

УДК 66.01/07 (075.8)

**Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ**, докт. техн. наук, профессор, ректор,  
**В.В. БЕРЕЗУЦКИЙ**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой  
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), г. Харьков

## МЕТОДОЛОГИЯ ИНГИБИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

Рассмотрены основы процессов ингибирования трансформации водных технологических сред, к которым относятся смазочно-охлаждающие, травильные и моющие среды, используемые на промышленных предприятиях. Предлагаемые подходы к решению актуальных проблем производства позволят обеспечить экологические и ресурсосберегающие требования к применению воды для технологических потребностей.

**Ключевые слова:** водные технологические среды, смазочно-охлаждающие жидкости, травильные растворы, моющие среды, трансформация, ингибирование.

Среди сбрасываемых сточных вод особое место занимают водные технологические среды (ВТС), к которым относятся смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ) или смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), моющие водные технологические среды (МВТС) и др. На этапе приготовления все они имеют химический состав, соответствующий конкретным техническим условиям. Исходные ВТС этих видов могут содержать эмульгированные масла, поверхностно-активные вещества, моющие реагенты и пр. В процессе использования ВТС изменяют свои свойства – трансформируются.

Схема применения ВТС на производстве и их трансформация представлены на рис. 1.

На рис. 1 условно показано, что на приготовление ВТС для машиностроительных производств идет чистая, зачастую питьевая вода (условно обозначены: М – масла, П – поверхностно-активные вещества, И – ионы тяжелых металлов). Через определенный отрезок времени вследствие трансформации ВТС они практически все имеют в своем составе (но в разных концентрациях) еще и микроорганизмы (Б) – бактерии, грибки и пр., а также вносимые из внешней среды загрязнения (З).

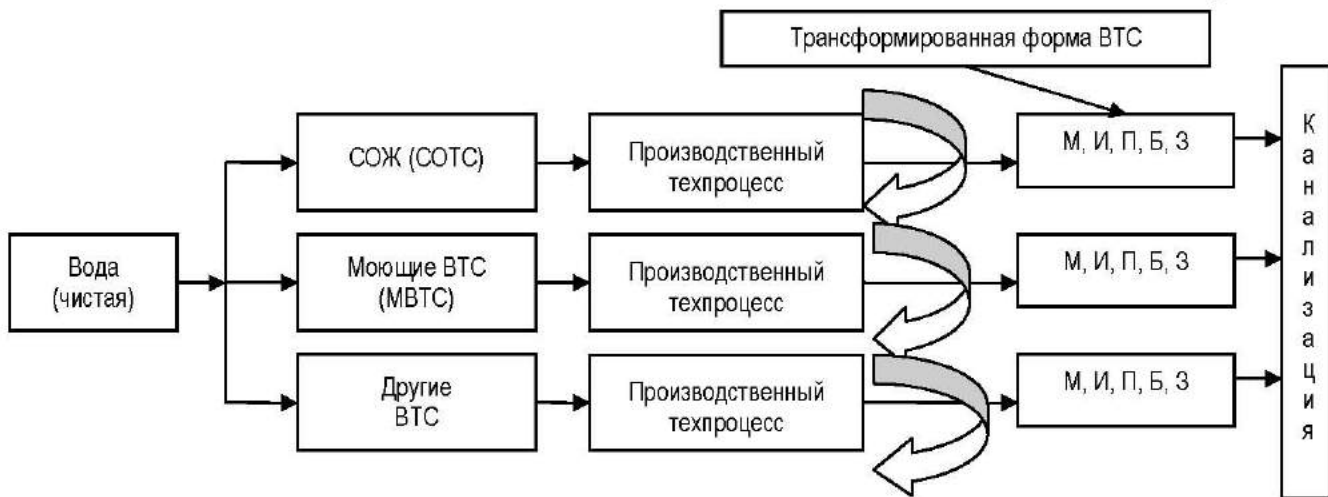


Рисунок 1 – Трансформация ВТС в процессе их применения на производстве

Сбрасываемые трансформированные ВТС могут составлять незначительную долю общего объема сточных вод предприятия, но ввиду своей загрязненности в общем показателе негативного воздействия на окружающую среду они занимают одно из первых мест. Одним из путей уменьшения такого воздействия является ингибирование процессов трансформации ВТС.

Термин «ингибирование» чаще всего подразумевает применение веществ, замедляющих или предотвращающих течение какой-либо химической реакции – коррозии металла, старения полимеров, окисления топлива и смазочных масел, пищевых жиров и др. (например, гидрохинон – ингибитор окисления бензальдегида, соединения технеция – ингибиторы коррозии сталей, дифенилкетон – ингибитор полимеризации стирола). Если расширить применение этого термина, то можно отметить, что значительное количество химических процессов и аппаратов выполняют функции ингибирования, замедляя или предотвращая течение нежелательных химических или биологических реакций, приводящих к разрушению устойчивости технологических сред, которым изначально придаются определенные технологические свойства. Разрушение или нарушение заданных свойств ВТС определяет их трансформацию, вследствие чего они становятся непригодными к дальнейшему использованию. Борьба с этим ведется разными способами. Для ингибирования развития микроорганизмов добавляются бактерициды и фунгициды, однако такой же эффект можно получить, если воду обработать, например, высокочастотными импульсами или электрическим разрядом. Механические примеси в водных средах сорбируют на своей поверхности бактерии, поэтому процессы осаждения или фильтрации в данном случае также можно отнести к технологиям ингибирования, так как они замедляют рост количества бактерий.

На рис. 2. представлены технологии, применяемые для обработки ВТС.

Процессы ингибирования применяются в технологических процессах и играют важную роль вместе с процессами регенерации, которые обеспечивают поддержание первоначальных свойств путем восполнения утраченных химических компонентов. Важной составляющей технологий применения водных сред является их утилизация после того, как они полностью исчерпали свой ресурс. Существующие технологии утилизации водных сред на производстве подразделяются в основном на два направления: первое – разрушение водных сред, в результате которого от воды отделяют примеси с их последующей утилизацией, второе – использование отработавших свой ресурс водных сред как вторичного сырья. Например, трансформированные ВТС типа СОЖ могут использоваться для смазки опалубок при производстве железобетонных конструкций или керамических плиток (наличие в них ионов металлов – хрома, железа, никеля повышает качество плитки).

Для всех веществ, входящих в состав ВТС, характерен определенный диапазон колебаний концентраций  $C_{\min} \leq C \leq C_{\max}$ . На рис. 3 показаны требования к качественному составу ВТС на производстве.

Требования к диапазону колебаний концентраций компонентов ВТС от их минимальной величины  $C_{\min}$  (для химических веществ  $C_{Mf}$ ,  $C_{Mf}$ ,  $C_{П}$ ,  $C_3$  в г/дм<sup>3</sup>, для бактерий  $C_E$  в бак./мл) до максимально допустимой  $C_{\max}$  определяются техническими условиями (ТУ), санитарными нормами (СН), государственными и отраслевыми стандартами. Эти нормативные документы наряду с другими параметрами определяют требования по минимизации концентрации свободных масел  $C_{Mf}$ , выделяющихся и всплывающих на поверхность среды в результате ее

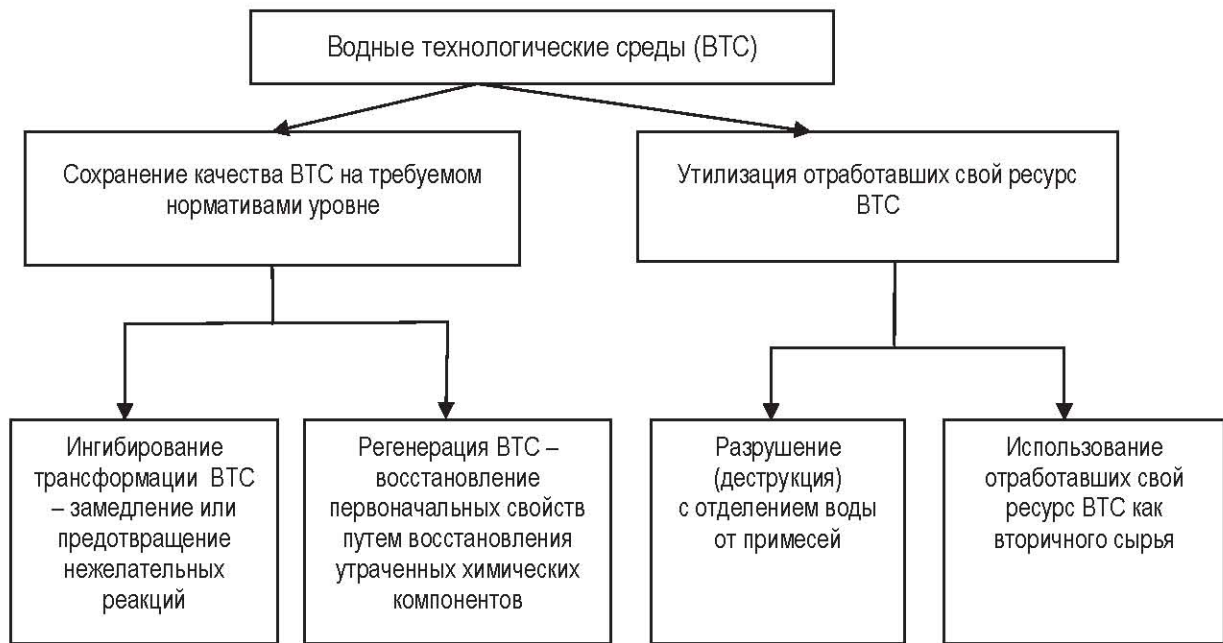


Рисунок 2 – Технологии, применяемые для обработки BTC

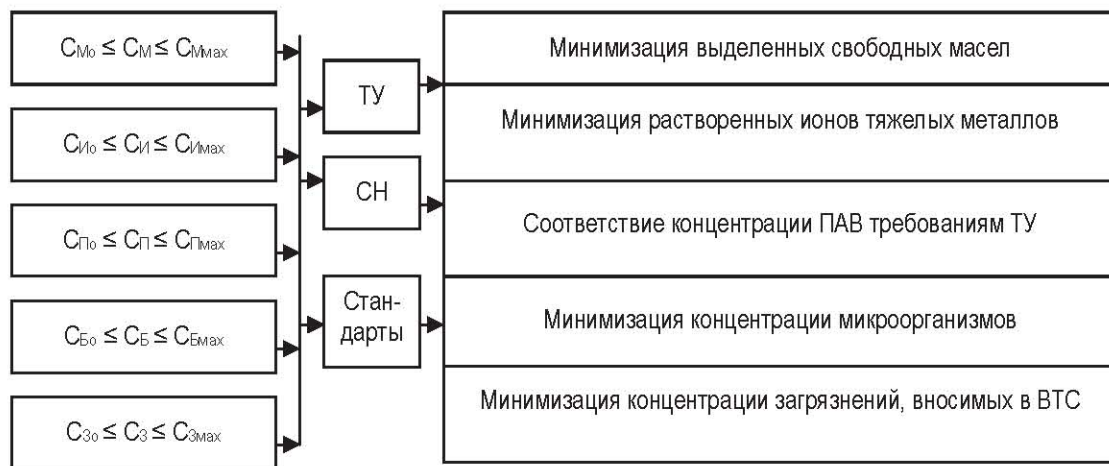


Рисунок 3 – Требования к качественному составу BTC на производстве

трансформации, обусловленной снижением устойчивости системы «масло – вода». Такое снижение устойчивости BTC происходит из-за ее старения и загрязнения, прежде всего, микроорганизмами, которые уничтожают поверхностно-активные вещества (ПАВ), обеспечивающие стабильность водно-масляной эмульсии. Требования по минимизации концентраций ионов тяжелых металлов в BTC определяются не столько техническими условиями, сколько санитарно-гигиеническими нормативами и стандартами. Поддержание на минимально допустимом уровне концентрации микроорганизмов  $C_{Bo}$  представляется одной из важнейших задач сохранения качества BTC. Развитие бактерий в жаркое время может привести к разрушению BTC типа СОЖ, при этом в рабочую зону может поступить большое количество бактерий и вредных веществ. Концентрация

сероводорода, углекислого газа и других газов в это время может во много раз превысить допустимые санитарные нормы [6].

Основаниями для прекращения применения BTC в технологическом процессе являются:

- сильная трансформация BTC и невозможность ее дальнейшего применения из-за значительного количества бракованных изделий;
- сильное микробиологическое поражение BTC, создающее угрозу заболевания персонала.

На рис. 4 показаны процессы перехода BTC от нормального рабочего состояния к трансформированному ( $C_{тр}, t_{тр}$ ) и далее к их разрушению как системы «масло-вода» ( $C_p, t_p$ ). Эти процессы свойственны технологиям, не имеющим систем предотвращения трансформирования BTC.

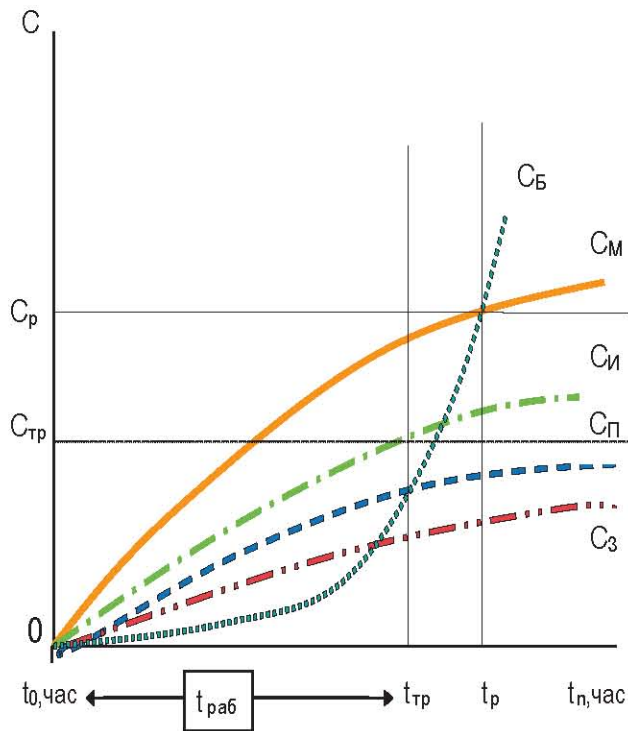


Рисунок 4 – Процессы перехода ВТС от нормального рабочего состояния ( $t_{раб}$ ) к трансформированному ( $t_{тр}$ ,  $C_{тр}$ ) и далее к разрушению ( $t_p$ ,  $C_p$ ) на примере системы «масло-вода» (СОЖ)

Каждая из ВТС имеет свои микроциклы, которые формируются в процессе применения (рис. 5).

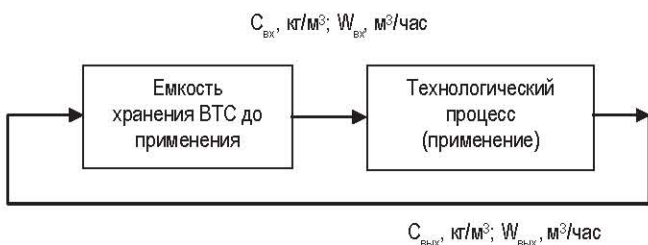


Рисунок 5 – Микроциклы при применении ВТС в технологических процессах

Каждый микроцикл характеризуется изменением  $\Delta C$  в состоянии ВТС за отрезок времени прохождения цикла «емкость хранения – оборудование – техпроцесс – емкость хранения». За время применения ВТС трансформированное состояние будет характеризоваться  $C_{тр} = \int C dt$ , где  $C = f(C_{м}, C_{п}, C_{и}, C_{б}, C_{з})$  показывает накопление примесей в водной среде в единицу времени;  $W_{вх}$  и  $W_{вых}$  – объемный расход воды на входе и выходе микроцикла, м<sup>3</sup>/час.

Значения концентраций определяются следующими уравнениями

$$C_m = \int_{t_0}^{in} C_m dt; \tag{1}$$

$$C_n = \int_{t_0}^{in} C_n dt; \tag{2}$$

$$C_u = \int_{t_0}^{in} C_u dt; \tag{3}$$

$$C_b = \int_{t_0}^{in} C_b dt; \tag{4}$$

$$C_z = \int_{t_0}^{in} C_z dt; \tag{5}$$

Особенностью трансформирования ВТС микроорганизмами является то, что происходит оно не во время циклического перемещения среды, а во время нахождения в емкости хранения (в основном – в нерабочее время).

Предлагаемые процессы и оборудование позволяют реализовать схемы, подобные ПИНЧ-технологиям [7–8].

Схема материального баланса рассматриваемой технологии представлена на рис. 6. Из схемы следует

$$W_B + W_D = W_C + W_{Пот}, \tag{6}$$

где  $W_B$  – объем воды, необходимый для приготовления ВТС;  $W_C$  – объем воды, который сбрасывается в канализацию;  $W_D$  – добавки воды, которые соответствуют потерям  $W_{Пот}$ .

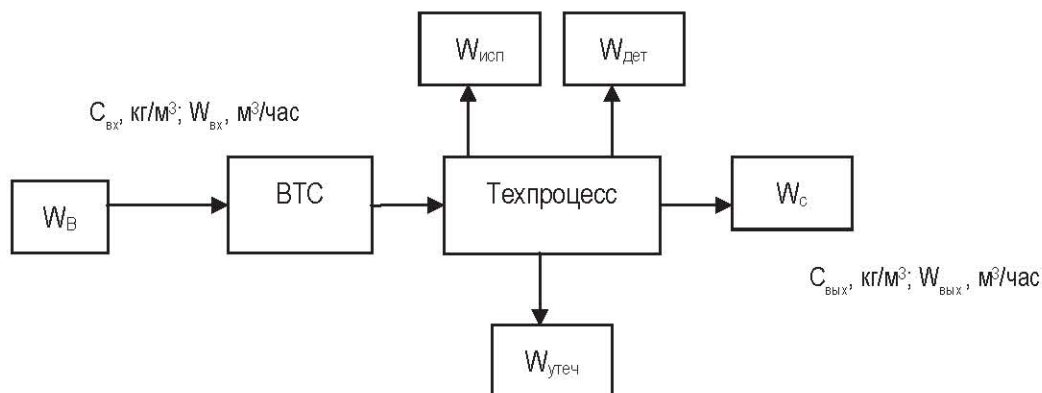


Рисунок 6 – Схема материального баланса технологий применения ВТС

$$W_{\text{Пот}} = W_{\text{исп}} + W_{\text{дет}} + W_{\text{утеч}} \quad (7)$$

где  $W_{\text{исп}}$  – потери воды на испарение;  
 $W_{\text{дет}}$  – потери воды при уносе на поверхности деталей;  
 $W_{\text{утеч}}$  – потери, связанные с утечками из трубных соединений, кранов и разливами воды.

На рис. 7 представлена предлагаемая схема применения ВТС. Техпроцесс включает дополнительную технологическую операцию – ингибирование трансформации ВТС. Для обеспечения своевременного ингибирования развития бактерий предусмотрен постоянный контроль. Применение ингибирования трансформации ВТС позволяет минимизировать сбросы в канализацию.

На схеме (рис. 7) не отражена, однако обязательно должна быть предусмотрена технологическая операция сбора и утилизации отходов процессов ингибирования трансформации ВТС.

Схема регулирования процесса накопления примесей в водной среде и исключения этапа перехода к трансформированному состоянию (рис. 8) предотвращает их дальнейшее разрушение (концентрация  $C_n$  – нормированная концентрация).

Процессы и аппараты ингибирования трансформации ВТС, разработанные в Национальном техническом университете «Харьковский политехнический институт» [3, 9], обеспечивают продление ресурса применения ВТС от 1 до 5 лет.

Технология и оборудование для извлечения из водных сред примесей ионов металлов, масел, взвешенных частиц разработаны (расход очищаемой водной среды – от 1 до 20 м<sup>3</sup>/час).

Технология предусматривает электрохимическую обработку ВТС в проточных аппаратах (электрокоагуляторах) до значений концентраций компонентов, задан-

ных технологическими требованиями, с последующим возвратом обработанной водной среды в технологический процесс. Технология и оборудование прошли опытно-промышленные испытания и внедрены на ряде промышленных предприятий Харькова, Запорожья, Севастополя и др.

Для выполнения процессов извлечения примесей из сложных систем типа СОЖ, моющих сред и т.п. была разработана принципиально новая конструкция электрокоагулятора, в который могут подаваться водные среды, содержащие от 3000 до 5000 мг/дм<sup>3</sup> масел (при этом электроды не загрязняются и не снижают своей производительности). Конструкция аппарата создана на основе разработанного НТУ «ХПИ» способа фракционированного коагулирования примесей, позволяющего последовательно извлекать их по фракциям из любой водной среды.

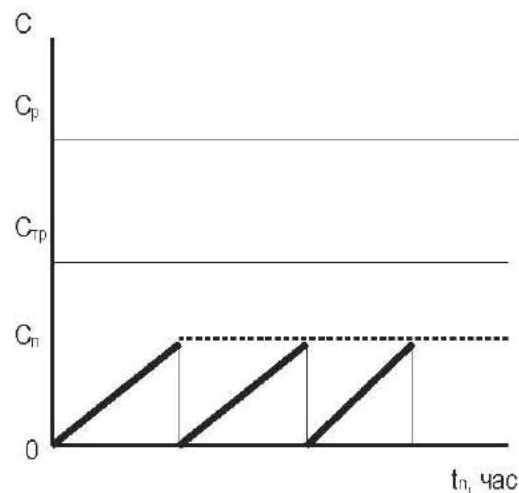


Рисунок 8 – Схема регулирования процесса накопления примесей и предотвращения перехода ВТС к трансформированному состоянию

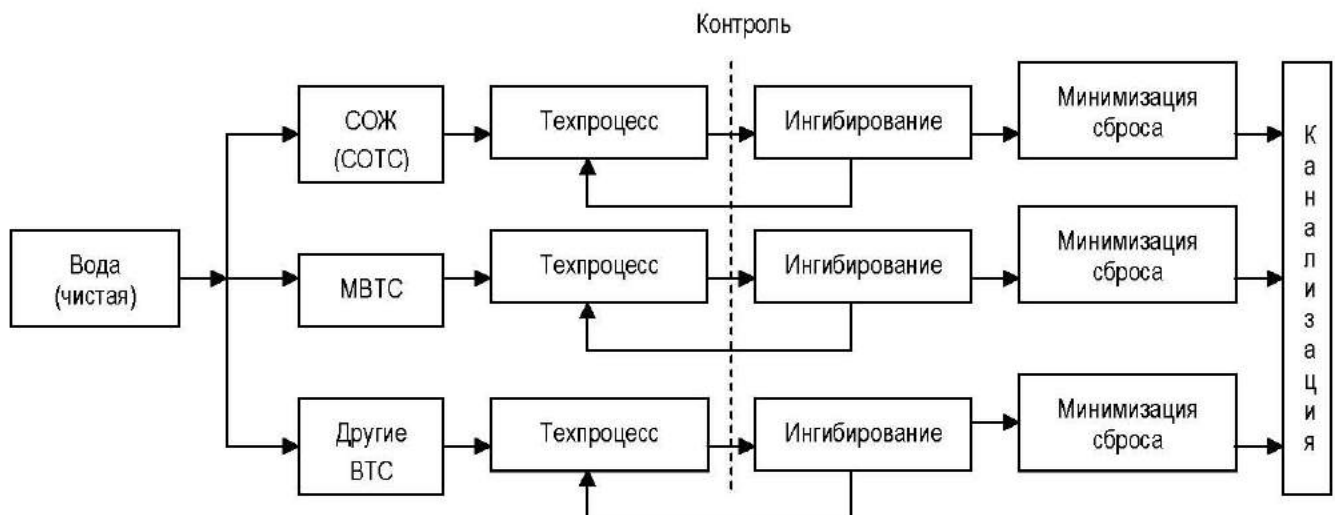


Рисунок 7 – Предлагаемая схема применения ВТС на производстве



Технологии и оборудование деструкции отработавшей свой ресурс СОЖ (с разделением на воду и масло без применения химических реагентов) с использованием бактерий разработаны, прошли опытно-промышленные испытания и рассчитаны на любые типы и объемы СОЖ.

Для обслуживания группы станков разработаны устройство и датчики, предназначенные для определения уровня бактериологического поражения эмульсий и водных сред, своевременного выполнения операций ингибирования. Опыт их применения показывает возможность увеличения ресурса применения ВТС на станках на срок более 1 года.

НТУ «ХПИ» предложена модернизация станков путем создания встроенной системы ингибирования трансформации ВТС, что устраняет необходимость создания для этих целей отдельных участков и значительно экономит средства. Модернизация станков (в частности гидросистемы подачи и удаления охлаждающих сред) позволяет практически без применения химических препаратов поддерживать качество ВТС сред на высоком уровне длительный отрезок времени.

Также разработана конструкция устройства газового ингибирования трансформации ВТС от воздействия бактерий. Устройство работает с применением углекислоты и обеспечивает снижение количества бактерий в технологических средах с  $10^8$ – $10^9$  бак./мл до 10–100 бак./мл за 7–8 часов.

## ВЫВОДЫ

В производственных условиях для предотвращения трансформации ВТС необходимо:

- проанализировать существующие на производстве технологии, использующие ВТС, и определить имеющиеся проблемы их трансформации;
- исследовать применяемые ВТС, установить причины их трансформации;
- выполнить подбор процессов и аппаратов для ингибирования трансформации ВТС, при необходимости – усовершенствовать или разработать новые на базе использования процессов коагуляции, осажде-

ния, флотации, нейтрализации, ингибирования роста бактерий или их уничтожения, удаления «свободных» масел; корригирования концентраций ПАВ, ионов тяжелых металлов и загрязнений;

- предусмотреть утилизацию отходов, извлекаемых из ВТС при выполнении технологических операций по ингибированию их трансформации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Товажнянский, Л.Л.** Паливно-енергетичний комплекс. Стратегія розвитку / Л.Л. Товажнянский, Б.О. Левченко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2009. – 400 с.
2. **Товажнянский, Л.Л.** Энергетика на рубеже XXI столетия / Л.Л. Товажнянский, Б.А. Левченко. – Х. : НТУ «ХПИ», 2004 – 174 с.
3. **Березуцкий, В.В.** Техногенная безопасность масло-эмульсионных вод : Монография / В.В. Березуцкий. – Х. : ХГПУ, 1998. – 279 с.
4. **Макаровський, Є.Л.** Екологічний атлас Харківської області / Є.Л. Макаровський, О.В. Соловійов, Г.Д. Коваленко та ін. – Х. : УкрНДІЕП, 2005. – 80 с.
5. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України / За ред. Б.М. Данилишина. – К. : РВПС України НАН України, 1999. – 716 с.
6. **Березуцкий, В.В.** Вредное воздействие биологического недетерминированного фактора, сопровождающего применение СОТС на производстве / В.В. Березуцкий, Н.Л. Березуцкая // Черные металлы. – 2010. – № 8–9. – С. 36–43.
7. **Smith R.** Chemical Process Design and Integration / Smith R. – Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd. – 2005. 687 p.
8. **Kemp Ian C.** Pinch Analysis and Integration / Kemp Ian C. – Oxford: Elsever. – 2007. – 396 p.
9. **Березуцкий, В.В.** Обеспечение безопасности при применении водных технологических эмульсий и растворов на производствах в металлообрабатывающих технологиях : Монография / В.В. Березуцкий. – Х. : Факт, 2009. – 400 с.

*Поступила в редакцию 01.10.2010*

Розглянуто основи процесів інгібування трансформації водних технологічних середовищ, до яких належать мастильно-охолоджуючі, травильні і миючі середовища, що використовуються на промислових підприємствах. Запропоновані підходи до вирішення актуальних проблем виробництва дозволяють забезпечити екологічні та ресурсозберігаючі вимоги до застосування води для технологічних потреб.

Bases of inhibition process of water technological environments transformation such as refrigerant, etching and cleaning environments being used at industrial enterprises are examined. The proposed approaches enable meeting environmental and resource-saving requirements of water use for technological needs.