды, этот вопрос заслуживает более внимательного рассмотрения.

Критерии качества доочищенных сточных вод, которые могут применяться в системах оборотного водоснабжения, определяются в [7].

В табл. 2 приводятся требования к качеству доочищенных сточных вод при использовании в системах технического водоснабжения [7] и ряд показателей качества очищенных сточных вод канализационных очистных сооружений (КОС) г. Белая Церковь перед сбросом в реку Рось, а также качество речной воды в месте водозабора.

Приведенные в табл. 2 критерии взаимосвязаны и, если будет обеспечено их комплексное соблюдение,

будет возможным безопасное использование доочищенных сточных вод в оборотных циклах.

Обеспечение на КОС высоких органолептических показателей очищенных сточных вод (запах, окраска) является важным фактором преодоления психологического барьера относительно их использования в технологических целях.

Сравнение показателей допустимого уровня бактериологических загрязнений [7] и имеющихся фактических показателей сточных вод после КОС (г. Белая Церковь) показывает превышение допустимого уровня как для открытых, так и для закрытых систем. Следует обратить внимание, что БПК₅ и ХПК очищенных в существующих КОС сточных водах отличаются ~ в 6 раз, в то время как по [6] это различие должно быть незначительным – ~14 %. Это обстоятельство свидетельствует о наличии в бытовых стоках стойких органических веществ, характерных для производственных сточных вод.

Общее солесодержание, концентрация хлоридов и сульфатов в речной воде ниже, чем в доочищенной сточной, поэтому при ее использовании для получения деминерализованной воды возрастет количество концентрата после установки деминерализации, что является весьма нежелательным, так как избыток concentra-

Таблица 2 – Требования к качеству доочищенных сточных вод при использовании в системах технического водоснабжения (для сравнения приведены показатели качества сточных вод после канализационных очистных сооружений г. Белая церковь и качество воды р. Рось)

Показатели	Ед. изм.	Допустимые уровни при использовании		Фактическое значение показателей после КОС г. Белая Церковь	Фактическое значение показателей в р. Рось	
		Закрытые системы	Открытые системы			
Взвешенные вещества	мг/л	10,0	3,0	11,1	5,2–15,8	
БПК ₅	мг O ₂ /л	10,0	3,0	12,3	1,2–2,7	
ХПК	мг O ₂ /л	70	30,0	74,0	10,8–19,8	
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	500	20	не определены	нет данных	
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	100	10			
Колифаги	Число бляшко-образующих единиц (БОЕ) в 100 мл	100	10			
Запах	баллы	Не регламентируются	2	2–3	≤2	
Окраска	в столбике воды, см		10	10-15	10	
Общее солесодержание	мг/л	регламентируется технологическими требованиями		596,5	231–453,2–532	
Сульфаты	мг/л			60,5	17,9–30,0	
Хлориды	мг/л			97,0	17–33,5	
Железо	мг/л			0,11	0,1–0,4	
Нефтепродукты	мг/л			0,18	не обнаружены	
Растворенный кислород	мг/л			6,12	6,8–14,2	
pH	ед.			7,4	7,7–8,4	
Жесткость общая	мг-экв/л			данных нет		4,1–8,3
Щелочность	мг-экв/л			данных нет		3,8–7,1

та не может быть использован. В то же время доочистка сточных вод до показателей закрытой системы потребует меньших затрат, так как БПК₅ и ХПК для существующих КОС превышают допустимый уровень на 18,7 и 5,4 %, соответственно. В связи с этим, целесообразность применения доочищенных бытовых сточных вод в рассматриваемых условиях требует более детальной проработки.

Для доочистки бытовых сточных вод могут применяться различные сооружения. На наш взгляд, заслуживают внимания фильтры-биореакторы [8].

После доочистки сточные воды должны подвергнуться обеззараживанию. Одним из эффективных методов обеззараживания, находящим все более широкое распространение, является ультрафиолетовое облучение. Достоинства этого метода – отсутствие необходимости введения реагентов (озон, хлорсодержащие), высокая компактность установки, простота обвязки, надежность и простота эксплуатации [9]. Заслуживает внимание перспективный препарат «Фогуцид» («Полисепт»), который обладает и обеззараживающими и флокулирующими свойствами [10].

ВЫВОДЫ

При проектировании производственных систем водоснабжения следует уделять внимание, наряду с традиционными схемами оборотного водоснабжения, более широкому применению воздушных охладителей, очищенных дождевых и доочищенных бытовых сточных вод. В проекте Белоцерковского сталепрокатного завода в оборотном водоснабжении применены аппараты воздушного охлаждения и предусмотрено максимальное использование очищенных дождевых вод.

Уменьшение количества потребляемой речной воды в технологических циклах и замена ее очищенными дождевыми и доочищенными бытовыми сточными водами способствует сохранению качества природной речной воды и упрощает процессы водоподготовки для объектов, расположенных ниже по течению реки.

Разглянуто проектні рішення щодо зниження об'єму річкової води, яка призначена на виробничі потреби, на прикладі Білоцеркавського сталепрокатного заводу. Відмічено можливість та необхідність більш широкого використання очищених дощових та доочищених побутових стічних вод на виробничі потреби. Наведено схеми закритих та відкритих оборотних циклів.

Данное решение, наряду с созданием замкнутых систем водоснабжения и канализации, является наиболее рациональным в решении проблемы охраны водоемов от загрязнений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **СНиП 2.04.02-84*** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
2. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М. : ФГУП «НИИ ВОДГЕО», 2006. – С. 56.
3. **СНиП 2.04.01-85** Внутренний водопровод и канализация зданий.
4. **СНиП 2.04.03-85** Канализация. Наружные сети и сооружения.
5. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: В 2-х ч. / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. – К. : Наукова думка, 1980. – Ч. 1 – 680 с.
6. Канализация / А.И. Жуков, Я.А. Карелин, С.К. Колобанов, С.В. Яковлев. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву, 1964. – 642 с.
7. **МУ 2.1.5.1183-03** Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий
8. **Мельцер, В.З.** Опыт эксплуатации и реконструкции фильтров-биореакторов с восходящим потоком / В.З. Мельцер, В.Б. Смирнов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 10. – С. 33–38
9. **Лось, В.Ю.** Опыт внедрения лотковых систем УФ – обеззараживания сточных вод / В.Ю. Лось, В.Г. Слепцов, О.В. Костенко // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 11. – С. 13–17
10. Сайт ООО «Полисепт» [http:// www.polisep.com](http://www.polisep.com).

Approaches on reducing river water intake for industrial needs by example of steel-rolling plant in Belaya Tserkov, Kiev region are considered. Possibility and necessity of wider use of cleared rain and treated household sewage for industrial needs is accented. Diagrams of closed and open circulating water supply are resulted.