

УДК 92.542.4

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.040624.68.1060

## РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ТРАВІЛЬНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ В СИЛЬНОАГРЕСИВНИХ ГАРЯЧИХ СІРЧАНОКИСЛИХ РОЗЧИНАХ

БЕРЕЗЮК А. М.<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, проф.,  
ГАННИК М. І.<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
МАРТИШ О. П.<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
ПАПІРНИК Р. Б.<sup>4</sup>, канд. техн. наук, доц.,  
МАРТИШ О. О.<sup>5</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 732-37-76, e-mail: [berezkykanatoliy@gmail.com](mailto:berezykanatoliy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

<sup>2</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (066) 341-64-38, e-mail: [gannyk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:gannyk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-3278-9232

<sup>3</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 410-42-20, e-mail: [martysh.oleksandra@pdaba.edu.ua](mailto:martysh.oleksandra@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6126-1920

<sup>4</sup> Кафедра технології будівельного виробництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (067) 528-84-46, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

<sup>5</sup> Кафедра організації і управління будівництвом, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (093) 713-23-77, e-mail: [martysh.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:martysh.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Анотація. Постановка проблеми.** Технологічний процес металургійних, трубокатних, хімічних і інших підприємств включає хімічну обробку металопродукції травленням у гарячих (60–80 °С) розчинах сірчаної кислоти концентрації 20–22 %. Такий спосіб хімічної обробки металопродукції здійснюється у травільних відділеннях підприємств у спеціальних ємностях (травільних агрегатах). Травільний розчин указаної концентрації й температури – це сильно агресивне середовище для всіх будівельних конструкцій із традиційних матеріалів. Існуючі технологічні травільні агрегати хімічної обробки металопродукції не забезпечують надійності і довговічності роботи і руйнуються через 1–2 роки експлуатації. Тому підприємства чорної металургії, які мають травільні відділення для хімічної обробки металопродукції, належать до підприємств із сильно агресивним середовищем і їх проектування повинно здійснюватися з урахуванням цих умов. **Мета роботи** – пошук і впровадження у виробництво механізмів підвищення стійкості полімербетонів в агресивному середовищі. **Об’єкт дослідження** – полімербетон на модифікованих фуранових смолах. **Предмет дослідження** – впровадження у виробництво і вивчення особливостей та удосконалення конструктивних рішень травільних ванн із матеріалів на основі полімербетонів у агресивному середовищі. **Основна частина** – розроблення конструктивного рішення технологічних травільних агрегатів із конструкційного корозійностійкого матеріалу (полімербетону на фуранових смолах). **Висновки.** Травлення металовиробів на підприємствах чорної металургії проводиться у сильноагресивних гарячих розчинах сірчаної кислоти 20–25 % концентрації за температури 60–80 °С. В умовах постійної дії сильноагресивних гарячих сірчанокислених розчинів навіть захист їх хімічно стійкими матеріалами не забезпечує необхідної їх надійності і довговічності. Для виготовлення таких конструкцій необхідний новий конструктивний матеріал, який сполучав би хімічну стійкість із міцністю і довговічністю. Таким матеріалом виявився конструктивно хімічно стійкий полімербетон на основі термореактивних фуранових смол, які володіють високою міцністю, універсальною хімічною стійкістю, що дозволяє принципово по-новому вирішити проблему надійності і довговічності технологічних агрегатів хімічної обробки металопродукції підприємств чорної і кольорової металургії. Нове конструктивне рішення технологічних травільних агрегатів з армополімербетону полягає в комплексі з амортизаційними брусками й удосконаленою системою вентиляції, які складаються з окремих елементів повної заводської готовності масою не більше 5 т, що дозволяє їх транспортування і монтаж у діючих цехах травільних відділів існуючими механізмами.

**Ключові слова:** полімербетон; фуранові смоли; агресивне середовище; травільні агрегати

## DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIVE DESIGN OF PICKLING UNITS FOR OPERATION IN HIGHLY AGGRESSIVE HOT SULPHURIC ACID SOLUTIONS

BEREZYUK A.M.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*,  
HANNYK M.I.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
MARTYSH O.P.<sup>3</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
PAPIRNYK R.B.<sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,  
MARTYSH O.O.<sup>5</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

<sup>1\*</sup> Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 732-37-76, e-mail: [berezykanatoliy@gmail.com](mailto:berezykanatoliy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0003-2113-6858

<sup>2</sup> Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (066) 341-64-38, e-mail: [gannyk.mykola@pdaba.edu.ua](mailto:gannyk.mykola@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-3278-9232

<sup>3</sup> Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 410-42-20, e-mail: [martysh.oleksandra@pdaba.edu.ua](mailto:martysh.oleksandra@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-6126-1920

<sup>4</sup> Department of Construction Production Technology, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (067) 528-84-46, e-mail: [ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua](mailto:ruslan.b.papirnyk@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-7153-9378

<sup>5</sup> Department of Organisation and Management in Construction, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (093) 713-23-77, e-mail: [martysh.oleksandr@pdaba.edu.ua](mailto:martysh.oleksandr@pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8864-2555

**Abstract. Problem statement.** Technological process of metallurgical, pipe-rolling, chemical and other enterprises includes chemical treatment of metal products by pickling in hot (60–80 °C) sulphuric acid solutions with a concentration of 20–22 %. This treatment method is conducted in the pickling departments of enterprises in special containers (pickling units). Pickling solution of the specified concentration and temperature is a highly aggressive environment for all building structures made of traditional materials. Existing pickling units for chemical treatment of metal products do not ensure reliability and durability and are destroyed after 1-2 years of operation. Therefore, ferrous metallurgy enterprises that have pickling departments for chemical treatment of metal structures are classified as enterprises with a highly aggressive environment and their design should be developed with these conditions under consideration. **The purpose of the work:** Searching for and implementing mechanisms to improve the resistance of polymer concrete in aggressive environments in production. **The object of research** – is furan resins modified polymer concrete. **The subject of the research** – investigation of the particularities and improvement of constructive design for pickling baths made of materials based on polymer concrete in an aggressive environment and its implementation in production. **Main part.** Development of constructive design for technological pickling units made of structural corrosion-resistant material (furan resins modified polymer concrete). **Conclusions.** Pickling of metal products at ferrous metallurgy enterprises is conducted in highly aggressive hot sulphuric acid solutions of 20–25 % concentration at a temperature of 60–80 °C. Under the conditions of constant exposure to highly aggressive hot sulphuric acid solutions, even protection with chemically resistant materials does not ensure the required reliability and durability. To manufacture such structures, a new structural material is needed that combines chemical resistance with strength and durability. This material is a structurally chemical-resistant polymer concrete based on thermoset furan resins, which have high strength and universal chemical resistance, allowing us to solve the problem of reliability and durability of technological units for chemical treatment of metal structures at ferrous and non-ferrous metallurgy enterprises in a fundamentally new way. New constructive design for pickling units made of reinforced polymer concrete was developed in conjunction with shock-absorbing bars and an improved ventilation system, consisting of individual elements of full factory readiness weighing no more than 5 tonnes, which allows them to be transported and installed in operating pickling workshops using existing mechanisms.

**Keywords:** *polymer concrete; furan resins; aggressive environment; pickling units*

**Постановка проблеми.** Технологічний процес трубопрокатних, металургійних, хімічних й інших підприємств включає хімічну обробку металопродукції

травленням у гарячих (60–80 °C) розчинах сірчаної кислоти концентрації 20–22 %. Такий спосіб хімічної обробки металопродукції здійснюється у травильних

відділеннях підприємств у спеціальних емностях (травильних агрегатах).

Існуючі технологічні травильні агрегати хімічної обробки металопродукції не забезпечують надійності і довговічності роботи і руйнуються через один–два роки експлуатації. Проблема вирішується шляхом використання полімербетону.

**Аналіз** сучасних експериментальних і літературних даних [1; 2] показує значні переваги застосування полімербетонів [3].

У зв'язку з безперервним зростанням потреб у застосуванні стійких до агресивного середовища будівельних матеріалів в Україні, а також перспективним використанням їх у будівництві, металургії, хімічній промисловості, за даною тематикою досліджень розроблено травильні агрегати на основі полімербетонів.

**Мета роботи** – пошук і впровадження у виробництво механізмів підвищення стійкості полімербетонів в агресивному середовищі.

**Об'єкт дослідження** – полімербетон на модифікованих фуранових смолах.

**Предмет дослідження** – впровадження у виробництво і вивчення особливостей та удосконалення конструктивних рішень травильних ванн із матеріалів на основі полімербетонів у агресивному середовищі.

**Методика.** Проведення досліджень показано на розробленні технологічної лінії з виготовлення повнозбірних великогабаритних травильних агрегатів із корозостійкого армополімербетону на термореактивних фуранових смолах.

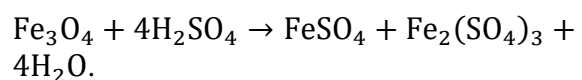
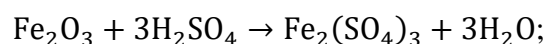
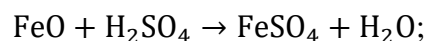
**Наукова новизна.** Ефективність нових армополімербетонних конструкцій, які підлягають освоєнню, залежить від раціонального вибору матеріалів з урахуванням останніх досягнень науки і техніки.

**Практична значущість.** Високі показники термічної і динамічної міцності, зносостійкості та корозійної стійкості полімербетонів дозволяють використовувати їх у різних галузях виробництва.

**Виклад результатів.** Перш ніж висвітлити конструктивні рішення технологічних травильних агрегатів із традиційних матеріалів, необхідно показати технологію хімічної обробки металевих виробів травленням на підприємствах чорної металургії.

У процесі виробництва, збереження, транспортування метали у вигляді листів, стрічок, труб, дроту або різного роду деталей випробовують дію навколишнього середовища, у результаті чого їх поверхня покривається окисними плівками, термічною окалиною, продуктами корозії. Чужорідний зовнішній шар, що виникає погіршує вигляд деталей, перешкоджає нанесенню захисних покриттів і проведенню чергових операцій технологічного процесу.

Для усунення різних окисних сполук (іржі, окалини, продуктів корозії) використовують травлення металу. Іржа являє собою суміш гідратів окису заліза  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  і  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Процеси, які відбуваються під час травлення, можна пояснити на прикладі взаємодії сірчаної кислоти із залізом, на поверхні якого має місце окалина. Окалина на залізі складається в основному із суміші окислів  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Взаємодіючи з кислотою, ці окисли створюють розчинні у воді солі за наступними реакціями:



Оскільки шар окалини не рівномірний по товщині, а на окремих ділянках металу взагалі відсутній, під час травлення поряд з окислами відбувається часткове розчинення металевого заліза.

Розчинність окислів заліза у кислоті різна. У сірчаній вони розчиняються менше, ніж у соляній кислоті тієї концентрації. Поряд із тим, сірчана кислота більш активно реагує із залізом, ніж соляна.

Ці обставини мають істотне значення, тому що реакція взаємодії заліза із сірчаною кислотою супроводжується виділенням

водню. Накопичені у розчині сірчаноокислі солі також сприяють травлячій дії на залізо.

Ці побічні процеси зумовлюють розтравлення металу і виділення атомарного водню, який дифундує з металом. У соляній кислоті видалення окалини відбувається переважно за рахунок її розчинення.

У сірчаній кислоті окалина усувається у результаті порушення її зв'язку з металом, завдяки його підтравленню і розрихленню окалини пухирцями водню. Підкислення у визначених межах концентрації кислоти і температури розчину підсилюють травленням [1].

Найбільша швидкість травлення досягається у 20–25 % сірчаній або в 10–20 % соляній кислоті. Підвищення температури розчину інтенсифікує процес травлення. Так, наприклад, за підвищення температури 10 % розчину сірчаної кислоти від 15 до 60 °С швидкість травлення зростає в 10–15 разів. Тому травильні розчини на основі сірчаної кислоти доцільно нагрівати до 50–60 °С. Сірчаноокислі розчини не нагрівають вище 30–40 °С через велику летючість хлористого водню.

Виділення водню, що відбувається під час травлення у кислоті заліза і його сплавів, впливає на властивості металу. У результаті проникнення в метал атомарного водню підвищується крихкість, зменшується в'язкість і міцність металу.

Кількість пошкоджених при поглинанні сталю водню зростає із тривалістю травлення і підвищенням температури розчину. За однакового режиму травлення сталі у сірчаній кислоті виділяється більша кількість водню і більше його поглинається металом, ніж у разі травлення в соляній кислоті такої ж нормальності [1].

Для зменшення впливу небажаних побічних процесів під час травлення останніми роками все більше застосовують затримувачі, або інгібітори корозії, які вводять у травильні розчини. Ці добавки значно затримують процес розчинення металу, зменшуючи кількість відділяючого водню і тим самим наводорожування металу. Швидкість розчинення окалини при цьому змінюється не значно. Отож, за

використання інгібітора травлення можна запобігти перетравленню металу, погіршенню його механічних властивостей, зниження витрати кислоти.

Як інгібітори використовуються деякі мінеральні солі, наприклад хлористий натрій і ряд органічних сполук. Уведення 3–5 г/л хлористого натрію у розчин, який містить від 40 до 200 г/л сірчаної кислоти, в 10–15 разів знижує втрати металу під час травлення сталі порівняно з розчином, який не містить добавки хлориду [1].

Найчастіше використовують органічні інгібітори. Один із найбільш відомих і давніх – інгібітор 4 М (ізобутилбромід), який вводять у сірчаноокислі розчини. Для таких же розчинів додають інгібітори КС (Roclean L 211) уротропін, БА-6 (EPUROKER). У соляноокислі розчини додають КС (катанін), уротропін. Інгібіторними діями володіють змочувальні речовини ОП-7 (органічні броміди) і ОП-10 (модифіковані броміди).

У виборі травильних розчинів необхідно враховувати економічну складову процесу. У цьому відношенні сірчана кислота має низку переваг порівняно із соляною кислотою. Сірчана кислота дешевша, процес травлення за рівних умов відбувається швидше, питомі витрати кислоти менші. Розчини з більшим умістом сірчаноокислого заліза, що накопичилось у результаті травлення, можуть бути регенеровані і повернені у виробництво.

На основі аналізу матеріалів дослідження прийнято конструктивне рішення технологічних травильних агрегатів із традиційних матеріалів.

Хімічна обробка металоконструкцій (труб, листів, дроту-катанки та інших) гарячим розчином кислот на підприємствах чорної металургії – це одна з основних операцій виробничого процесу, від якої залежить якість продукції, що випускається.

Травлення металовиробів у наш час здійснюється в технологічних травильних агрегатах багатошарової конструкції (рис. 1), що складається із сталюого корпусу – 1, гідроізоляції внутрішніх поверхонь корпусу поліізобутиленом у два

шари на клею № 84 – 2, футеровки сталюого корпусу кислотостійкою цеглою на діабазовій замазці – 3, дерев'яних амортизаційних брусів – 4, бортових

відкосів із цегли – 5, дерев'яного настилу між травильними агрегатами – 6, вентиляційних каналів-колекторів – 7.

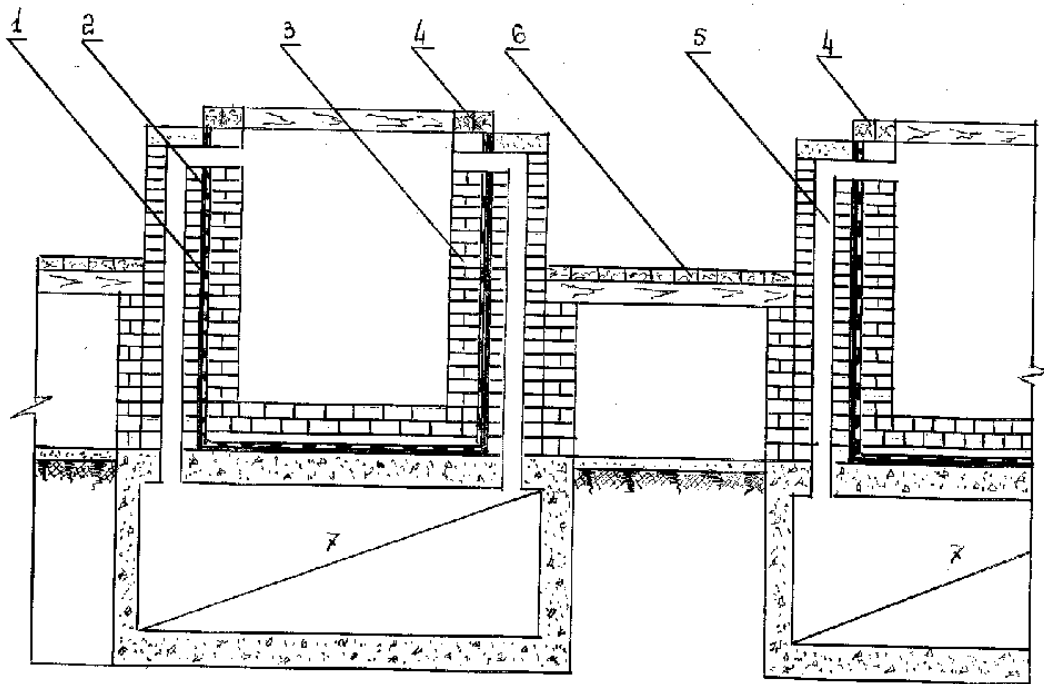


Рис. 1. Конструктивне рішення технологічних травильних агрегатів із традиційних матеріалів: 1 – сталюий корпус; 2 – гідроізоляція корпусу поліізобутиленом; 3 – футеровка сталюого корпусу кислотостійкою цеглою; 4 – дерев'яні амортизаційні бруски; 5 – бортові відкоси із кислотостійкою цегли; 6 – дерев'яний настил між травильними агрегатами; 7 – вентиляційні канали-колектори

Проте весь цей комплекс хімічного і конструктивного захисту сталюого корпусу травильного агрегата не забезпечує його надійності і довговічності, тому що у процесі експлуатації гарячий кислотний розчин проникає через шви цегляної кладки до сталюого корпусу і руйнує його. Процесу руйнування футеровки із кислотостійкою цегли сприяють також динамічні удари пакетів трую або інших металовиробів. У результаті цього травильні агрегати із традиційних матеріалів руйнуються протягом одного-двох років експлуатації або потребують капітального ремонту, витрати на який досягають 5–60 % вартості нового травильного агрегата.

Конструкції з деревини (амортизаційні бруски, частини між травильними агрегатами) в умовах агресивного середовища і динамічних ударів пакетів труб швидко руйнуються, а створений при цьому шлам забруднює канали, труби і

фільтри, що спричинює їх закупорку і порушення технологічного процесу.

Через такі недоліки традиційних металофутерувальних конструкцій травильних агрегатів стало необхідним переглянути технічні рішення травильних агрегатів з метою зниження металоємності і вартості, а також підвищення надійності і довговічності їх роботи за дії сильноагресивних гарячих сірчаноокислих розчинів.

У результаті запропоновано рішення технологічних травильних агрегатів із нового конструктивного корозійностійкого матеріалу (армополімербетону на фуранових смолах).

Недоліки існуючих травильних агрегатів із традиційних матеріалів зумовили необхідність розроблення нового конструктивного рішення травильних агрегатів з армополімербетону на фуранових смолах із поліпшеною системою вентиляції,

які раніше виконувались із моноліту, а потім стали збірно-монолітними.

Враховуючи, що для виготовлення великогабаритних травильних агрегатів з армополімербетону у монолітному і збірно-монолітному виконанні на кожному заводі, на місці установки, необхідно влаштовувати бетонозмішувальний вузол, заготовлювати і зберігати компоненти полімербетонної суміші, виготовляти опалубку і

армокаркаси, створювати і навчати бригаду бетонувальників, вести контроль якості матеріалів і технологічних процесів, прийнято рішення розробляти нову повнозбірну конструкцію травильного агрегата у комплексі з удосконаленою системою вентиляції та амортизаційними брусами з окремих елементів масою не більше 5 т (рис. 2).

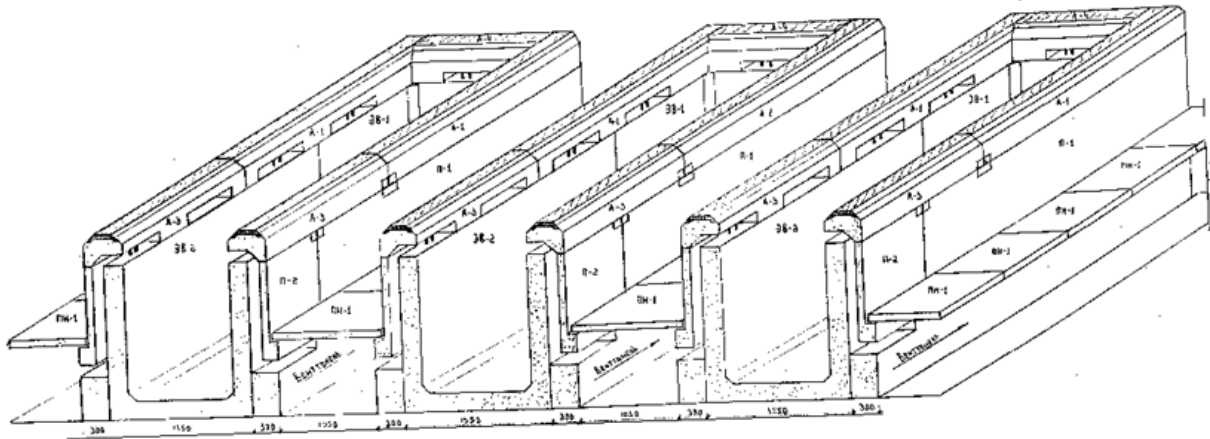


Рис. 2. Загальний вигляд повнозбірної конструкції травильного агрегата з армополімербетону

Виготовлення таких травильних агрегатів передбачається у спеціалізованих цехах індустріальним способом. Окремі елементи травильного агрегата повної заводської готовності, масою не більше 5 т, будуть транспортуватися до місця установки автомобільним чи залізничним транспортом. Далі їх монтувала спеціальна виїзна бригада з подальшим опоряджуванням окремих стиків з'єднання безусадковим полімербетонним герметиком.

#### Висновки.

Травлення металовиробів на підприємствах чорної металургії відбувається в сильноагресивних гарячих розчинах сірчаної кислоти 20–25 % концентрації за температури 60–80 °С. В умовах постійної дії сильноагресивних гарячих сірчаноокислих розчинів, в яких працюють технологічні травильні агрегати, навіть захист хімічно стійкими матеріалами не забезпечує їх необхідної надійності і довговічності. Очевидно, що для

виготовлення таких конструкцій необхідний новий матеріал, який поєднував би хімічну стійкість із міцністю і довговічністю.

Таким матеріалом виявився конструктивно хімічно стійкий полімербетон на основі термореактивних фуранових смол, які володіють високою міцністю, універсальною хімічною стійкістю, що дозволяє принципово повному вирішити проблему надійності і довговічності технологічних агрегатів хімічної обробки металоконструкцій підприємств чорної і кольорової металургії.

Нове конструктивне рішення технологічних травильних агрегатів з армополімербетону виконане в комплексі з амортизаційними брусами й удосконаленою системою вентиляції, яке складається з окремих елементів повної заводської готовності масою не більше 5 т, що дозволяє їх транспортування і монтаж у діючих цехах травильних відділів існуючими механізмами.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осипенко В. І., Поздєєв С. В., Тищенко І. Ю. Будівельні матеріали та їх поведінка при дії високих температур : навч. посіб. Черкаси, 2011. 170 с.
2. Березюк А. М., Папірник Р. Б., Ганник М. І., Мартиш О. П., Огданський І. Ф., Гайдар А. М. Внутрішні напруги в фуранових композитах і шляхи їх релаксації полімербетонів. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування*. Вип. 104. 2018. С. 54–59.
3. Дворкін Л. Й., Лаповська С. Д. Будівельне матеріалознавство : підруч. Рівне : НУВГП, 2016. 448 с.
4. Березюк А. М., Ганник М. І., Папірник Р. Б., Огданський І. Ф., Мартиш О. П., Гайдар А. М. Вплив відходів хімічних виробництв на особливості полімербетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. Вип. 71. С. 84–88.
5. Лупир О. О. Дослідження пористої структури полімербетону на основі термореактивних фуранових смол. *Методи визначення пористості. Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. № 3. С. 19–26.
6. Березюк А. М., Ганник М. І., Папірник Р. Б., Мартиш О. П. Дослідження деформацій полімербетонів у різних середовищах за підвищених температур. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2023. № 1. С. 7–14.

## REFERENCES

1. Osypenko V.I., Pozdieiev S.V. and Tyshchenko I.Yu. *Budivelni materialy ta yikh povedinka pry dii vysokokh temperatur: navchalnyi posibnyk* [Building aterials and their behavior at high temperatures: a study guide]. Cherkasy, 2011, 170 p. (in Ukrainian).
2. Bereziuk A.M., Papirnyk R.B., Hannyk M.I., Martysh O.P., Ohdanskyi I.F. and Haidar A.M. *Vnutrishni napruhy v furanovykh kompozytakh i shliakhy yikh relaksatsii polimerbetoniv* [Internal stresses in furan composites and ways of their relaxation in polymer concretes] *Budivnystvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannia* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. 2018, iss.104, pp. 54–59. (in Russian).
3. Dvorkin L.I. and Lapovska S.D. *Budivelne materialoznavstvo : pidruchnyk* [Construction materials science : textbook]. Rivne : NUVHP Publ., 2016, 448 p. (in Ukrainian).
4. Bereziuk A.M., Hannyk M.I., Papirnyk R.B., Ohdanskyi I.F., Martysh O.P. and Haidar A.M. *Vplyv vidkhodiv khimichnykh vyrobnystv na osoblyvosti polimerbetoniv* [The influence of waste from chemical production on the characteristics of polymer concrete]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture]. 2018, no. 71, pp. 84–88. (in Ukrainian).
5. Bereziuk A.M., Papirnyk R.B., Hannyk M.I., Martysh O.P. and Lupyr O.O. *Doslidzhennia porystoi struktury polimerbetonu na osnovi termoreaktyvnykh furanovykh smol. Metody vyznachennia porystosti* [Study of the porous structure of polymer concrete based on thermosetting furan resins. Porosity determination methods]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2021, no. 3, pp. 19–26. (in Ukrainian).
6. Bereziuk A.M., Papirnyk R.B., Hannyk M.I. and Martysh O.P. *Doslidzhennya deformatsiy polimerbetoniv u riznykh seredovyshchakh za pidvyshchenykh temperatur* [Study on polymer concrete deformations in different environments at high temperature]. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2023, no. 1, pp. 7–14. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 11.04.2024.