

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

**ТРАНСПОРТ.  
ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.  
ЭКОЛОГИЯ**

№ 3

Издательство  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета  
2018

Изложены результаты теоретических и практических исследований по актуальным вопросам проектирования, эксплуатации и сервиса транспортно-технологических машин и комплексов, организации транспортных систем, технологии транспортных процессов, безопасности движения, защиты окружающей среды и городского строительства.

Предназначено для инженерно-технических и научных работников проектных, дорожно-строительных организаций и вузов, а также для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям «Наземные транспортно-технологические комплексы», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Технология транспортных процессов», «Строительство» и «Техносферная безопасность».

#### Редакционная коллегия

<b>Главный редактор</b>	<i>Н.В. Лобов</i> , д-р. техн. наук, профессор (ПНИПУ, г. Пермь)
<b>Главный редактор серии</b>	<i>М.Ю. Петухов</i> , канд. техн. наук, доцент (ПНИПУ, Пермь)
<b>Заместители главного редактора</b>	<i>В.Ю. Петров</i> , президент, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь) <i>Л.М. Тимофеева</i> , д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)
<b>Ответственный секретарь</b>	<i>Е.В. Калинина</i> , канд. техн. наук, доцент (ПНИПУ, Пермь)

#### Члены редакционной коллегии

*М.Г. Бояришинов*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*Я.И. Вайсман*, д-р мед. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*И.С. Глушанкова*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*Г.Г. Кашеварова*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, г. Пермь)  
*В.Н. Коротаев*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*А.В. Кочетков*, д-р техн. наук, профессор (СГТУ, Саратов)  
*М.Р. Якимов*, д-р техн. наук, профессор (РАТ, г. Москва)  
*И.В. Май*, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАЕН (ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Пермь)  
*И.Г. Овчинников*, д-р техн. наук, профессор (СГТУ, Саратов)  
*А.Б. Пономарев*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, г. Пермь)  
*Л.В. Рудакова*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*А.В. Смольянинов*, д-р техн. наук, профессор (УГУПС, Екатеринбург)  
*В.А. Трефилов*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*Н.М. Филькин*, д-р техн. наук, профессор (ИГТУ, Ижевск)  
*Б.Е. Шенфельд*, д-р техн. наук, профессор (ФГБУ УралНИИ «Экология», Пермь)  
*А.О. Добрынин*, канд. техн. наук, доцент (ПНИПУ, Пермь)  
*К.Г. Пугин*, д-р техн. наук, профессор (ПНИПУ, Пермь)  
*А.А. Хазиев*, канд. техн. наук, доцент (МАДИ, Москва)  
*М.Б. Ходяшев*, канд. техн. наук (ФГБУ УралНИИ «Экология», Пермь)  
*Л.С. Щепетева*, канд. техн. наук, доцент (ПНИПУ, Пермь)  
*А.В. Эдельман*, канд. техн. наук, главный инженер (ОАО «Пермавтодор», Пермь)  
*Л.В. Янковский*, канд. техн. наук, доцент (ПНИПУ, Пермь)  
*В.Ф. Гекк*, главный инженер (КТ «Пермская ДПМК», Пермь)  
*Ю.А. Иконников*, главный конструктор ЗАО «СКБ» (ОАО «Мотовилихинские заводы», Пермь)

#### Зарубежные члены редакционной коллегии

*М.М. Бекмагамбетов*, д-р техн. наук (НИИ ТИК, Алматы, Казахстан)  
*К. Вюниш*, д-р наук (Дрезденский технический университет, Дрезден, Германия)  
*М.С. Кульгильдинов*, д-р техн. наук, профессор (КАТИК, Алматы, Казахстан)  
*В.Г. Пастушков*, канд. техн. наук, доцент (БНТУ, Минск, Белоруссия)  
*А.А. Приходько*, д-р физ.-мат. наук, профессор (ДНУ, Днепрпетровск, Украина)  
*М. Ритцковски*, д-р наук (Гамбургский технический университет, Гамбург, Германия)  
*А.В. Сладковски*, д-р техн. наук, профессор (СТУ, Катовице, Польша)  
*Е.Б. Угненко*, д-р техн. наук, профессор (ХНАДУ, Харьков, Украина)

Журнал «Транспорт. Транспортные сооружения. Экология» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство ПИ № ФС77-58823 от 28 июля 2014 года.  
Периодическое печатное издание (4 раза в год). Издается с 2010 года.

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по следующим группам специальностей: 05.22.00 «Транспорт», 05.23.00 «Строительство и архитектура».

**Учредитель** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

**Адрес учредителя, издателя и редакции:** 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский просп., д. 29.  
Тел. +7 (342) 239-14-82, факс: +7(342) 239-17-72, e-mail: transport.eco@mail.ru.

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 41416.

## СОДЕРЖАНИЕ

М.Г. Бояршинов, Н.В. Лобов, Н.И.Кузнецов, А.О. Мартемьянов ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР .....	5
В.А. Бугримов, В.И. Сарбаев, В.В. Бородулин ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ АВТОСЕРВИСА В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ .....	17
В.А. Городокин, В.Д. Шепелев, З.В. Альметова, А.А. Шеремет МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ «ТРЕУГОЛЬНИКА ВИДИМОСТИ», ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕШЕХОДОВ.....	26
Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ МИНИМАЛЬНОГО СОСТАВА НА МНОЖЕСТВЕ «ВЗВЕШЕННЫХ» ГРАФОВ.....	35
И.А. Исупов, С.А. Сазонова ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ.....	45
А.А. Нестер ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ТРАВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ .....	52
Е.И. Поляков, Г.В. Ильиных, С.В. Польшгалов, Ю.В. Завизион ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ОТ ТОВАРОВ ДЛИТЕЛЬНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ И ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА НА ПРИМЕРЕ ОТХОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	60
Е.Н. Потылкин ВЗАИМНАЯ РАБОТА ПРОМЫШЛЕННОГО И МАГИСТРАЛЬНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ПРИВАТНОГО ВАГОННОГО ПАРКА .....	69
В.В. Терентьев, К.П. Андреев, А.В. Шемякин, А.Ю. Свистунова, Д.С. Рябчиков ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ .....	79
Е.В. Углова, О.А. Шило, М.Е. Шевченко, Н.Ю. Клочков ОЦЕНКА ГОДОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА.....	87

## CONTENTS

M.G. Boyarshinov, N.V. Lobov, N.I. Kuznetsov, A.O. Martemyanov TEMPERATURE MODE OF CAR EXHAUST SYSTEM AT LOW TEMPERATURES .....	5
V.A. Bugrimov, V.I. Sarbaev, V.V. Borodulin SIMULATION MODELING OF NEEDS OF A CAR SERVICE COMPANY IN SPARE PART .....	17
V.A. Gorodokin, V.D. Shepelev, Z.V. Almetova, A. A. Sheremet A METHODOLOGY OF JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF THE TRIANGLE OF VISIBILITY ENSURING THE SAFETY OF PEDESTRIANS .....	26
N.A. Ermoshin, Y.G. Lazarev MATHEMATICAL MODEL OF ROAD NETWORK PLANNING OF MINIMAL COMPOSITION ON A SET OF WEIGHTED GRAPHS .....	35
I.A. Isupov, S.A. Sazonova NUMERICAL MODELING OF FIELD AND LABORATORY TESTS OF FILL-UP SOILS .....	45
A.A. Nester ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF REGENERATION OF SPENT PICKLING SOLUTIONS OF ELECTROPLATING INDUSTRY.....	52
E.I. Polyakov, G.V. Ilinykh, S.V. Polygalov, Y.V. Zavizion PREDICTION OF END-OF-LIFE WASTE AMOUNTS GENERATED FROM DURABLE GOODS CONSUMPTION AND URBAN FACILITIES BY THE EXAMPLE OF COMPUTER HARDWARE WASTE .....	60
E.N. Potylkin MUTUAL WORK OF INDUSTRIAL AND MAINLINE RAIL TRANSPORT IN THE PRESENCE OF PRIVATE ROLLING STOCK.....	69
V.V. Terentyev, K.P. Andreev, A.V. Shemyakin, A.Y. Svistunova, D.S. Ryabchikov REGISTRATION OF A TRAFFIC MANAGEMENT PROJECT .....	79
E.V. Uglova, O.A. Shilo, M.E. Shevchenko, N.Yu. Klochkov EVALUATION OF THE ANNUAL DISTRIBUTION OF TRAFFIC FLOW PARAMETERS .....	87

DOI: 10.15593/24111678/2018.03.06

УДК 621.357.8:658.567.3

**А.А. Нестер**

Хмельницкий национальный университет, Хмельницкий, Украина

**ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРОВ ТРАВЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

В современном автомобилестроении гальванические покрытия применяются для различных целей: защита от коррозии, улучшение внешнего вида деталей, повышение износостойкости и электропроводности. Также гальванические покрытия широко распространены в электротехнической промышленности, при производстве печатных плат. Указанные отрасли промышленности являются источником образования большого количества отходов.

Сырьем для гальванического производства является руда, добыча которой оказывает едва ли не наибольшее негативное влияние на окружающую среду среди всех отраслей промышленности. Деятельность предприятий добывающей отрасли является постоянным источником техногенной опасности возникновения аварий, которые часто сопровождаются чрезвычайными ситуациями и загрязнениями окружающей среды.

В статье описано современное состояние отрасли добычи медных руд и производства меди в Украине, изложены аспекты добычи полезных ископаемых (меди) шахтным и открытым способом. Приведены данные по разведанным запасам медных руд в Украине и реальные потребности страны в меди для успешной работы промышленных предприятий.

На примере гальванического производства одного из предприятий г. Киева представлены результаты расчета объемов образования гальванических шламов 2400–2500 кг в месяц при работе в одну смену и производительности линии травления 14 м<sup>2</sup>/ч. Образующиеся гальванические шламы накапливаются на территории предприятия, оказывая значительное негативное воздействие на окружающую среду.

Для решения данной проблемы предлагается использовать технологию регенерации отработанных растворов травления, при которой выделенный металл применяется в качестве вторичного сырья для производства меди, а регенерируемый раствор повторно используется для травления печатных плат.

**Ключевые слова:** гальванические производства, медь, сточные воды, печатные платы, регенерация.

**A.A. Nester**

Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

**ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF REGENERATION OF SPENT PICKLING SOLUTIONS OF ELECTROPLATING INDUSTRY**

In the modern automotive industry, galvanic coatings are used for various purposes: corrosion protection, improvement of the appearance of parts, increase of wear resistance and electrical conductivity. Also, electroplating is widely used in the electrical industry, in the production of printed circuit boards. These industries are the source of large amounts of waste.

Raw material for electroplating production is ore, the production of which has perhaps the greatest negative impact on the environment among all industries. The activities of the mining industry are a constant source of man-made danger of accidents, which are often accompanied by emergencies and environmental pollution.

In the article the current state of copper ore mining and copper production in Ukraine is presented, and the aspects of copper mining using mine and open-pit methods are outlined. The data on the proven reserves of copper ores in Ukraine and the real needs of the country in copper for the successful operation of industrial enterprises are given.

By the example of an electroplating plant in Kyiv the results of the calculation of the volume of generated galvanic sludge are presented: 2400–2500 kg per month for one-shift operation and the productivity of pickle line of 14 m<sup>2</sup>/h. The generated electroplating sludge is being accumulated on the premises, having a significant negative impact on the environment.

To solve this problem, it is proposed to use the technology of regeneration of waste etching solutions, in which the selected metal is used as a secondary raw material for the production of copper, and the regenerated solution is reused for etching printed circuit boards.

**Keywords:** electroplating industry, copper, wastewater, printed circuit boards, regeneration.

В современном автомобилестроении гальванические покрытия применяются для различных целей: защита от коррозии, улучшение внешнего вида деталей, повышение износостойкости и электропроводности. Также гальванические покрытия широко распространены в электротехнической промышленности, при производстве печатных плат.

Добыча полезных ископаемых для гальванических производств оказывает едва ли не самое значительное негативное влияние на окружающую среду среди всех отраслей промышленности. Деятельность предприятий добывающей отрасли является постоянным источником техногенной опасности возникновения аварий, которые нередко создают чрезвычайные ситуации и загрязнения окружающей среды. При этих условиях особое значение приобретает соблюдение предприятиями требований действующего законодательства и мер экологической безопасности [1–5]. Для добычи руды открытым способом необходимо выполнить вскрышные работы с перемещением большого количества почв и других пород. Так, например, если 20–25 лет назад предельный коэффициент вскрышных работ принимался в размере 2–4 м<sup>3</sup>/т, то в настоящее время при разработке месторождений со скальными горными породами он достигает 5–10 м<sup>3</sup>/т, а при разработке пологопадающих месторождений с мягкими покрывающими породами – 20–25 м<sup>3</sup>/т. В настоящее время открытая разработка залежей полезных ископаемых может выполняться на глубинах до 250 м, что приводит к образованию больших объемов отходов и значительным финансовым затратам [6–10].

Природоохранная деятельность в сфере использования недр регламентируется среди других Горным законом Украины, который определяет следующие основные требования к проведению горных работ: обеспечение безопасного проведения горных работ, рациональная добыча, использование полезных ископаемых и охрана недр [1].

Целью работы является эколого-экономическая оценка внедрения регенерации отработанных растворов травления гальванических производств.

В Украине есть острая потребность в меди, которая широко используется в электротехнической промышленности, автомобилестроении и других отраслях. В то же время в Украине неизвестны разведанные месторождения медных руд. Перспективные и прогнозные ресурсы медных руд оценены: в Волынском регионе, на Донбассе и в Днепро-Донецкой впадине в пределах Украинского щита в Средне-Приднепровском и Волынском регионах. Общие ресурсы руд Волынского района со средним содержанием меди 1,0 % оцениваются в 28 млн т металла. Все изложенное свидетельствует о недостатке залежей медных руд в Украине. Ежегодные потребности Украины в этом металле составляют приблизительно 120–140 тыс. т, 20 % из которых обеспечиваются собственным медным утилем, а остальные 80 % (в виде черновой меди) приходится завозить из соседних России и Польши [10]. Украинские потребители из-за отсутствия иностранной валюты вынуждены сокращать производство товаров. В то же время имеющиеся в Украине мощности производства проката меди и ее сплавов не загружены, поскольку нет медного сырья, а значительная часть медвместимого утиля и отходов по различным причинам экспортируется, невзирая на то что экспорт проката меди и ее сплавов значительно эффективнее, чем экспорт утиля и отходов меди. На каждой тонне экспортированного проката, кроме сохранения рабочих мест, можно получать до 1000 долл. США валютной выручки дополнительно, т.е. 30–40 млн долл. в год [11].

Технология производства цветных металлов имеет свои особенности. Она связана с низкой концентрацией цветных металлов в руде по сравнению с железной (в рудах цветных металлов – лишь несколько процентов), а также наличием в руде нескольких металлов. Например, для получения меди используют руды с содержанием основного металла в среднем 2–3 %. Перевозить их на большие расстояния нецелесообразно, поэтому выплавка меди осуществляется вблизи мест добычи. Сначала медные руды обогащают и получают медный концентрат с содержанием металла 35 %, далее происходит плавка и продувка в конверторе для получения черновой меди, на последнем этапе выполняют очищение от примесей (рафинирование). При

внедрении специальных технологий из медной руды можно получить и некоторые другие цветные металлы [10–12].

В Украине минерально-сырьевая база цветной металлургии недостаточна, и много предприятий данной отрасли работают на привозном сырье или переплавляют утиль цветных металлов. При размещении этих предприятий также учитываются потребительский, транспортный и экологический факторы. Цветная металлургия является существенным загрязнителем окружающей среды, преимущественно тяжелыми металлами [10–11].

В то же время источником пополнения ресурсов утиля цветных металлов частично может стать производство плат и гальваники, где медь используется в качестве проводникового материала и стравливается в процессе подготовки поверхности к использованию (нанесение рисунка и стравливание).

Наиболее распространенным способом добычи металлических руд (в том числе медных) является открытая разработка месторождений, с помощью которой из недр выбирается свыше 2/3 всех полезных ископаемых. Это относительно дешевый способ разработки, который позволяет применять мощное и высокопродуктивное оборудование. Однако при проведении открытых работ на многие десятилетия из хозяйственного обращения изымаются огромные площади сельскохозяйственных и лесных угодий. Для доступа к месторождению из поверхности придется вынимать, перемещать и укладывать в отвалы пустые породы, объем которых в несколько раз превышает объем добытого полезного ископаемого [12–15].

Второй по значению способ разработки месторождений – подземный, на часть которого приходится около 20 % добычи железа, до 45 % добычи меди, до 70 % цинка, до 75 % олова и свинца, 100 % вольфрама. Расходы на добычу руды при подземной разработке месторождений заметно больше, чем при открытом способе. Однако он ведется на месторождениях, которые экономически нецелесообразно или технически невозможно разрабатывать открытым способом.

В связи с первоочередным истощением легкодоступных запасов металлических руд глубина разработок постепенно растет, увеличивая себестоимость подземной добычи. Тенденция к увеличению глубины разработок прослеживается во всем мире. В Канаде добыча руд, которые содержат золото, медь, никель, ведется на глубинах 1800–2600 м, в США добыча меди и золота – на глубинах 1700–3000 м, в Индии добыча золота – на глубине 3500 м. В Южноафриканской Республике разрабатывается самое глубокое в мире месторождение – свыше 4000 м. Подземная разработка в ряде случаев позволяет полностью сохранить земную поверхность, что обеспечивает значительное преимущество перед открытыми горными работами [11].

В то же время часть необходимого медного сырья можно получить не из недр, а в результате регенерации из сточных вод производства плат и гальваники. Как показали результаты исследований, полученная медь отвечает требованиям и может быть использована в дальнейшем для переплавки или металлизации подложек при соответствующих технологических процессах [11].

В настоящее время наиболее распространенные реагентные технологии извлечения металлов из сточных вод не обеспечивают необходимую эффективность очистки сточной воды для ее повторного использования. Это приводит к образованию и накоплению токсичных гальванических шламов.

Нерешенным остается вопрос утилизации регенерационных растворов, которые образуются при применении ионообменных технологий и которые позволяют создавать замкнутые системы водопользования в гальванических производствах [11].

Ниже представлена типичная схема линии, которая используется в процессах производства плат. На представленной схеме показаны отдельные направления вывода сточных вод, которые выделяются при работе оборудования (рис. 1).

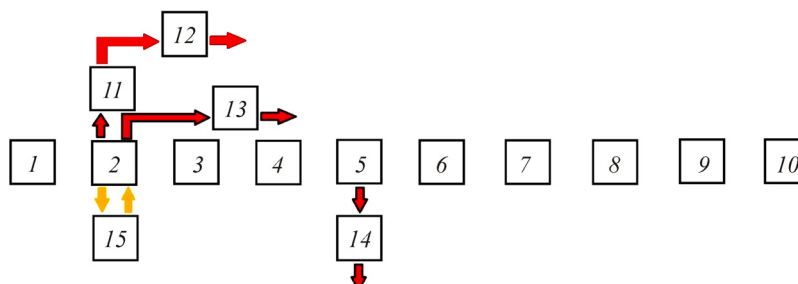


Рис. 1. Современная линия травления печатных плат с местами вывода сточных вод: 1 – модуль загрузки; 2 – травильный модуль; 3 – модуль осветления; 4 – обзорный модуль; 5 – 3-й модуль каскадной промывки; 6 – 2-й модуль каскадной промывки; 7 – 1-й модуль каскадной промывки; 8 – модуль горячей сушки; 9 – модуль холодной сушки; 10 – модуль выгрузки; 11 – очистные сооружения предприятия; 12 – очистные сооружения города; 13 – очистные сооружения (разбавление); 14 – очистные сооружения предприятия; 15 – фильтрационные сооружения

В представленной схеме после операции травления и насыщения раствора соединениями меди в травильном модуле (поз. 2) уменьшается скорость травления и должна произойти замена травильного раствора свежим, способным проводить травление с достаточной скоростью. Отработанный раствор направляется на заводские очистные сооружения для предварительной очистки, при которой остаток может быть сброшен в систему городской канализации после достижения содержания компонентов показателей, установленных городским водоканалом.

Автором предложена схема регенерации сточных вод от операций травления, промывки с выделением меди в листовом виде для возможной переплавки на металлургическом предприятии.

Схема линии травления с отводом на регенерацию части отработанного раствора и промывных вод представлена на рис. 2. Разработанная схема позволяет проводить регенерацию растворов в процессе травления и постоянного поддержания концентрации элементов, а значит, обеспечивает постоянную скорость травления плат. Одновременно схема такой линии разрешает использовать стравленную медь в процессах металлизации без сбросов сточных вод, не допуская загрязнения окружающей среды.

В табл. 1 представлен состав компонентов для внедрения схем регенерации.

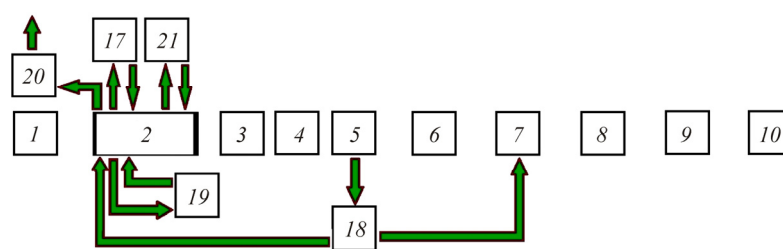


Рис. 2. Схема линии травления с отводом на регенерацию: 1 – модуль загрузки; 2 – травильный модуль; 3 – модуль осветления; 4 – обзорный модуль; 5 – 3-й модуль каскадной промывки; 6 – 2-й модуль каскадной промывки; 7 – 1-й модуль каскадной промывки; 8 – модуль горячей сушки; 9 – модуль холодной сушки; 10 – модуль выгрузки; 17 – регенератор травильного раствора; 18 – регенератор промывных вод; 19 – фильтрационная установка; 20 – очистные сооружения предприятия; 21 – установка нанесения покрытий

Выполненные расчеты позволили установить, что при годовой односменной работе линии травления печатных плат производительностью  $14 \text{ м}^2/\text{ч}$  будет изготовлено почти  $28\,000 \text{ м}^2$  заготовок, а количество выделенного металла (меди) составит приблизительно 14 т, что при цене 85 грн/кг составит  $14\,000 \text{ кг} \cdot 85 \text{ грн/кг} = 1\,190\,000 \text{ грн}$ , или в долларовом эквива-

ленте – 44 000 долл. Этот металл может быть повторно применен при использовании рекомендаций и решений, предложенных автором. Так, количество меди, которое будет стравливаться при возобновлении промышленного производства плат, может составить (при односменной работе и количестве линий в работе 350 шт.)  $14\,000\text{ кг} \cdot 350 = 4\,900\,000\text{ кг} = 4900\text{ т}$ .

Таблица 1

## Состав компонентов для внедрения схем регенерации

№ п/п	Название компонентов	Показатели, г/л
1	$\text{Cu}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2$	80–100
2	$\text{NH}_4\text{Cl}$	10–100
3	$\text{NH}_4\text{HCO}_3(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	20–30
4	$\text{NH}_3$	5–20

Для расчета экономической эффективности от внедрения нового оборудования по предлагаемому варианту определена себестоимость годового выпуска продукции, состоящая из следующих элементов:

$$C_2 = (C_1 - C_m - C_b + K_3 \cdot E_n), \quad (1)$$

где  $C_m$  – стоимость выделенного металла;  $C_b$  – стоимость сэкономленной воды;  $K_3$  – капитальные расходы на дополнительное оборудование;  $E_n$  – нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности.

Расчет, проведенный для одного из предприятий по производству печатных плат г. Киева, позволил определить, что экономический эффект от внедрения нового оборудования ценой 450 000 грн составит в год 1 700 000 грн, или 63 000 долл. (экономический эффект от внедрения одной установки составит около 37 000 долл.).

Кроме экономического эффекта происходит снижение загрязнения окружающей среды и утилизация медьсодержащих отходов. При оценке опасности для окружающей среды отходов производства плат и гальваники учитывают способность миграции химических веществ в поверхностные и подземные воды, содержание в почве и растениях, которые выражают через растворимость химических соединений в воде. Токсичность отходов характеризуется предельно допустимой концентрацией веществ в почве и их содержанием в общей массе шлама [4]. Индекс опасности отдельного химического вещества определяется по формуле

$$K_i = \frac{\text{ПДК}_i}{(S + C_b)_i}, \quad (2)$$

где  $K_i$  – индекс опасности;  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация в почве опасного химического вещества, которое содержится в отходах, мг/кг почвы;  $S$  – коэффициент растворимости химического вещества в воде;  $C_b$  – содержание химического вещества в общей массе отходов, мг/кг;  $i$  – порядковый номер данного вещества.

Для рассматриваемого предприятия проведен расчет суммарного индекса опасности шлама до удаления медных соединений (табл. 2).

Таблица 2

## Результаты расчета суммарного индекса опасности шлама

Группа веществ	ГДК <sub>i</sub> , мг/кг	$(S + C_b)_i$ , мг/кг	$K_i$
Соединения меди	3	73,98	0,0405
		21,15	0,141

После удаления медных соединений из сточных вод (не преобразованных в шламы) улучшились показатели суммарного индекса опасности (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчета суммарного индекса опасности шлама производства плат и гальваники после внедрения мероприятий по удалению меди

Группа веществ	ГДК <sub>i</sub> , мг/кг	(S + C <sub>в</sub> ) <sub>i</sub> , мг/кг	K <sub>i</sub>
Соединения меди	3	0,01	300,0
		0,03	100,0

В случае сброса отработанных травильных растворов производства плат и гальваники в окружающую природную среду без регенерации существуют следующие негативные последствия:

- химическое загрязнение объектов окружающей среды (воздух, вода, почва) ионами тяжелых металлов, в том числе меди;
- повышение уровня заболеваемости населения;
- разрушение строительных конструкций жилых и производственных зданий.

### Выводы

1. При внедрении схемы регенерации отработанных растворов травления для гальванического производства экономический эффект в год составит 1 700 000 грн, или 63 000 долл.
2. При использовании меди, выделенной из сточных вод, улучшаются показатели расчета суммарного индекса опасности гальванического шлама, что ведет к улучшению экологической обстановки в районах производства печатных плат (суммарный индекс опасности шлама вместо существующих значений 0,0405 и 0,141 стал соответственно 300 и 100).
3. Проблема повышения экологической безопасности территорий, подвергающихся техногенной нагрузке в процессе производства плат и гальваники, требует комплексного подхода к ее решению, включая превентивные и ликвидационные мероприятия.

### Список литературы

1. Мирка Г.Е., Рудой Н.Г. Проблемы утилизации техногенных отходов промышленных предприятий Сумской области // Сотрудничество для решения проблемы отходов: материалы III междунар. конф. / Харьков. нац. эконом. ун-т. – Харьков, 2006. – С. 99–102.
2. Найденко В.В., Губанов Л.Н. Глобальные эколого-экономические проблемы: монография. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. архит.-строит. ун-та, 2005. – 245 с.
3. Лукьянова В.В., Нестер А.А. Оценка экологического риска машиностроительного предприятия при производстве плат и гальваники // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 5. – С. 141–151.
4. Инженерная защита окружающей среды: Очистка вод. Утилизация отходов / под ред. Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 296 с.
5. Панин М.С. Химическая экология / под ред. С.Е. Кудайбергенова. – Семипалатинск, 2002. – 852 с.
6. Поташников Ю.М. Утилизация отходов производства и потребления. – Тверь: Изд-во ТГТУ, 2004. – 107 с.
7. Разработка технологии переработки отходов гальванического производства на экспериментальной установке модульного типа / О.Г. Селиванов, Л.А. Ширкин, М.Е. Ильина, А.Н. Васильев // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7–3. – С. 568–572.

8. Использование отходов производства: учеб.-метод. пособие / К.Ш. Арынгазин, В.В. Ларичкин, Д.К. Алдунгарова [и др.]. – Павлодар: Кереку, 2016. – 61 с.
9. Чуркина А. Ю. Анализ систем очистки сточных вод гальванических производств предприятий Самарской области // Альманах современной науки и образования. – 2012. – № 7(62). – С. 166–169.
10. Алдунин А. В. Исследование, разработка и внедрение эффективных технологий производства полос и лент из стали и сплавов цветных металлов с заданными структурой и свойствами: дис. ... д-ра техн. наук: – М., 2011. – 369 с.
11. Нестер А.А. Очистка сточных вод производства печатных плат: монография. – Хмельницкий: Изд-во Хмельницкого нац. ун-та, 2016. – 219 с.
12. Баженов А.В. Государственно-частное партнерство: проблемы и перспективы инвестирования в сферу обращения с отходами / Экологический вестник России. – 2011. – № 7. – С. 38–42.
13. Теории и методы физики почв: учебник / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. – М.: Гриф и К. – 2007. – 616 с.
14. Артамонов В.С. Технические и коммунальные отходы и окружающая среда // Гражданская защита. – 2007. – № 2. – С. 30–31.
15. Введение в защиту окружающей среды: учеб. пособие / В.Ф. Панин, С.В. Романенко, А.А. Сечин, А.И. Сечин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 176 с.

#### References

1. Mirka G.E., Rudoi N.G. Problemy utilizatsii tekhnogennykh otkhodov promyshlennykh predpriatii Sumskoi oblasti [Problems of utilization of technogenic waste of industrial enterprises of Sumy region]. Sotrudnichestvo dlia resheniia problemy otkhodov Materialy III mezhdunarodnoi konferentsii. Khar'kov, Khar'kovskii natsional'nyi ekonomicheskii universitet, 2006. pp. 99-102.
2. Naidenko V.V., Gubanov L.N. Global'nye ekologo-ekonomicheskie problemy [Global environmental and economic problems]. N. Novgorod: Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t, 2005, 245 p.
3. Luk'ianova V.V., Nester A.A. Otsenka ekologicheskogo riska mashinostroitel'nogo predpriatii pri proizvodstve plat i gal'vaniki [Environmental risk assessment of machine-building enterprise in the production of boards and electroplating]. Izvestiia Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, 2017, no. 5, pp.141-151.
4. Inzhenernaia zashchita okruzhaiushchei sredy: Ochistka vod. Utilizatsiia otkhodov [Environmental engineering: water Treatment. Utilization of wastes]. Ed. Iu.A. Birmana, N.G.Vurdovoi. Moscow: Izd-vo ASV, 2002, 296 p.
5. Panin M.S. Khimicheskaiia ekologiia [Chemical ecology]. Ed. S.E. Kudaibergenov. Semipalatinsk, Semipalatinskii gos. un-t im. Shakarima, 2002, 852 p.
6. Potashnikov Iu.M. Utilizatsiia otkhodov proizvodstva i potrebleniia [Disposal of production and consumption waste]. Tver', Izdatel'stvo TGTU, 2004, 107 p.
7. Selivanov O.G., Shirkin L.A., Il'ina M.E., Vasil'ev A.N. Razrabotka tekhnologii pererabotki otkhodov gal'vanicheskogo proizvodstva na eksperimental'noi ustanovke modul'nogo tipa [Development of technology for processing of waste galvanic production on the experimental unit of modular type]. Fundamental'nye issledovaniia, 2015, no 7-3, p. 568-572.
8. K.Sh. Aryngazin, V.V. Larichkin, D.K. Aldungarova et al. Ispol'zovanie otkhodov proizvodstva [Use of production waste]. Pavlodar: Kereku, 2016, 61 p.
9. Churkina A. Iu. Analiz sistem ochistki stochnykh vod gal'vanicheskikh proizvodstv predpriatii Samarskoi oblasti [Analysis of waste water treatment systems of galvanic plants of the Samara region]. Al'manakh sovremennoi nauki i obrazovaniia, 2012, no. 7(62), pp. 166-169.
10. Aldunin A.V. Issledovanie, razrabotka i vnedrenie effektivnykh tekhnologii proizvodstva polos i lent iz stali i spлавov tsvetnykh metallov s zadannymi strukturoi i svoistvami [Research, development and implementation of effective technologies for production of strips and ribbons of steel and non-ferrous metal alloys with specified structure and properties]. Doktor's degree dissertation. Moscow, 2011, 369 p.
11. Nester A.A. Ochistka stochnykh vod proizvodstva pechatnykh plat [Waste water treatment of printed circuit Board production]. Khmel'nitskii: Izdatel'stvo Khmel'nitskogo natsional'nogo universiteta, 2016, 219 p.
12. Bazhenov A.V. Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo: problemy i perspektivy investirovaniia v sferu obrashcheniia s otkhodami [Public-private partnership: problems and prospects of investment in waste management]. Ekologicheskii vestnik Rossii, 2011, no. 7, pp. 38-42.
13. Teorii i metody fiziki pochv [Theories and methods of soil physics]. Ed. E.V. Shein, L.O.Karpachevskii. Moscow: Grif i K, 2007, 616 p.

14. Artamonov V.S. Tekhnicheskie i kommunal'nye otkhody i okruzhaiushchaia sreda [Technical and municipal waste and the environment]. Grazhdanskaia zashchita, 2007, no. 2, pp. 30-31.

15. Panin V.F., Romanenko S.V., Sechin A.A., Sechin A.I. Vvedenie v zashchitu okruzhaiushchei sredy [Introduction to environmental protection]. Tomsk, TPU, 2011, 176 p.

Получено 23.05.2018

#### **Об авторе**

**Нестер Анатолий Антонович** (Хмельницкий, Украина) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и безопасность жизнедеятельности» Хмельницкого национального университета (29017, г. Хмельницкий, ул. Институтская, 11, e-mail: nesteranatol111@gmail.com)

#### **About the author**

**Anatoliy A. Nester** (Khmelnitsky, Ukraine) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Occupational Health and Safety, Khmelnitsky National University (11, Institutskaya st., Khmelnytskyi, 29017, Ukraine, e-mail: nesteranatol111@gmail.com).

Научное издание

**ТРАНСПОРТ.  
ТРАНСПОРТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ.  
ЭКОЛОГИЯ**

№ 3

Редактор и корректор *Е.И. Герман*  
Корректор метаданных на английском языке *А.В. Цыбина*

Ответственность за содержание материалов, достоверность научных результатов, точность изложения фактов и References несут авторы статей.

Журнал является рецензируемым, представлен в ведущих библиотеках страны, а также в научной электронной библиотеке проекта «Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)».

---

Выход в свет 9.10.2018. Формат 60×90/8.  
Усл. печ. л. 12,0. Тираж 100 экз. Заказ № 210/2018.  
Свободная цена

---

Отпечатано в типографии Издательства  
Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.  
Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.  
Тел. (342) 219-80-33.