

Прасолов Є. Я.,  
Ломига А. Ю.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ ВОД СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ

*Обґрунтовано доцільність очистки нафтовмісних вод сільськогосподарських угідь шляхом вторинного емульгування. Розроблено лабораторну установку та методіку досліджень процесу очистки нафтовмісних вод. За результатами експериментальних досліджень встановлено оптимальні конструктивно-режимні параметри установки для очистки нафтовмісних вод. Визначена залежність ефекту очистки стічних вод від швидкості фільтрування у вуглеводному шарі в присутності гранульованих твердофазних матеріалів на межі розділу нафти і води.*

**Ключові слова:** нафтовмісна вода, коалесценція, фільтрат, окислення, кінетична реакція, електричне поле, силові лінії, швидкість фільтрування.

### 1. Вступ

Сьогодення вимагає від людства вирішити одну із важливих проблем — захистити природу від нафтового забруднення [1, 2].

В Україні сільськогосподарські підприємства мають господарські бази паливно-мастильних матеріалів. Через недосконале устаткування цих баз, а нерідко безвідповідальне відношення до нафтопродуктів, їх втрати на випаровування, витік та просочування, по наблизим оцінкам складає приблизно 2,5 % від річного обороту. Незважаючи на порівняно невеликі втрати, вони представляють велику екологічну небезпеку, так як створюють значне забруднення сільськогосподарських угідь по Україні. Тому, нині дуже важливо прийняти невідкладні заходи по скороченню витрат нафтопродуктів, а також здійснення робіт по очищенню забруднених територій.

Вторгнення нафтових відходів, фізичні зміни ландшафту, які пов'язані з використанням паливно-мастильних матеріалів викликає істотні незворотні зміни в екосистемі: порушується структура, водний та сольовий режим ґрунтів; деградує рослинність, забруднюються поверхневі, ґрунтові води та приземна атмосфера.

Нині актуальним будуть дослідження нафтовмісних відходів з використанням гідрофобних та коалесцируюче-гідрофобних фільтрів. Їх наступне впровадження дозволить зменшити забруднення навколишнього середовища.

### 2. Постановка проблеми

Нафтопродукти випаровуються, забруднюють повітря і утворюють канцерогенні сполуки. Значна частина нафтопродуктів потрапляє в ґрунт, викликає несприятливі зміни його мікроелементного складу, фізико-хімічних властивостей, водно-повітряного і окислювано-відновлюваних режимів, порушення нормального співвідношення вуглецю, азоту та фосфору. На території нафтобаз та на прилеглих площах ґрунти деградують та руйнуються. Частина протіклих нафтопродуктів, в першу чергу їх легкі фракції випаровуються із верхнього шару ґрунту, але значна частина просочується в ґрунтові води

і утворює зони забруднення, в яких містяться в різних пропорціях нафтопродукти і підземні води. Ця зона розповсюджується по площі і зміщується в сторону потоку ґрунтових вод. При сезонних коливаннях рівня ґрунтових вод забруднення розповсюджується в глибину. А за межами осередку витоків та просочувань можливе забруднення вище середньо-річної глибини ґрунтових вод.

Нафтопродукти створюють велику екологічну загрозу водоносним горизонтам, водоймам. Незначний вміст нафтопродуктів порядку 0,1 мг/л робить воду непридатною для пиття, а концентрація більше 0,05 мг/л недопустима для рибогосподарських водойм.

### 3. Аналіз літературних даних

Залишки відпрацьованих паливно-мастильних речовин (ПМР) з сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів є істотним фактором забруднення ґрунтових вод нафтопродуктами. За рахунок випаровування, окислення, емульгування, розчинення склад паливно-мастильних матеріалів значно змінюється. В них концентрується високомолекулярні компоненти, вміст яких досягає близько 25 %. Одна операція емульгування істотно змінює властивості паливно-мастильних речовин. Різке збільшення міжфазної поверхні, не рівноважний стан поверхонь розділу фаз призводить до інтенсифікації хімічних процесів [3–6].

Найбільш розповсюдженими пристроями для очищення нафтовмісних вод сільськогосподарських угідь є гідроциклони, відстійники, нафтопастки, гідрофобні і гідрофільні фільтри, флотатори, електролізи, фільтри з зернистим завантаженням [7–10].

Аналіз ґрунтових вод на базах паливно-мастильних матеріалів та на прилеглих територіях показав, що кількість нафтопродуктів коливається від 15 до 135 мг/л при ГДК 0,05 мг/л.

Враховуючи недоліки існуючих способів очистки та результати аналізу науково-технічних джерел дозволить виділити перспективний напрямок досліджень, що передбачає використання принцип коалесценції та рідинної фільтрації.

#### 4. Мета і задачі дослідження

Метою статті є дослідження процесу вторинного емульгування води з нафтопродуктами та покращення методів руйнування водо нафтових емульсій.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Визначити фактори, що впливають на ефективне очищення ґрунтових вод з нафто відходами.
2. Провести дослідження механізму очищення нафтовмісних вод в лабораторних умовах.
3. Встановити швидкість фільтрування та час коалесценції з використанням електричного поля.

#### 5. Методика дослідження процесу вторинного емульгування нафтовмісної води

Дослідження механізму очищення нафтовмісних вод в лабораторних умовах виконувались на установці, яка включає резервуар з промисловими відходами, розподільчий колектор, вертикальну колонку та фільтр, який розміщений в циліндричному корпусі. В середину установки вставляється патрон з коалесціруючим завантаженням, яке підтримується сіткою. В верхній частині патрону розміщують шар гранульованих гідрофільних частинок. В кільцевому зазорі, що утворюється корпусом і патроном, розміщуються полочні блоки. В нижній частині вбудована збірна система з патрубками для води.

Нафтовмісна вода тангентаційно подається в нижню частину корпусу гідроциклону. Тверді зважені речовини мають більшу щільність, ніж вода і концентруються під дією відцентрових сил поблизу стінок, поступово сповзають в пряминок і відновлюються. Нафтові краплі збираються поблизу центру корпусу і разом з потоком води фільтруються в коалесціруючій гідрофобній установці. В якості коалесціруючого завантаження використовують полістирольні гранули. Краплі емульгованої нафти в воді осідають на поверхні гранул, зростають і утворюють плівкову нафту, надлишок якої перетікає в вищележачі шари під дією сил потоку та періодично відводиться через верхній патрубок. Вода частково очищена від нафти передається на гідрофобний фільтр із скляних кульок, які мають велику питому поверхню, що полегшує процес злиття крапель води та зменшує ефект вторинного емульгування. Відмітимо, що швидкість фільтрації в гідрофобному фільтрі допускається 12...15 м/год., а в коалесціруючих апаратах до 40 м/год., тоді площа перерізу патрона відноситься до площі кільцевого зазору як (1:3)...(1:5).

#### 6. Результати досліджень процесу очистки нафтовмісної води згідно розробленої методики

До недоліків рідинної фільтрації відноситься процес вторинного емульгування, який виникає під час подачі стічних вод через шар нафтопродуктів. Для встановлення ефекту вторинного емульгування пропускали чисту воду через вуглеводневий шар різної товщини зі швидкістю 5 м/год. Встановлено, що найменша забрудненість чистої води спостерігається при товщині шару 2,1 см, а стабільне значення забруднення зберігається при товщині 7–14,2 см. Зі збільшенням товщини шару до 20 см концентрація нафти в фільтраті підвищується до 15 мг/л.

Пояснення цього явища полягає в наступному. Під час коалесценції краплі шару води проходять розрив розділюючої їх плівки нафти зі створенням великої кількості дрібних крапель. Число краплин, що утворюються під час коалесценції, залежить від міжфазного натягу в системі «нафта – вода» і часу життя краплини.

Встановлено, що міжфазовий натяг двох незмішуваних рідин підвищується на межі розділу твердої фази у вигляді пластин або гранул органічного або мінерального походження.

Введення гідрофільної пластини у вуглеводний шар сприяє виникненню капілярного ефекту за рахунок змочування водою поверхні, що сприяє відділенню краплі від твердої підложки. Крім того, присутність меніска води на твердій підкладці впливає на розділюючий вуглеводневий прошарок. Водяний клин для змочування водою твердої підкладки відділяє краплі нафти і направляє у вуглеводневий шар.

На гідрофобній пластині рухлива водяна крапля потрапляє в область меніска і зупиняється. Крапля води контактує з твердою підкладкою, масляним клином і через вуглеводневий прошарок з водою, і як наслідок, плівка розривається з двох сторін. Вуглеводнева плівка потрапляє в зону взаємодії вуглеводневої фази з гідрофобною підкладкою коалесцірує з нею і не потрапляє у водний шар, а в воду потрапляють краплі нафти, що утворилися під час розриву плівки нафти між краплею і шаром води. Використання пластин зменшує ефект вторинного емульгування. Подібно себе ведуть тверді гранульовані матеріали.

Далі досліджувався процес вторинного емульгування з використанням в якості фільтруючого шару дизельного масла, гасу, дизельного палива. Аналіз результатів досліджень вторинного емульгування в залежності від складу фільтруючого шару показав, що ступінь забруднення помітно знижується при використанні гасу та дизельного палива в якості контактної фільтруючої маси, тому що вуглеводна плівка із гасу та дизельного палива має меншу в'язкість, швидше руйнується, а значить має менший час коалесценції крапель води.

Дослідження процесу вторинного емульгування в залежності від швидкості фільтрації показали, що ступінь забруднення нафтопродуктами чистої води зростає з підвищенням швидкості фільтрування. Результати досліджень залежності ефекту емульгування від швидкості фільтрування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність ефекту емульгування від швидкості фільтрування

Показники	Швидкість фільтрування м/год.						
	1,35	2,8	3,4	4,75	5,6	5,8	10,4
Висота шару масла після дослідів, см	11	13	15	19	21	26	33
Концентрація вторинно емульгованих продуктів мг/л	8,5	13,5	9,4	9,7	11,7	14,5	14,0

Встановлена залежність ефекту вторинного емульгування від швидкості фільтрування свідчить про те, що при швидкості 2,8...5,3 м/год. спостерігається найменше вторинне забруднення води.

Для досліджень обрано гідрофобний фільтр з полочним блоком. На межі «нафта – вода» встановлювались

паралельні похилі пластини, в яких верхня поверхня гідрофільна, а нижня гідрофобна. Вихідна нафтовмісна вода рівномірно розподіляється по об'єму контактної маси із нафти. На межі «нафта — вода — гідрофільна поверхня» відбувається коалесценція крапель нафти з шаром нафти. Це дозволяє попередити розтяг фільтруючого шару, що є основною причиною зменшення продуктивності та ефективності очистки нафтовмісних вод шляхом пропускання через контактну масу.

Крапля води змочує верхню гідрофільну поверхню, скочується по похилій площині і коалесцірує на межі «тверде тіло — нафта — вода». Глобули нафти, що знаходяться в шарі води, змочують гідрофобну нижню поверхню пластини та піднімаються до межі «вода — нафта» коалесцірують з шаром нафти. Встановлено, що кут нахилу пластин відіграє істотну роль в механізмі очистки нафтовмісної води, при цьому оптимальним кутом нахилу є 28...65°.

Використання рідинних фільтрів показало ряд переваг перед іншими методами очистки нафтовмісних вод. Зміна часу коалесценції краплі води за допомогою силових полів надає істотний вплив на швидкість фільтрації. Для цього використано електричне поле з направленням силових ліній паралельно, або перпендикулярно межі розділу шару вуглеводневої рідини та води.

З метою збільшення швидкості фільтрації при визначеній якості очищення нафтовмісної води піддавали фільтрації крізь шар нафти з розміщеними на межі розділу «нафта — вода» вертикальними електродами.

Електроди розміщують верхньою частиною в шарі нафти, а нижньою в воді, що сприяє виникненню електричного поля в рідинах. При відсутності крапель води на межі розділу «нафта — вода» силові лінії направлені паралельно одна одній і межі розділу. Присутність на межі розділу краплі води викликає деформацію межі, і як наслідок, призводить до збільшення напруги електричного поля. Тепер електростатична сила направлена вертикально вгору, а рівнодіюча сили ваги і сили Архімеда, направлена вниз, що сприяє збільшенню швидкості витікання нафти із плівки, яка розділяє краплю води та шар води. Це забезпечує зменшення часу коалесценції і збільшує швидкість фільтрування.

Для встановлення залежності часу коалесценції крапель води від напруги електричного поля використовували лабораторну установку.

Від джерела живлення подавалась напруга до 35 В, при цьому виключались втрати електроенергії на електроріз води. Із сталагмометра через скляний капіляр діаметром 0,5 мм подавалась крапля води на поверхню масла і одночасно секундоміром визначали час коалесценції на межі розділу. Результати вимірів приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Залежність часу коалесценції від напруги електричного поля

Показники	Напруга електричного поля, В/м									
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Час коалесценції краплі, с	42	23	13	9	7	3	2	3	3	3

З аналізу даних табл. 2 видно, що найменший час коалесценції 2...3 секунди спостерігається при напрузі 500...600 В/м.

Наступні дослідження присвячені впливу електричного поля на ефект очистки води гідрофобним фільтром в діапазоні високих швидкостей фільтрації 5...41,5 м/год.

Аналіз результатів досліджень представлені на рис. 1, де видно, що при високих швидкостях фільтрації з використанням електричного поля спостерігається істотне покращення якості фільтрата.

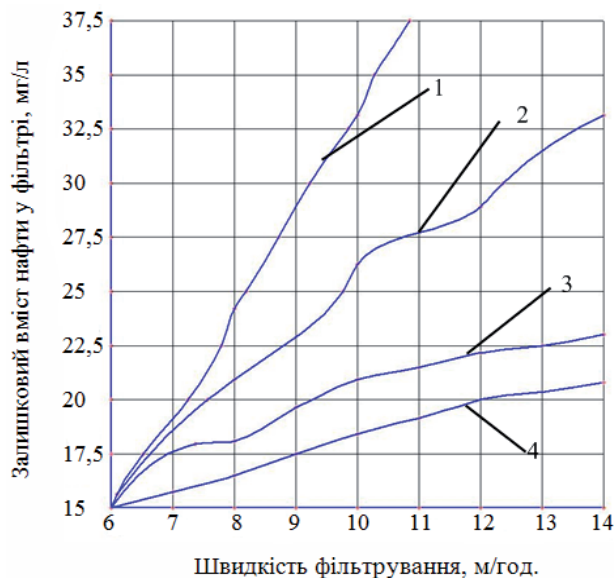


Рис. 1. Залежність залишкового вмісту нафти у фільтрі від швидкості в гідрофобному фільтрі з позадвожнім електричним полем при наступних значеннях напруженості електричного поля: 1 — 0; 2 — 200 В/м; 3 — 500 В/м; 4 — 600 В/м

При використанні в дослідах сітчастого електрода, який розміщений паралельно межі розділу «нафта — вода», відносно межі розділу фаз створюється електричне поле з силовими лініями перпендикулярними межі розділу. При відсутності краплі води на межі розділу фаз, силові лінії направлені паралельно одна одній, без викривлень, утворюючи на межі розділу фаз електричні заряди протилежні по знаку. Згущення силових ліній напруги електричного поля в краплі води приводить її до розтягу. Сила ваги, яка діє на краплю, деформує її в вертикальній площині. Дія цих сил призводить до руйнування нафтової плівки, яка протидіє коалесценції краплі з шаром води.

Результати досліджень залежності часу коалесценції і швидкості фільтрації від напруги поперечного електричного поля приведені в табл. 3.

Аналіз результатів досліджень показав, що оптимальний час коалесценції спостерігався в діапазоні значень напруги електричного поля 400...800 В/м.

При визначених значеннях напруги електричного поля визначили швидкість фільтрування. Вихідна коалесценція нафти в воді склала приблизно 1000 мг/л. При досягненні залишкової концентрації нафти приблизно 25 мг/л швидкість фільтрування призупиняли. Найбільша швидкість фільтрування досягається при завантаженні електричного поля 450...700 В/м.

Був сконструйований гідрофобний фільтр з поперечним електричним полем з врахуванням результатів досліджень, на якому визначались оптимальні параметри режиму дослідів.

Визначався вплив напруги електричного поля на ефект очистки води гідрофобним фільтром в діапазоні

швидкостей фільтрування 7...15 м/год. Результати досліджень представлені графічними залежностями (рис. 2).

Таблиця 3

Залежність часу коалесценції і швидкості фільтрації від напруги поперечного електричного поля

Напруга електричного поля, В/м	Час коалесценції, с	Швидкість фільтрування, м/год.
100	38	6,9
200	32	8,2
300	23	9,2
400	18	9,7
500	12	10,7
600	9	11,3
700	6	12,3
800	7	11,5
900	10	11,3
1000	13	10,1
1100	22	9,7
1200	25	9,1

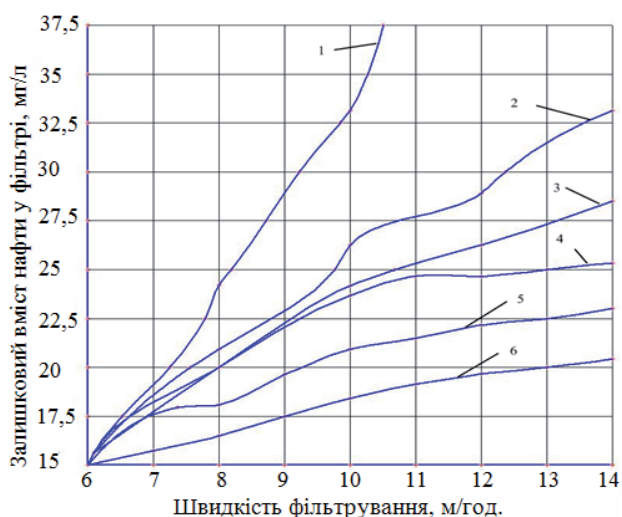


Рис. 2. Залежність залишкового вмісту нафти в фільтраті від швидкості фільтрування в гідрофобному фільтрі з поперечним електричним полем при наступних значеннях напруги електричного поля:

1 — 0; 2 — 100 В/м; 3 — 200 В/м; 4 — 300 В/м; 5 — 500 В/м; 6 — 600 В/м

Встановлено, що при великих швидкостях фільтрування використання електричного поля дає істотне зменшення залишкового вмісту нафти в воді.

Дослідження з використанням електричних полів показали, що швидкість фільтрації збільшується приблизно в 1,5...1,7 рази. Більш перспективними є досліді з полями де силові лінії перпендикулярні межі розділу, так як відсутні струми провідності і енергозатрати незначні.

## 7. Обговорення результатів дослідження процесу очищення нафтовмісних вод сільськогосподарських угідь

Результати досліджень ґрунтових вод шляхом використання механізму очистки нафтовмісних вод методом рідинної фільтрації можна використати для конструю-

вання водоочисного устаткування, технологічних схем очистки промислових та ливневих вод. В подальшому планується дослідження з визначення впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища на якість очищення ґрунтових вод.

Переваги об'єкту досліджень. Визначена і підтверджена залежність ефективності очистки ґрунтових вод від швидкості фільтрування у вуглеводневих шарах; можливість використання електричного поля для збільшення швидкості фільтрування; очистка нафтовмісних вод проводиться без використання фільтруючих матеріалів.

Недоліки описаного методу полягають у недостатній вивченості факторів впливу мінералізованих вод на якість та швидкість очищення нафтовмісних відходів. Результати майбутніх досліджень слід використовувати для побудови загальної математичної моделі.

## 8. Висновки

Згідно поставленої мети досліджень встановлено наступне:

1. Процес розділу нафтової емульсії слід виконувати при високих значеннях міжфазового натягу.
2. Гідрофільні та гідрофобні поверхні пластини з оптимальним кутом нахилу останніх зменшують ефект вторинного емульгування.
3. Вторинне забруднення води в найменшій мірі проявляється при швидкості фільтрування 2,8...5,3 м/год.
4. Якість фільтрату істотно покращується при високих швидкостях фільтрування (7...15 м/год.) з використанням електричних полів з силовими лініями, перпендикулярними межі розділу.
5. Час коалесценції спостерігається в діапазоні напруг електричного поля 350...800 В/м.

## Література

1. Роев, Г. А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов [Текст] / Г. А. Роев, В. А. Юфин. — М.: Недра, 1987. — 224 с.
2. Гафаров, И. Г. Способы и средства очистки от нефтепродуктов гидросферы с использованием сорбентов из отходов сельскохозяйственного производства [Текст]: сб. науч. тр. / И. Г. Гафаров, А. И. Кузнецов, В. Н. Мазур // Проблемы, способы и средства защиты окружающей среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. — М.: ВИМИ, 1994. — С. 19–21.
3. Fiebu, R. The Role of trace metals in petroleum [Text] / R. Fiebu // Ann. Arbor — Michigan. — 1975. — P. 1.
4. Colombo, U. Rivkombust [Text] / U. Colombo. — 1964. — Vol. 11. — P. 462.
5. Golbert, I. Determination of toxic elements in the ecological evolution of metalliferous deposits of neare oil and natural ditumens [Text] / I. Golbert // G. Unitar inter confer of crude and tar sands. — 1995. — Vol. 2. — P. 721–726.
6. Fasoli, U. Continous radial filtration in the purification of oily water [Text] / U. Fasoli, R. Conti, G. Genon // Water research. — 1976. — Vol. 10, Issue 7. — P. 633–635. doi: 10.1016/0043-1354(76)90145-7.
7. Назаров, В. Д. Очистка нефтесодержащих сточных вод с применением гидрофобных и коалесцирующе-гидрофобных фильтров [Текст] / В. Д. Назаров, А. А. Русакович // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2004. — № 11. — С. 2–7.
8. Кузьмин, А. З. Комплексное использование минерально-сырьевых ресурсов в нефтяной промышленности в целях повышения экономической эффективности освоения месторождений углеводного сырья [Текст] / под ред. А. З. Кузьмина. — М.: Недра, 1985. — 420 с.



9. Минигазымов, Н. С. Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов [Текст] / Н. С. Минигазымов, В. А. Расветалов, Х. Н. Зайнуллин. — Уфа: Экология, 1999. — 300 с.
10. Хлесткин, Р. Н. Разработка сорбционных средств сбора и утилизации нефти и нефтепродуктов, разлитых на поверхности воды и почвы [Текст]: сб. науч. тр. / Р. Н. Хлесткин, Н. А. Самойлов, С. П. Лебедич и др. // Проблемы, способы и средства защиты окружающей среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами. — М.: ВИМИ, 1999. — С. 117–121.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ

Обосновано целесообразность очистки нефтесодержащих вод сельскохозяйственных угодий путем вторичного эмульгирования. Разработано лабораторную установку и методику исследований очистки нефтесодержащих вод. По результатам экспериментальных исследований установлено оптимальные конструктивно-режимные параметры установки для очистки нефтесодержащих вод. Определена зависимость эффекта очистки сточных вод от скорости фильтрации в углеводородном слое в присутствии гранулированных твердофазных материалов на границе раздела нефти и воды.

**Ключевые слова:** нефтесодержащая вода, коалесценция, фильтрат, окисление, кинетическая реакция, электрическое поле, силовые линии, скорость фильтрации.

*Прасолов Євген Якович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності, Полтавська державна аграрна академія, Україна, e-mail: belovol\_sa@mail.ru.*  
*Ломига Артур Юрійович, факультет нафти, газу та природокоористування, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Україна, e-mail: belovol\_sa@mail.ru.*

*Прасолов Евгений Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.*

*Ломыга Артур Юрьевич, факультет нефти, газа и природопользования, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Украина.*

*Prasolov Yevgeniy, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine, e-mail: belovol\_sa@mail.ru.*

*Lomyga Artur, Poltava National Technical University named after Yuri Kondratyuk, Ukraine, e-mail: belovol\_sa@mail.ru*

УДК 614.846.5

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.28073

**Прасолов Є. Я.,  
Семененко Р. С.**

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ШЕСТЕРНИХ НАСОСІВ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІЙ ТЕХНІЦІ

*Проведений аналіз науково-технічних джерел та патентної інформації з питань забезпечення довговічності і працездатності трибоспрямлень шестерного насосу НШ 32-У насосної гідросистеми. Вибрано оптимальний склад змащувально-охолоджуючої рідини з антифрикційними присадками для відновлення втулок шестерних насосів. Дослідженнями встановлено, що підвищення ефективності трибоспрямлень насосів відбувається за рахунок антифрикційних присадок. За результатами експериментів визначена оптимальна структура основ для присадок.*

**Ключові слова:** змащувально-охолоджуюча рідина, антифрикційні присадки, деталі тертя, довговічність, гідросистема, трибоспрямлення.

### 1. Вступ

Одним із важливих напрямків розвитку народного господарства є підвищення ефективності роботи мобільної сільськогосподарської техніки шляхом впровадження перспективних технологічних процесів при ремонті деталей сільськогосподарських машин.

Підвищення довговічності машин та механізмів за рахунок зниження тертя зносу набуває актуального значення. При вирішенні цього питання повинні враховуватися і трибо логічні явища, котрі проявляються в машинах при виконанні сільськогосподарських робіт. Витрати коштів від тертя і зношування деталей машин в розвинених державах досягають 4..5 % національного доходу [1].

Відомо, що зношування деталей та вузлів тертя регламентує ресурс машини в цілому. Одним із перспективних і актуальних напрямків по створенню зносостійких робочих поверхонь деталей є використання антифрикційних добавок в змащувально-охолоджуючій рідині.

Відмічені обставини показують практичний інтерес та актуальність розробки і використання методів і способів покращення фізико-механічних і трибологічних властивостей деталей.

### 2. Постановка проблеми

На сучасному етапі трибологічні дослідження надійності, експлуатації та зносостійкості технічних засобів мають велике економічне значення. Підвищення довговічності і надійності машин і механізмів нерозривно пов'язана з якістю мастильних матеріалів [2]. У цьому разі зменшення зношування пар тертя підвищенням якості мастильного матеріалу і зниженням утворення шкідливих відкладень, пов'язаних з термоокислювальною дією та шляхом модифікування металевих поверхонь хімічними сполуками, що вводяться у мастильне середовище [2, 3]. Їх ефективність зумовлена здатністю присадок або продуктів їх термічного розпаду до хімічної взаємодії з основним