

DOI: <https://doi.org/10.36910/4293-52779-2025-17-01-04>
УДК 621.923

Молчанов В. Ф.
канд., техн., наук, доцент
ORCID 0000-0003-2807-5875
Латишев Д. В.

Дніпровський державний
технічний університет / Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ І РОЗРОБКА УСТАНОВОК ДЛЯ СИСТЕМ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОР ТА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЇХ ПАРАМЕТРІВ

Анотація: досліджено закономірності процесу фільтрації технологічних рідин через пористі матеріали та розроблені високоефективні установки для систем експлуатації мастильно-охолоджуючих рідин. В процесі експлуатації рідини безперервно і інтенсивно забруднюються твердими частками металообробки. Для відновлення властивостей технологічні рідини очищають від механічних домішок. Найбільш широке застосування отримують способи очистки технологічних рідин фільтрацією. Використання фільтрації для очистки технологічних рідин найефективніше, оскільки при фільтрації через шар пористих матеріалів можна досягти повного видалення твердих часток із рідин.

Метою даної роботи є дослідження установок для очистки мастильно-охолоджуючих рідин в умовах механічних цехів і розробка нового високоефективного устаткування для очистки МОР металорізальних верстатів та методик розрахунку їх параметрів.

В результаті впровадження розробок для систем експлуатації МОР та методик розрахунку їх параметрів відпадає необхідність в придбанні дорогих фільтрувальних матеріалів, збільшено термін експлуатації МОР в технологічному ланцюзі на 3%, збільшена стійкість різального інструменту на 6-8%, підвищена якість оброблюваних поверхонь.

Використання запропонованих високоефективних розробок фільтрувального обладнання забезпечує повне освітлення МОР і глибоке видалення твердих часток цінної вторинної сировини металообробки, зокрема для порошкової металургії, створює умови для організації безвідходного виробництва, підвищує рівень екологічної безпеки на ділянці експлуатації МОР.

Ключові слова: технологічні рідини; тверді частки; фільтрація; фільтрувальні установки; пористі матеріали; методика розрахунку.

ВСТУП, ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасне машинобудівне виробництво вимагає застосування сучасного високоефективного технологічного обладнання. Характерною ознакою сучасного машинобудівного виробництва є застосування сучасних інформаційних технологій для автоматизація технологічного устаткування. Це

дозволяє з одного боку скоротити терміни підготовки машинобудівного виробництва та збільшити продуктивність випуску промислової продукції, а з іншої – зменшити трудомісткість виготовлення промислової продукції та знизити її вартість при високій якості.

Стрімке впровадження високопродуктивного технологічного устаткування в сучасному машинобудівному виробництві призводить до інтенсивного збільшення обсягу металообробки. Це у свою чергу збільшує об'єми використання технологічних мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) та призводить до утворення значної кількості стружки та шламу.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На даний час в машинобудуванні інтенсивно розвиваються основні технологічні процеси, які пов'язані з обробкою металів різанням. Деякі з них доведені до вищого ступеня досконалості та автоматизації. Допоміжні процеси, які пов'язані з транспортуванням та переробкою стружки, приготуванням, зберіганням, очищенням і регенерації МОР залишаються далеко не вирішеними, і стримують в значній мірі розвиток основних технологічних процесів. Для більшості виробництв механізація і автоматизація вказаних допоміжних операцій є вирішальною при підвищенні ефективності виробництва [1].

В даний час у вітчизняному машинобудуванні при обробці деталей утворюється велика кількість стружки. Сучасне машинобудівне виробництво може нормально функціонувати тільки в тому випадку, якщо стружка, що утворюється в процесі різання, своєчасно відводиться від верстатів і з цеху. Проте для прибирання стружки і шламу, її транспортування і переробки, очистки та відновлення МОР використовується малоефективне обладнання. Це в значній мірі збільшує експлуатаційні витрати і підвищує собівартість продукції.

Організація переробки вторинних чорних металів в місцях їх утворення і вибір найбільш раціональних способів для досягнення цієї мети представляє значний інтерес, оскільки при такій переробці можна значно скоротити витрати на транспортні роботи, понизити втрати металевої стружки, як цінної сировини.

Проте, на деяких операціях масового виробництва при обробці різанням деталей допоміжні процеси недостатньо вивчені і вимагають проведення додаткових лабораторних і промислових досліджень. Всебічне вивчення допоміжних процесів пов'язаних з транспортуванням і переробкою металевої стружки і шламу дозволить запровадити сучасне обладнання для транспортування вказаної стружки і шламу металорізальних верстатів з подальшим розділенням на фази і очисткою МОР від твердих часток.

Проведені протягом останнього десятиліття глибокі теоретичні і експериментальні дослідження в області допоміжних процесів машинобудування дозволило розвинути один з перспективних напрямів підвищення продуктивності в машинобудуванні шляхом подальшого вдосконалення рівня механізації і автоматизації допоміжних процесів, зокрема транспортування і переробки стружки, очистки і відновлення МОР [2].

Проведені пошукові, теоретичні, експериментальні дослідження дозволили створити новий спектр високоефективного устаткування і розробити ряд комплексних систем для експлуатації МОР, транспортування і переробки стружки.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою даної роботи є дослідження установок для транспортуванню стружки і шламу, очистки МОР в умовах механічних цехів і розробка нового високоефективного устаткування для транспортування металевої стружки і шламу, очистки мастильно-охолоджуючих рідин металорізальних верстатів та методик розрахунку їх параметрів.

Застосування мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) є однією з умов підвищення якості поверхні деталей машин при обробці різанням, особливо на фінішних операцій. Аналіз впливу рідин на поверхневий шар показує, що застосування МОР значною мірою знижує сили тертя в парі інструмент - деталь, зменшує зношування і затуплення різальних кромek шліфувального круга, підвищує якість шліфованих поверхонь.

Проте в процесі експлуатації мастильно-охолоджуючі рідини безперервно і інтенсивно забруднюються твердими частками металообробки, які зменшують зносостійкість інструменту, збільшують припалювання поверхонь, знижують термін експлуатації МОР [3, 4]. Для підвищення якості оброблюваних поверхонь механічні домішки з МОР необхідно видаляти.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Найбільш ефективними для очищення МОР від твердих часток являються очисні пристрої з використанням фільтрації. У Дніпровському державному технічному університеті розроблені установки для очищення рідин від твердих часток фільтрацією [5]. У розроблених пристроях застосовано очищення з використанням фільтрації через шар сипких пористих матеріалів. Особливістю фільтрувальної установки є фільтруюча перегородка у виді об'ємної пористої камери, обмеженої нескінченними фільтрувальними сітками, між якими розміщений шар сипкого пористого матеріалу. В якості фільтрувального матеріалу використовуються утворені тверді частки металообробки або інші широко розповсюджені сипкі пористі матеріали.

Для забезпечення високоякісної очистки мастильно-охолоджуючих рідин від забруднення твердими частками, утвореними металорізальними верстатами при обробці металів різанням запропоновано і розроблено нове очисне обладнання.

Очисний пристрій (рис.1) складається із корпусу 1, нагнітальної камери 2 з підвідним патрубком 3 і розвантажувальним вузлом 4, фільтрувальної перегородки 5, зливної камери 6 з відвідним патрубком 7. Фільтрувальна перегородка 5 виконана у виді пористої камери, обмеженої двома нескінченними сітками 8 і 9, що приводяться в рух системою блоків нижніх 10 і верхніх 11 барабанів, які мають незалежні приводи. Між нескінченними сітками 8 і 9 рівномірним шаром розташовується сипкий пористий матеріал 12 з живильника 13. Під розвантажувальним вузлом 4 встановлений

гравітаційний бак-відстійник 14 з скребковим конвеєром 15 і переливною трубою 16. Пристрій працює таким чином. Забруднена рідина поступає по підвідному патрубку 3 в нагнітальну камеру 2.

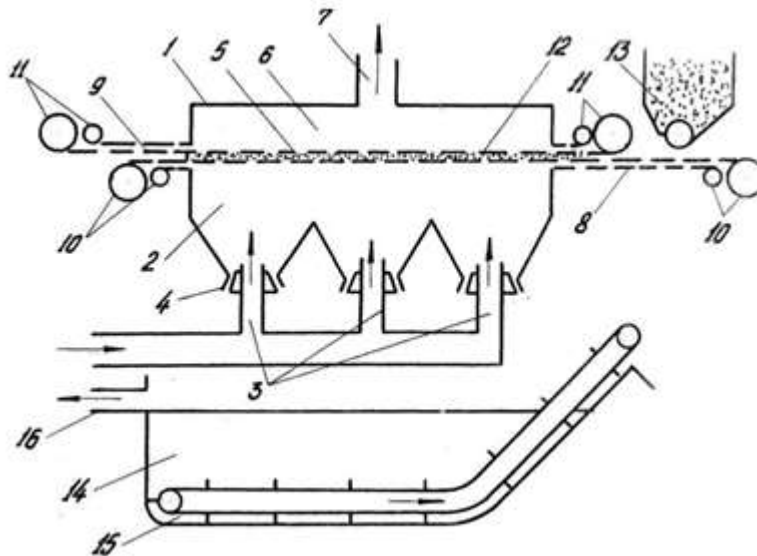


Рисунок 1 – Очисний пристрій

Рідина фільтрується через фільтрувальну перегородку 5 і із зливної камери 6 через патрубок 7 відводиться з пристрою. Тверді частки, швидкість витання яких більше швидкості потоку рідини, направляються на фільтрувальну перегородку 5. Оскільки розмір чарунки нижньої сітки 8 і діаметри капілярних каналів, утворених шаром сипкого пористого матеріалу 12, відповідні з діаметром твердих часток, то останні проникаючи у всередину фільтрувального шару 12, зависають і затримуються в ньому. Крупні тверді частинки швидкість витання яких менше швидкості рухомого вгору потоку рідини, опускаються під дією сил тяжіння вниз до розвантажувального вузла 4. Між циклами фільтрації рідини під час очищення нижньої сітки 8 від твердих частинок і утворення нових капілярних каналів у фільтрувальному шарі 12, що відокремилися і осіли тверді частки разом з частиною рідини через розвантажувальний вузол 4 потрапляють в гравітаційний бак-відстійник 14, звідки їх видаляють скребковим конвеєром 15, а рідина досявши певного рівня переливається через переливну трубу 16 в бак для подальшого очищення.

Процес очищення нижньої сітки 8 від твердих часток і утворення капілярних каналів у фільтрувальному шарі 12 здійснюється поперемінною зміною напрямку руху двох нескінченних сіток 8 і 9, в протилежні сторони при обертанні системи блоків нижніх 10 і верхніх 11 барабанів. Подача і розміщення фільтрувального шару з сипкого матеріалу 12 проводиться живильником 13. Зміна фільтрувальної перегородки 5 здійснюється автоматично шляхом переміщення двох незалежних нескінченних сіток 8 і 9 в одному напрямі з подальшим вивантаженням сипкого пористого матеріалу із

завислими твердими частками в спеціальну ємність для очистки сипкого матеріалу і подальшого його використання. В якості сипкого пористого матеріалу використовуються волокна текстилю, подрібнений піщаник, тверді частки шліфування.

Запропонований пристрій дозволяє автоматизувати процес очищення забрудненої рідини від твердих часток. Механізм очищення нижньої сітки від твердих часток з утворенням нових капілярних каналів у фільтрувальному шарі простий і надійний в роботі, забезпечує відновлення фільтрувальної системи по всій її площині, що дозволяє збільшити продуктивність в 3-5 рази, а ступінь очистки підвищити в 1,1-1,2 рази. Використання в якості фільтрувальної перегородки сипучих пористих матеріалів дає можливість відмовитися від дорогих фільтрувальних тканин і фільтрувального паперу, що дозволяє отримати значний економічний ефект.

Розроблений пристрій запропоновано для високоякісного очищення технологічних рідин від механічних включень і повного видалення цінної вторинної сировини із рідин (МОР) при мінімальних експлуатаційних витратах.

Поставлена мета досягається виконанням фільтрувальної перегородки у виді об'ємної пористої камери, обмеженої двома нескінченними фільтрувальними сітками, між якими рівномірним шаром розміщується сипкий пористий матеріал, і які приводяться в рух системою блоків нижніх і верхніх барабанів, що мають незалежні приводи.

Розроблений очисний пристрій доцільно застосовувати в системах експлуатації МОР для очистки технологічних рідин металорізальних верстатів від дрібної стружки і шламу.

Продуктивність фільтрувальної установки повинна забезпечувати продуктивність централізованої системи експлуатації МОР.

При використанні безкамерної фільтрувальної установки її параметри визначаються в наступній послідовності:

– вибирають діаметр сопла:

$$d_c = (15...25) \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (1)$$

– встановлюють продуктивність сопла:

$$Q_c = (0,5...1,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2)$$

– для заданої продуктивності $W_{\text{ж}}$ системи експлуатації МОР визначають кількість сопел в сопловій групі:

$$n_c = W_{\text{ж}} / Q_c; \quad (3)$$

– вираховують швидкість руху рідини v_c на виході із сопла:

$$v_c = (4 Q_c / \pi \cdot d_c^2) \cdot 10^{-3} \text{ м/с}; \quad (4)$$

– відстань від сопла до фільтрувальної перегородки вибирають в межах:

$$H = (40 \dots 60) \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad (5)$$

– визначаємо кут α_c розкриття струменя витоку рідини із сопла:

$$\alpha_c = (30^\circ \dots 45^\circ); \quad (6)$$

– визначаємо відстань між осями сопел:

$$L_c = (1,115 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_c}{2} \cdot H) \cdot 10^{-2} \text{ м}; \quad (7)$$

– вираховуємо робочу поверхню фільтрувальної перегородки:

$$S_\phi = (L_c \cdot n_c \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_c}{2} \cdot H) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; \quad (8)$$

– вибираємо параметри фільтрувальної перегородки:

– так як фільтрувальна перегородка фільтрувальної установки складається із фільтрувальних сіток, між якими в якості фільтрувального шару використовуються тверді частинки металообробки або інші широко поширені фільтрувальні матеріали, то необхідно визначити параметри фільтрувальних сіток і параметри фільтрувального шару [6].

Для сіток з квадратними отворами живий перетин:

$$L = \frac{1}{1 + d_{\text{др}}/d_o} \cdot 100\%, \quad (9)$$

де $d_{\text{др}}$ – діаметр дроту, мм;

d_o – розмір отворів, мм.

Для сіток з прямокутними отворами розміром живий перетин:

$$L = \frac{d_o \cdot B}{(B + d_{\text{др}}) \cdot (d_o + d_{\text{др}})} \cdot 100\%, \quad (10)$$

де B – розмір більшої сторони отвору, мм;

– вибираємо параметри фільтрувальних сіток $d_{\text{др}}$, d_o і визначаємо живий перетин фільтрувальних сіток L .

– вираховуємо робочу поверхню фільтрувальної перегородки з урахуванням живого перетину фільтрувальних сіток:

$$S_{\text{фж}} = (L_c \cdot L \cdot n_c \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_c}{2} \cdot H) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \quad (11)$$

Продуктивність фільтрувальної установки залежить також від пористості фільтрувального шару фільтруючої перегородки. Пористість фільтрувального шару фільтруючої перегородки і тривалість процесу фільтрування рідини через фільтрувальний шар залежить від маси твердих часток, що зависають в порах сипкого пористого матеріалу фільтрувальної перегородки при фільтруванні рідини [7, 8].

Масу твердих часток, що осіли і зависли в порах каналів сипкого пористого матеріалу фільтрувальної перегородки у будь-який момент часу процесу фільтрації мастильно-охолоджуючої рідини з твердими частками металообробки визначаємо по формулі:

$$m_T = \kappa_3(1 - e^{-W_{\kappa} \cdot t}), \quad (12)$$

де m_T – маса твердих часток, кг;

κ_3 – вхідна концентрація забруднень твердими частками, кг/м^3 .

Припускаючи, що зміна пористості пропорційна приросту маси твердих часток в пористому шарі фільтрувальної перегородки об'ємом W_{ϕ} , м^3 , отримуємо:

$$d\Pi = \frac{dm_T}{\rho \cdot W_{\phi}}, \quad (13)$$

де ρ – щільність пористого середовища, кг/м^3 .

При фільтрації водно-шламових суспензій через фільтрувальну перегородку пористе середовище безперервно змінюється і зростає за рахунок твердих часток шламу [9]. Після підстановки у диференціальне рівняння нерозривності значення зміни пористості фільтрувальної перегородки та відповідних перетворень отримуємо диференціальне рівняння фільтрації рідини в перемінному пористому середовищі [10].

$$\frac{\partial^2 P}{\partial z^2} + \Pi \frac{\rho \cdot g}{\alpha \cdot \mu \cdot \kappa_{\phi}} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\kappa_3 \cdot g \cdot W_{\kappa} \cdot e^{-W_{\kappa} \cdot t}}{\mu \cdot \kappa_{\phi} \cdot \rho \cdot W_{\phi}} = 0. \quad (14)$$

Диференціальне рівняння (14) дозволяє за заданих початкових і граничних умов отримати рішення задачі фільтрування рідини через шар твердих часток перемінного пористого середовища фільтрувальної перегородки в області часових $0 \leq t \leq T$ та просторових $0 \leq z \leq L$ значень.

$$P(z, 0) = P_1; (0, t) = P_1; P(L, t) = P_2. \quad (15)$$

Встановлюємо та визначаємо параметри фільтрування рідини в перемінному пористому середовищі:

– модуль пружності α пористого середовища, Н/м^2 ;

- початкову пористість Π фільтрувального шару фільтруючої перегородки, %;
- коефіцієнт динамічної в'язкості μ , Н·с/м²;
- коефіцієнт фільтрації k_f , м/с;
- вхідну концентрацію забруднень твердими частками K_3 , кг/м³;
- тиск рідини в нагнітальній камері фільтрувальної установки P_n , Па;
- тиск рідини в зливній камері фільтрувальної установки P_3 , Па;
- товщину фільтрувальної перегородки h , м;
- об'єм фільтрувальної перегородки W_ϕ , м³:

$$W_\phi = S_\phi \cdot h$$

По математичній залежності визначаємо продуктивність фільтрувальної установки на початку процесу фільтрації $W_{жп}$ та вкінці $W_{жк}$ протягом заданого часу T при безперервній експлуатації фільтрувальної перегородки площиною S_ϕ .

Визначаємо швидкість фільтрування рідини в перемінному пористому середовищі на початку процесу фільтрації $W_{жп}$ та вкінці $W_{жк}$:

$$v_{фп} = W_{жп} / S_{фж}; \quad v_{фк} = W_{жк} / S_{фж}.$$

По продуктивності фільтрувальної установки на початку процесу фільтрації $W_{жп}$ встановлюємо продуктивність гідравлічного насоса Q_n системи експлуатації МОР:

$$Q_n = (1,15 \dots 1,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с};$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Запропонована методика розрахунку параметрів фільтрувальної установки дозволяє повністю вписатися в систему експлуатації МОР металорізальних верстатів і автоматизувати процес очистки МОР від твердих часток практично будь-якої в'язкості.

ВИСНОВКИ

В результаті впровадження розробок для систем експлуатації МОР та методик розрахунку їх параметрів відпадає необхідність в придбанні дорогих фільтрувальних матеріалів, збільшено термін експлуатації МОР в технологічному ланцюзі на 3%, збільшена стійкість різального інструменту на 6-8%, підвищена якість оброблюваних поверхонь.

Використання запропонованих високоефективних розробок фільтрувального обладнання забезпечує повне освітлення МОР і глибоке видалення твердих часток цінної вторинної сировини металообробки, зокрема для порошкової металургії, створює умови для організації безвідходного виробництва, підвищує рівень екологічної безпеки на ділянці експлуатації МОР.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Тихонцов О. М., Нечипоренко В. І., Коробочка О. М., Левчук О. М. Механізація трудомістких і допоміжних процесів в механічних цехах. Київ : Техніка, 1987. 160 с.

- [2] Тихонцов О. М. Допоміжне обладнання механічних цехів. Київ-Донецьк : Вища школа, 1982. 202 с.
- [3] Лавриненко В. І., Молчанов В. Ф., Солод В. Ю., Проц Л. О. Вплив твердих часток шламу на показники шорсткості обробленої поверхні при шліфуванні і оцінка вірогідності виникнення подряпин на ній. *Надтверді матеріали*. 2019. Т 41, №6(224). С. 91-102.
- [4] Молчанов В. Ф. Дослідження впливу твердих часток на шорсткість поверхонь при шліфуванні методами теорії ймовірності. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*. Дніпродзержинськ : ДДТУ. 2016. Вип. №1(28). С. 20-24.
- [5] Тихонцов А. М., Молчанов В. Ф., Цяпко Н. Ф., Меркушев А. А., Гилин В. Ф. Пристрій для очищення рідин: А.С. 1142139: кл. В 01 D 33/16 (№3609898/23-26). Заявл. 24.06.83; опубл. 28.02.85. Бюл. № 8. 5 с.
- [6] Молчанов В. Ф. Дослідження пропускнує спроможності фільтрувальних сіток. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки)*. Дніпродзержинськ : ДДТУ. 2012. Вип. 3(20). С. 61-65.
- [7] Молчанов В. Ф. Постановка нестационарної задачі фільтрування рідин в пористому середовищі. *Математичне моделювання. Науковий журнал*. 2014. №1. С. 28-30.
- [8] Молчанов В. Ф., Чернишов О. В. Постановка нестационарної граничної задачі фільтрації рідини у пористому середовищі. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць*. Краматорськ : ДДМА, 2019. № 2(46). С. 150-154.
- [9] Молчанов В. Ф. Постановка та вирішення нестационарної граничної задачі фільтрації рідини у пористому середовищі. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське : ДДТУ. 2018. Вип. №1(32). С. 53-58.
- [10] Молчанов В. Ф. Постановка нестационарної задачі фільтрування рідини у деформованому пористому середовищі. *Науковий журнал державного університету «Житомирська політехніка». Технічна інженерія*. 2020. №1(85). С. 66-70.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF INSTALLATIONS FOR COOLANT OPERATION SYSTEMS AND METHODS FOR CALCULATING THEIR PARAMETERS

Molchanov V. PhD, Associate Professor

Latyshev D.

Dniprovsky State Technical University / Ukraine

Abstract. The regularities of the process of filtration of technological liquids through porous materials are investigated and highly efficient installations for the operation of lubricating and cooling liquids are developed. It has been established that during operation, liquids are continuously and intensively contaminated with

solid particles of metalworking. To restore their properties, process fluids are cleaned of mechanical impurities. The most widely used methods of purifying process fluids are filtration. The use of filtration for the purification of process liquids is the most effective, since filtration through a layer of porous materials can achieve complete removal of solid particles from liquids.

The purpose of this work is to study the installations for cleaning lubricating and cooling liquids in mechanical workshops and to develop new highly efficient equipment for cleaning coolant of metal-cutting machines and methods for calculating their parameters.

As a result of the implementation of the developments for coolant operation systems and methods for calculating their parameters, the service life of coolant in the technological chain was increased by 3%, the durability of cutting tools was increased by 6-8%, and the quality of machined surfaces was improved. The use of the proposed highly efficient developments of filtering equipment provides complete clarification of coolant and deep removal of solid particles of valuable secondary raw materials of metalworking, in particular for powder metallurgy, creates conditions for the organisation of waste-free production, increases the level of environmental safety at the coolant operation site.

Keywords: technological liquids; solid particles; filtration; filtering plants; porous materials; calculation method.