

Джиголя Ольга Юріївна

Магістерська робота

**Аналіз способів і засобів боротьби
з налипанням і намерзанням гірничої маси
на робочі поверхні кар'єрного транспортного обладнання**

Керівник роботи

к.т.н. Громадський Вік.А.

ВСТУП

Одним з найважливіших напрямків розвитку гірничодобувної промисловості країни, від якого залежить подальше зростання видобутку вугілля, руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної та будівельної сировини, є удосконалення технології і техніки відкритої розробки родовищ корисних копалин. Таким способом видобувається значна частка мінеральної сировини. Особливо значення він займає у залізорудній промисловості, де питома вага кар'єрної розробки сягає майже 85% від загальної [1-4].

Вітчизняні кар'єри середньої і великої потужності характеризуються переважним використанням залізничного та автомобільного транспорту для підйому гірничої маси на поверхню і перевезення її до збагачувального підприємства. Із загального вантажопотоку на їх частку припадає приблизно три чверті усіх перевезень [1-11].

Здійснення відкритих гірничих робіт завжди пов'язано зі специфічними геологічними та кліматичними умовами. Значна частина видобутої гірничої маси (не менше 30%) представляє собою розрихлений матеріал (розкриті породи, сланці, вугілля, руди та нерудні корисні копалини), який у більшості випадків перебуває у надмірно зволоженому стані. Процеси завантаження, транспортування та розвантаження гірничої маси підвищеної вологості засобами залізничного та автомобільного транспорту супроводжуються її інтенсивним налипанням (а в зимовий період ще й намерзанням) на металеві робочі поверхні виймально-навантажувальних і транспортних машин – ковші екскаваторів, ножі і відвали бульдозерів та грейферів, кузови вагонів і самоскидів. В результаті цього продуктивність розкритих і відвальних екскаваторів знижується на 12-25%, локомотивних потягів – на 15-20%, автосамоскидів – на 16-22% [12].

У галузі відкритої розробки мінеральної сировини невпинно розширюється використання конвеєрного транспорту, у першу чергу стрічкових конвеєрів. Експлуатація такого обладнання також пов'язана з проблемою налипання та намерзання вантажів (у цьому випадку на стрічки конвеєрів).

Подальший розвиток відкритого способу розробки корисних копалин пов'язаний із зростанням обсягів видобутку, а, значить, з необхідністю транспортування ще більших об'ємів гірничої маси. У зв'язку з цим, вирішення питань боротьби з налипанням і намерзанням гірничих порід набуває великого економічного значення, стає надзвичайно важливою проблемою, вирішення якої може забезпечити значне зростання продуктивності видобувного та гірничотранспортного обладнання.

З огляду на це, актуальність теми представленої магістерської роботи, присвяченої вирішенню цього питання, не викликає жодних сумнівів.

Мета роботи – розробка способів і засобів боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси на робочі поверхні кар'єрного транспортного обладнання.

Об'єкт дослідження – процеси очищення робочих поверхонь транспортного обладнання від забруднення транспортованим матеріалом.

Предмет дослідження – засоби і способи очищення транспортного обладнання від налиплої та намерзлої гірничої маси.

Наукове положення – використання пропонованих методів і технічних засобів боротьби з налипанням і намерзанням гірничих порід дають можливість у декілька разів суттєво знизити час розвантаження транспортних засобів підприємств відкритої розробки корисних копалин (у першу чергу, залізничного та автомобільного транспорту) і на 10-20% підвищити його продуктивність.

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Аналіз фізичної суті процесів налипання і намерзання матеріалів

1.1.1 Особливості процесу розвантаження гірничої маси

Процес розвантаження вологих високодисперсних порід з ємностей транспортних засобів стикається з неабиякими проблемами. Тангенційної складової сили тяжіння виявляється недостатньо для зсуву вантажу навіть тоді, коли кут нахилу транспортної ємності, а, значить, і кут нахилу поверхні ковзання досягає граничного значення. Сили тертя і зчеплення породи з поверхнею ковзання перевищують у даному випадку величину зсувного зусилля.

Згідно з молекулярною теорією, сили тертя обумовлюються наявністю молекулярної шорсткості або броунівського відштовхування електронних оболонок атомів контактуючих тіл. Зчеплення ж викликається силами молекулярного притягання. Обидві складові закону тертя описують його наступним чином [12]:

$$F = \mu N + \mu AS, \quad (1.1)$$

де μ – істинний коефіцієнт тертя, що залежить від геометричної форми атомів та їх розташування у поверхневому шарі матеріалу (менша хвилястість поверхні відповідає малому значенню μ і навпаки); N – нормальний тиск; AS – рівнодіюча молекулярних сил; A – молекулярне притягання у розрахунку на одиницю поверхні (питоме прилипання); S – площа істинного контакту.

Другий член виразу (1.1) представляє собою дію сил зчеплення (адгезії). Отже, для подолання опорів ковзанню до матеріалу необхідно прикласти силу:

$$F = \mu(F_n + F_z), \quad (1.2)$$

де F_n – нормальна сила, з якою налиплий шар матеріалу тисне на поверхню робочого органу транспортного обладнання; F_z – сила зчеплення налиплого шару матеріалу з цією поверхнею.

Гірнича порода у більшості випадків представляє собою дисперсну масу, в

якій малі частинки на межі контакту з опорною поверхнею знаходяться під тиском вищележачих шарів матеріалу. У такій ситуації сили молекулярного зчеплення значно перевищують сили тертя і представляють собою основний опір ковзанню породи під час розвантаження. Це перевищення настільки суттєве, що силою тертя можна взагалі знехтувати. Тому при $F_3 > F_H$ величина сили, що долатиме опір ковзанню при розвантаженні матеріалу, може бути виражена наступним рівнянням:

$$F_k = \mu AS. \quad (1.3)$$

Таким чином, розвантаження породи стає можливим лише за наступної умови:

$$F_k \geq \mu F_3 \text{ або } F_k \geq \mu AS, \quad (1.4)$$

тобто коли сили ковзання будуть значно більше сил зчеплення породи з поверхнею контакту.

1.1.2 Фізична природа налипання матеріалу

В умовах плюсових температур сили зчеплення породи з поверхнями робочих органів транспортного обладнання (особливо металевими) у найбільшому ступені проявляються при її зволоженні. Це пояснюється такою специфічною властивістю розрихлених гірничих порід (грунтів), як липкість, що проявляється при вмісті вологи, який перевищує вологість нижньої межі пластичності породи.

Але у гірничих породах міститься волога різних типів, як внутрішня, так і зовнішня. Перша знаходиться у кристалічних решітках або молекулярних порожнинах матеріалу і вона не впливає на його липкість. Зовнішня волога може бути гігроскопічною (знаходиться на поверхні частинок мінералу і утримується там за допомогою адсорбційних сил), плівковою (притягується до поверхні частинок молекулярними силами), капілярною (знаходиться у порожнинах між частинками матеріалу і тримається там за рахунок дії капілярних сил) та вільною (гравітаційною, яка рухається під дією сил тяжіння і підкоряється законам гідростатики) [2,12].

Липкість гірничих порід, з одного боку, обумовлена наявністю плівок зв'я-

заної води, які здатні одночасно взаємодіяти з частинками ґрунту та поверхнею, з якою вони стикаються, а з іншого – дією капілярних сил, причому останні є переважними.

Зв'язана вода до досягнення межі липкості надійно утримується навколо ґрунтових частинок і не реагує з іншими тілами. Коли ж вологість перевищує межу липкості, периферійні ділянки оболонок зв'язаної води навколо частинок ґрунту починаються вступати у взаємодію з цими сторонніми тілами.

Капілярні сили за своєю величиною прямо пропорційні змочуваності дотичних поверхонь та зворотно пропорційні поверхневому натягу рідини. Процес змочування твердого тіла водою можна розглядати як адсорбцію рідини цим тілом, тобто притягання до нього молекул води. Протікання цього процесу можна розділити на два етапи. На першому молекули води відновлюють ту частину енергії, яку вони витратили раніше на утворення зв'язків між собою. При цьому здійснюється наступна робота:

$$W_p = 2\sigma_{1,2}, \quad (1.5)$$

де $\sigma_{1,2}$ – поверхневий натяг на межі «рідина (вода) – газ (повітря)».

На другому етапі утворюються зв'язки між молекулами води та іонами, що беруть участь у формуванні поверхні твердого тіла. Тут робота утворення зв'язків дорівнюватиме:

$$W_3 = \sigma_{2,3} + \sigma_{1,2} - \sigma_{1,3}, \quad (1.6)$$

де $\sigma_{2,3}$ – поверхневий натяг на межі «тверде тіло – газ (повітря)»; $\sigma_{1,3}$ – поверхневий натяг на межі «тверде тіло – рідина (вода)».

Різниця енергетичних змінень між W_3 і W_p представляє собою коефіцієнт розтікання води по поверхні твердого тіла:

$$W_3 - W_p = \sigma_{2,3} - (\sigma_{1,2} + \sigma_{1,3}). \quad (1.7)$$

Звідси видно, що тверде тіло буде змочуватися водою за наступної умови:

$$\sigma_{2,3} - (\sigma_{1,2} + \sigma_{1,3}) > 0. \quad (1.8)$$

Описаний варіант змочування відноситься до поверхонь, що мають значну хімічну спорідненість з водою, тобто гідрофільних поверхонь, які легко вступають у взаємодію з водою і добре змочуються.

Гідрофобні ж поверхні, що відкидають воду і змушують її стягуватися на них у крупні краплі, характеризуються неспроможністю поверхневих сил долати сили внутрішнього зчеплення між молекулами води. Змочування таких поверхонь не відбувається.

Отже, для запобігання змочування поверхні і зменшення тим самим дії капілярних сил, що обумовлюють процес прилипання, її необхідно гідрофобізувати, тобто штучно перетворити на гідрофобну. Лише у цьому випадку буде виконуватися умова $F_k \geq \mu AS$, яка сприятиме повному розвантаженню вологої породи.

Таким чином, гідрофобізація поверхонь робочих органів транспортного обладнання забезпечить зниження сил прилипання порід і зростання сил ковзання по поверхням контакту.

1.1.3 Фізична природа намерзання матеріалу

Сили зчеплення вологої породи з поверхнею контакту значно зростають при морозній температурі навколишнього середовища внаслідок фазового перетворення води, що міститься у породі. Вода кристалізується, а мінеральні частинки змерзаються і цементуються льодом.

Змерзання дисперсних систем супроводжується формуванням структурних зв'язків, які утворюються під впливом поверхневих електромагнітних полів мінеральних частинок. Якщо сипке тіло складається з порівняно крупних шматків, порожнини між ними заповнюються водою і тоді міцність змерзання у значному ступені визначається міцністю льоду.

Тонкодисперсні тіла мають набагато менші пори, а, значить, більший вплив поверхонь частинок на лід, що формується. Внаслідок цього ступінь і міцність змерзання їх вище. Головним чином, це визначається впливом частинок, взаємно контактуючих через тонкі водяні плівки. Крім того, чим більший ступінь гідрофільності матеріалів (адсорбату, у ролі якого виступають тверді частинки сипкого

транспортованого вантажу, та адсорбенту – поверхні контакту або поверхні робочого органу транспортного обладнання), тим міцніше буде примерзання.

Таким чином, з розглянутої природи процесів прилипання та примерзання тонко дисперсних сипких матеріалів випливає, що для зниження їх інтенсивності найбільш раціональним шляхом буде зменшення сил зчеплення сипкого матеріалу з робочими поверхнями транспортних машин. Досягти цього можна двома способами:

- гідрофобізацією поверхні контакту;
- адсорбацією спеціальних гідрофобних поверхнево-активних речовин як на поверхнях мінеральних частинок породи, так і поверхні контакту.

Це забезпечить найкращі умови ковзання сипкого матеріалу по поверхні контакту за рахунок створення на межі контакту ізоляційного шару хімічної речовини, яка значно послаблює сили зчеплення сипкого матеріалу з поверхнею.

1.2 Загальна класифікація існуючих способів і засобів боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси

Специфіка відкритих гірничих робіт, ефективність яких у значному ступені залежить від кліматичних, гідрогеологічних та гірничотехнічних умов експлуатації, різноманітних фізико-механічних властивостей транспортованих гірничих порід, багатотиповості та конструктивних особливостей використовуваних засобів навантаження і транспортування корисних копалин, суттєво ускладнюється такими явищами, як прилипання і примерзання вантажів до поверхонь робочих органів транспортного обладнання.

У вітчизняній та закордонній гірничій промисловості використовуються численні та різноманітні способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси. Усі вони можуть бути розділені на дві основні групи: профілактичні (тобто такі, що попереджають або зменшують можливість і ступінь дії цих негативних явищ) та руйнівні (такі, що за рахунок тих чи інших впливів на прилиплий або примерзлий матеріал забезпечують відновлення його сипких властивостей та

полегшення процесу повного розвантаження транспортної судини). Кожна з цих груп має різні засоби реалізації описаних впливів.

Профілактичні способи і засоби, що працюють за принципом створення між транспортованим матеріалом і транспортною поверхнею штучного шару «мастильного матеріалу», який інтенсифікує процес їх взаємного ковзання. Це можуть бути:

- сипкі матеріали – побічні продукти (шлаки, згоріла порода); хімічні речовини (порошкові та кристалічні солі);
- рідкі речовини – розчини хлористих солей; металоорганічні сполуки; продукти на нафтовій основі;
- тверді покриття – епоксидні смоли; пластмаси;
- обігрів робочих органів транспортного обладнання за допомогою вугілля, пари, відпрацьованих та зріджених газів, електроенергії.

Руйнівні способи і засоби, за допомогою яких порушується суцільність налиплого або намерзлого матеріалу і частково відновлюються його сипкі властивості. Вони можуть бути:

- механічними у вигляді спеціального стаціонарного або пересувного обладнання;
- повітряно-водяними – гідромонітори; установки з реактивними двигунами;
- вібраційними у вигляді накладних вібраторів на днищах і бортах робочих органів;
- тепловими (інфрачервоні випромінювачі);
- електроосмотичними.

Висновки:

- труднощі процесу розвантаження вологих тонкодисперсних гірничих порід з ємностей гірничотранспортного обладнання пов'язані з перевищенням сил зчеплення породи з поверхнею контакту над силами ковзання. Сили зчеплення вологої породи з поверхнею контакту значно зростають при морозній температурі навколишнього середовища внаслідок фазового перетворення вологи, що містить-

ся у породі;

- зниження сил прилипання порід і зростання сил ковзання по поверхням контакту можна досягти за рахунок гідрофобізації поверхонь робочих органів транспортного обладнання та використання спеціальних гідрофобних поверхнево-активних речовин як на поверхнях мінеральних частинок породи, так і поверхні контакту. Це забезпечить найкращі умови ковзання сипкого матеріалу по поверхні контакту за рахунок створення на межі контакту ізоляційного шару хімічної речовини, яка значно послаблює сили зчеплення сипкого матеріалу з поверхнею;

- існуючі способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси можуть бути розділені на дві основні групи: профілактичні (ті, що попереджають або зменшують можливість і ступінь дії цих негативних явищ) та руйнівні (такі, що за рахунок тих чи інших впливів на прилиплий або примерзлий матеріал забезпечують відновлення його сипких властивостей та полегшення процесу повного розвантаження транспортної судини).

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – обґрунтування раціональних способів і засобів зниження інтенсивності процесу налипання і намерзання вологих гірничих порід на робочі поверхні гірничотранспортного обладнання.

Аналіз основних особливостей операцій розвантаження гірничої маси та фізичної природи процесів її налипання і намерзання під час транспортування дав можливість визначити задачі, які необхідно вирішити під час дослідження для досягнення поставленої мети, а саме;

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- проаналізувати основні фактори, що впливають на міцність прилипання і примерзання породи;
- проаналізувати особливості змащувальної дії профілактичних засобів боротьби з прилипанням і примерзанням гірничих порід;
- оцінити фізико-хімічні властивості профілактичних засобів, виробничо-те-

хнічні вимоги до них, загальну ефективність використання та величини оптимальних витрат таких речовин;

- розглянути перспективи використання вібраційних ефектів для боротьби з налипанням і намерзанням гірничих порід;

- обґрунтувати та запропонувати раціональні способи і засоби профілактики процесів прилипання і примерзання гірничої маси.

Об'єкт дослідження – процеси прилипання і примерзання вологих гірничих порід до робочих поверхонь гірничотransпортного обладнання.

Предмет дослідження – способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення наукових досліджень будь-якого напрямку потребує опанування та використання існуючого апарату способів і методів пошуку нових знань.

Методи наукових досліджень можуть бути теоретичними, експериментальними, комбінованими, спеціальними.

Під час виконання представленої магістерської роботи використовувалися загальновідомі методи аналізу і синтезу наукової інформації. Наприклад, були проаналізовані основні особливості операцій розвантаження гірничої маси та фізичної природи процесів її налипання і намерзання під час транспортування у залізничних вагонах та у кузовах автосамоскидів в умовах відкритої розробки корисних копалин. Аналітичний метод досліджень був застосований для оцінки фізико-хімічні властивості профілактичних засобів, виробничо-технічних вимог до них, загальної ефективності використання та величини оптимальних витрат таких речовин. Розробка пропонованих способів і засобів боротьби з явищами прилипання і примерзання гірничої маси потребувала використання методу синтезу.

Вивчення процесів прилипання та примерзання вологих гірничих порід здійснювалося у лабораторних умовах за допомогою методу моделювання. Інтенсивність прояви досліджуваних процесів оцінювалася за величиною питомого опору зсуву породи по металевій поверхні контакту. Досліди виконувалися на спеціальній установці для визначення міцності прилипання, що працювала за принципом зсуву зразка по похилій поверхні

Для дослідження закономірностей впливу різних факторів на міцність прилипання і примерзання породи був застосований метод однофакторного експерименту, за допомогою якого послідовно встановлювалися залежності кожного з вибраних факторів. Цей метод заснований на принципі перебору змінних і не враховує усієї складності розглянутого процесу, що представляє собою багатокомпонентну систему. Для отримання повної уяви про нього використовувався ймовірностатистичний метод оптимального планування експерименту, у рамках якого розроблялися спеціальні алгоритми для математичного опису складних технологіч-

них процесів та багатокомпонентних систем.

Використання даного методу для вивчення явища примерзання дало можливість отримати певну інформацію про цей складний процес при одночасній дії усіх факторів, встановити вплив кожного фактору та виявити головні з них. З існуючого числа методів оптимального планування експерименту для даного конкретного випадку був вибраний метод дробових реплік.

Експериментальні дослідження у рамках виконання роботи проводилися із застосуванням методів фіксації, запису, інтерпретації та обробки отриманих даних.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩ ПРИЛИПАННЯ І ПРИМЕРЗАННЯ СИПКИХ ВАНТАЖІВ

3.1 Аналіз факторів, що обумовлює прилипання і примерзання

3.1.1 Загальні зауваження

Як вже було сказано вище, відкритий спосіб розробки корисних копалин відрізняється значною різноманітністю кліматичних, гірничо-геологічних та виробничих умов. Природно, що це породжує велику кількість факторів, внаслідок дії яких виникають явища налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів транспортного обладнання.

У табл. 3.1 приведені умови експлуатації кар'єрного транспорту та основні фактори, що їх характеризують [12].

Таблиця 3.1 – Умови експлуатації кар'єрного транспорту та основні фактори, що їх характеризують

Умови експлуатації	Основні фактори	Одиниці виміру
Кліматичні	Тривалість морозного періоду	дні
	Середньомісячна температура взимку	° С
	Мінімальна температура взимку	° С
	Кількість атмосферних опадів на рік	мм
Гідрогеологічні	Середньорічний приток води	м ³ /г
	Вологість порід	%
Геологічні	Потужність розкривних порід	м
	Тип порід	-
	Питома вага пухких порід	%
Експлуатаційні	Тривалість транспортування розкривних порід, завантаження у забої, розвантаження на відвалі	хв.
	Тривалість розвантаження локомотивного потягу	хв.

Що стосується геологічних умов, то найбільшою схильністю до прилипання відрізняються пухкі різновиди гірничих порід, що мають властивість переходу у

пластичний стан навіть при незначному зволоженні. Така особливість розкривних порід обумовлює їх інтенсивне прилипання, а в зимовий період – примерзання до робочих поверхонь транспортних судин.

З точки зору кліматичних умов експлуатації, у гіршому положенні знаходяться кар'єри, які розташовані у північних районах з тривалими періодами, коли температури падають нижче нуля. При наявності пухких порід, що мають високу природну вологість, а також вміст глинистих включень, у даних умовах неминучі прилипання порід в осінні і весняні періоди та примерзання у зимовий.

Вивчення гідрогеологічних умов експлуатації показує, що визначальними факторами у даному випадку є тип породи та її вологість. У сукупності вони обумовлюють липкість породи і можуть викликати фазові перетворення вільної вологи в ній під час мінусових температур.

Нарешті, для експлуатаційних умов визначальним фактором для примерзання є тривалість процесу транспортування, адже процес фазового перетворення вологи, що міститься у породі, залежить не лише від температури, але й від часу.

Таким чином, до числа основних факторів, що визначають характер процесів прилипання і примерзання, слід віднести:

- тип породи;
- її вологість;
- температуру повітря;
- тривалість перебування породи у транспортній судині при мінусовій температурі.

Крім того, можна ще відзначити такі другорядні фактори, як ступінь ущільнення породи, стан поверхонь робочих органів транспортного обладнання тощо. Їх також потрібно враховувати під час досліджень.

3.1.2 Вплив основних факторів на міцність прилипання та примерзання

Вивчення процесів прилипання та примерзання здійснювалося у лабораторних умовах за допомогою методу моделювання. Інтенсивність прояви досліджуваних процесів оцінювалася за величиною питомого опору зсуву породи по мета-

левій поверхні контакту. Досліди виконувалися на спеціальній установці для визначення міцності прилипання, що працювала за принципом зсуву зразка по похилій поверхні (рис. 3.1) [12].

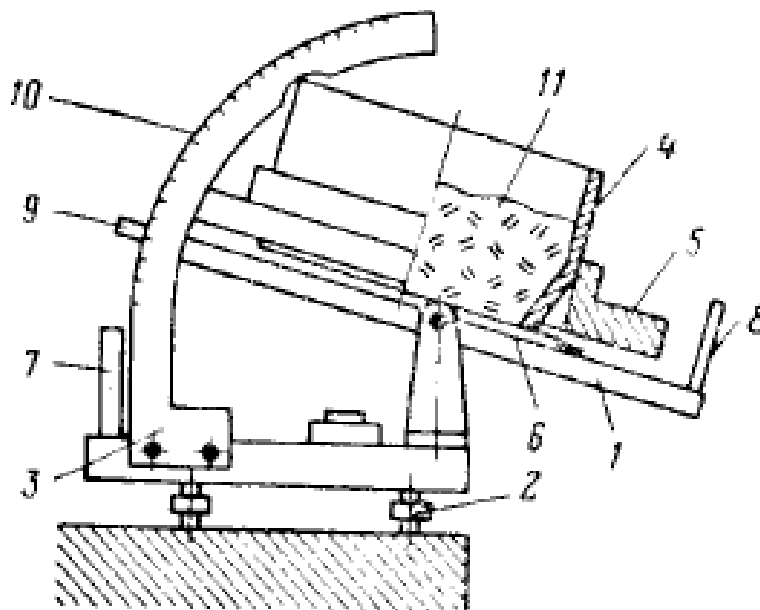


Рисунок 3.1 – Схема приладу для визначення міцності прилипання:
 1 – похилий майданчик; 2 – зрівнювальний гвинт; 3 – кутомір;
 4 – чашка без днища; 5 – обважнювальні кільця; 6 – металева пластинка;
 7, 8 – упори; 9 – стрілка; 10 – шкала кутоміра; 11 – порода

Порядок проведення експерименту був наступним. Порода 11 заданої вологості у кількості 100 г рівномірно розподілялася у чашці 4, днищем якої служила металева пластинка 6. Після ущільнення порода зсувалася шляхом рівномірного поступового нахилу майданчика 1. Кут нахилу, при якому починався зсув породи, визначався за шкалою 10. Зсувним зусиллям слугувала складова ваги чашки з порою та обважнювальними кільцями 5, напрямок дії якої був спрямований паралельно поверхні пластинки.

Розрахункова схема для визначення зусиль зсуву породи приведена на рис. 3.2 [12]. Для моменту початкового зсуву чашки з порою по похилій площині можна скласти наступне рівняння діючих на неї зусиль:

$$T_1 + T_2 = G_1 \sin \alpha + G_2 \sin \alpha \quad (3.1)$$

або:

$$T_1 + T_2 \geq G \sin \alpha, \quad (3.2)$$

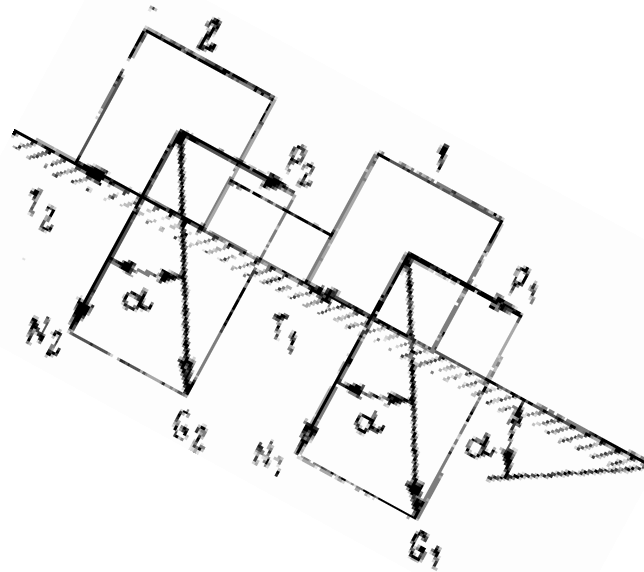


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема для визначення зусиль зсуву породи:
1 – чашка з обважнювальними кільцями; 2 – порода

де T_1 – зусилля, що перешкоджає зсуву чашки по пластинці; T_2 – зусилля, що перешкоджає зсуву породи по пластинці; G_1 – вага чашки з кільцями; G_2 – вага породи; G – повна вага породи, чашки та обважнювальних кілець; α – кут нахилу майданчика.

Величини зусиль T_1 і T_2 :

$$T_1 = G_1 \cos \alpha \sin \varphi, \quad (3.3)$$

$$T_2 = G_1 \sin \alpha - G \cos \alpha \sin \varphi, \quad (3.4)$$

де $\varphi = 0,213$ – коефіцієнт тертя сталі по сталі.

Питомий опір зсуву породи по пластинці:

$$\tau = \frac{T_2}{S}, \quad (3.5)$$

де S – площа контакту породи з пластинкою.

Якщо підставити значення T_2 у рівняння (3.5), можна отримати вираз для визначення величини питомого опору зсуву під час прилипання:

$$\tau = \frac{G \sin \alpha - 0,213 G_1 \cos \alpha}{S}. \quad (3.6)$$

Моделювання процесу та визначення питомого опору зсуву при примерзанні породи до металевої поверхні здійснювалися за допомогою морозильної камери та спеціальних металевих форм. Міцність примерзання породи визначалася на пресі за зусиллям видавлювання в замороженій у породу пластинки. Питомий опір зсуву розраховувався за наступною формулою:

$$\tau = \frac{P}{S}, \quad (3.7)$$

де P – навантаження, необхідне для видавлювання в замороженій у породу пластинки; S – площа пластинки.

Для дослідження закономірностей впливу різних факторів на міцність прилипання і примерзання породи був застосований метод однофакторного експерименту, за допомогою якого послідовно встановлювалися залежності кожного з вибраних факторів і можна було вибрати ті, які обумовлювали максимальну міцність прилипання і примерзання.

Дослідження проводилися на гірничих породах, найбільш характерних для вугільних та рудних кар'єрів. Результати отриманих закономірностей інтерпретувалися у вигляді графіків залежностей. Наприклад, на рис. 3.3 показані параболічні криві залежності міцності прилипання досліджуваних типів гірничих порід від їх вологості [12]. Як видно, характер змінення параметру аналогічний для усіх типів порід, причому кожна крива характеризується чітко вираженим екстремумом липкості.

При вологості, рівень якої перевищує межу липкості, але близький до нього, плівки зв'язаної води ще з достатньою силою утримуються навколо частинок ґрунту. Із збільшенням товщини плівок створюються умови, при яких вода, маючи певну в'язкість на периферійних ділянках оболонок, з однаковою силою взаємодіє як з частинками, так і з дотичною ним твердою поверхнею. У таких умовах порода має максимальну липкість і характеризується максимальною міцністю прилипання. При подальшому зростанні вологості до процесу взаємодії долучається зв'язана вода, яка розташовується далеко від поверхні частинок ґрунту і слабо пі-

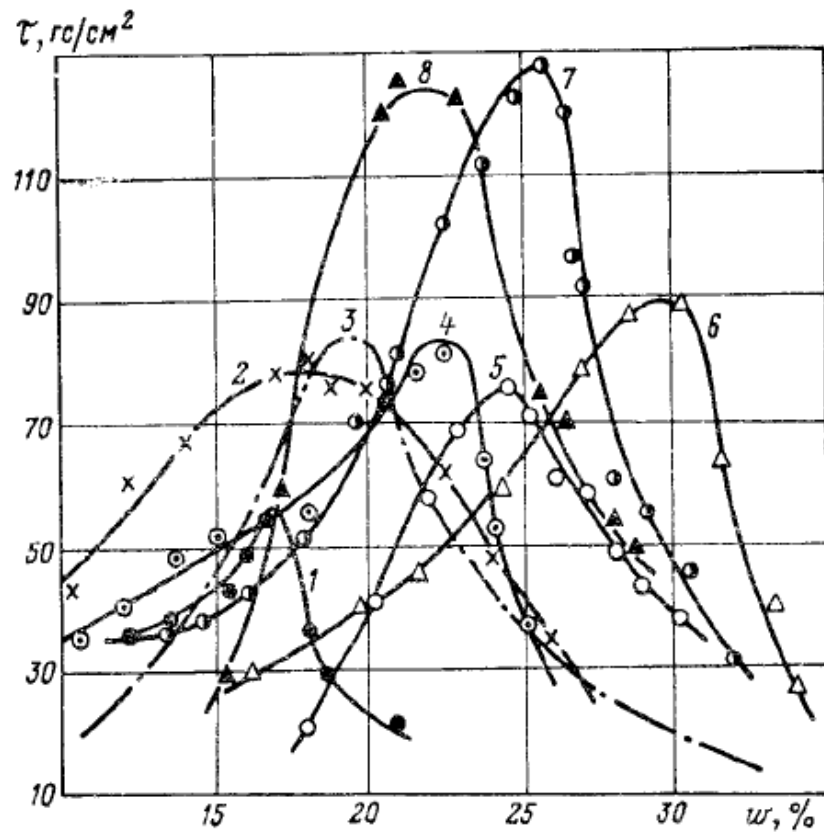


Рисунок 3.3 – Залежності міцності прилипання гірничих порід τ від їх вологості ω :
 1 – пухкі суглинки-супіски; 2, 3, 4 – суглинки; 5 – глини; 6 – алевроліти;
 7 – сірі каоліни; 8 – строкатокольорові каоліни

дається молекулярному притягання. Величина липкості та міцності прилипання при цьому різко зменшуються.

Максимум міцності прилипання для кожного виду породи відповідає певному інтервалу вологості. У табл. 3.2 приведені порівняльні величини критичної та природної вологості досліджуваних порід [12]. Як видно, природна вологість більшості з них близька до критичної, а це означає, що у природних умовах вони мають максимальну липкість і відносяться до порід з низькою розвантажувальною здатністю. Отримані залежності міцності прилипання породи від її вологості описуються приведеними у таблиці емпіричними формулами.

Фактором, що суттєво впливає на міцність прилипання породи, є нормальний тиск, під дією якого відбувається ущільнення матеріалу. На рис. 3.4 показана ця залежність для суглинків у діапазоні тисків від 10 до 50 кПа [12]. З неї видно, що із збільшенням величини нормального тиску під час ущільнення породи зрос-

тає міцність її прилипання. Цю залежність при $\eta = 0,980$ і $\Delta = 28\%$ можна описати наступною формулою логарифмічного вигляду:

$$\tau = 29 \ln P - 74,9, \quad (3.8)$$

де η – кореляційне відношення, а Δ – помилка апроксимації.

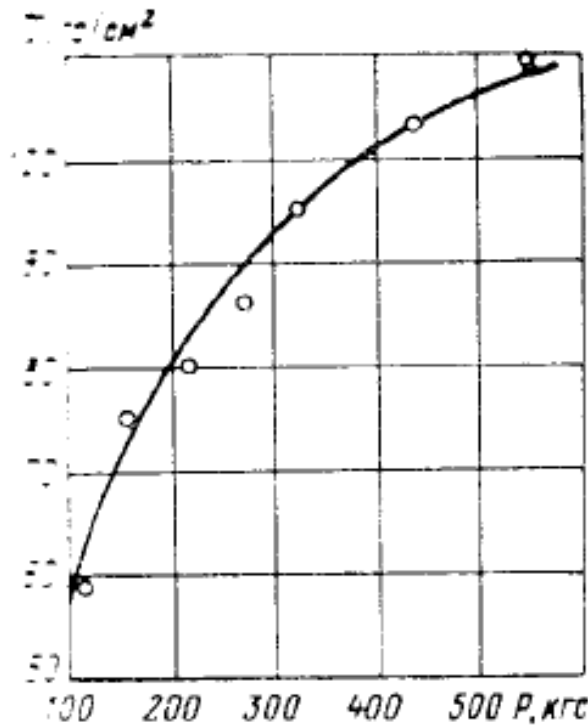


Рисунок 3.4 – Залежність міцності прилипання породи τ від величини нормального тиску P

Явище примерзання є більш складною системою, поведінка якої обумовлюється впливом більшого числа факторів у порівнянні з прилипанням. На рис. 3.5 показана залежність міцності примерзання породи від її вологості, отримана за результатами проведених досліджень, яка свідчить, що із збільшенням вологості, як й у випадку прилипання, міцність примерзання зростає з досягненням певного екстремуму [12]. Подальше збільшення вологості за межі критичної супроводжується накопиченням вільної води і призводить до наближення величини міцності примерзання до міцності льоду.

Отримані залежності міцності примерзання від вологості для суглинків і каолінів описуються наступними емпіричними формулами:

- при $\eta = 0,997$ і $\Delta = 2,9\%$:

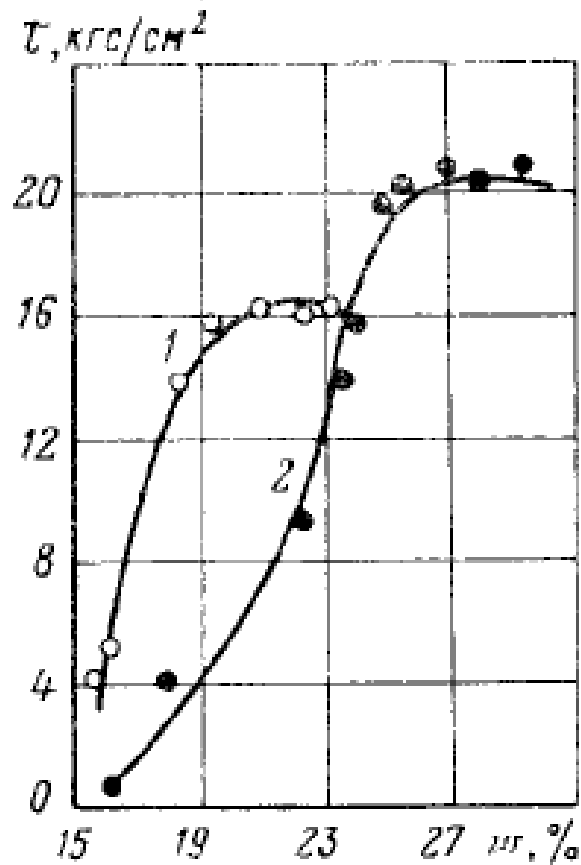


Рисунок 3.5 – Залежність міцності примерзання породи τ від вологості ω :
1 – суглинки; 2 – каоліни

$$\tau = 1,6\omega - 0,37\omega^2 - 156,5; \quad (3.9)$$

- при $\eta = 0,950$ і $\Delta = 14,5\%$:

$$\tau = 4,9\omega - 0,064\omega^2 - 62,5. \quad (3.10)$$

Порівняння отриманих залежностей для цих двох типів порід з високим вмістом тонкодисперсних фракцій показує, що величина міцності примерзання пропорційна цьому вмісту.

На рис. 3.6 показані результати дослідження впливу фактору часу на величину міцності примерзання [12]. Вони свідчать, що при тривалості заморожування породи t від 0,5 до 2 годин спостерігається різке зростання міцності примерзання; потім (у межах від 2 до 4 годин) це зростання уповільнюється і величина міцності примерзання стабілізується. Отримані залежності описуються наступними емпі-

ричними формулами для температур заморожування T , які встановлювалися відповідно -10 , -20 і -30°C :

- при $\eta = 0,970$ і $\Delta = 6,3\%$:

$$\tau = 2,1 + \frac{t-0,5}{0,15+0,06t}; \quad (3.11)$$

- при $\eta = 0,990$ і $\Delta = 5,6\%$:

$$\tau = 3,0 + \frac{t-0,5}{0,09+0,06t}; \quad (3.12)$$

- при $\eta = 0,990$ і $\Delta = 4,1\%$:

$$\tau = 5,3 + \frac{t-0,5}{0,08+0,07t}. \quad (3.13)$$

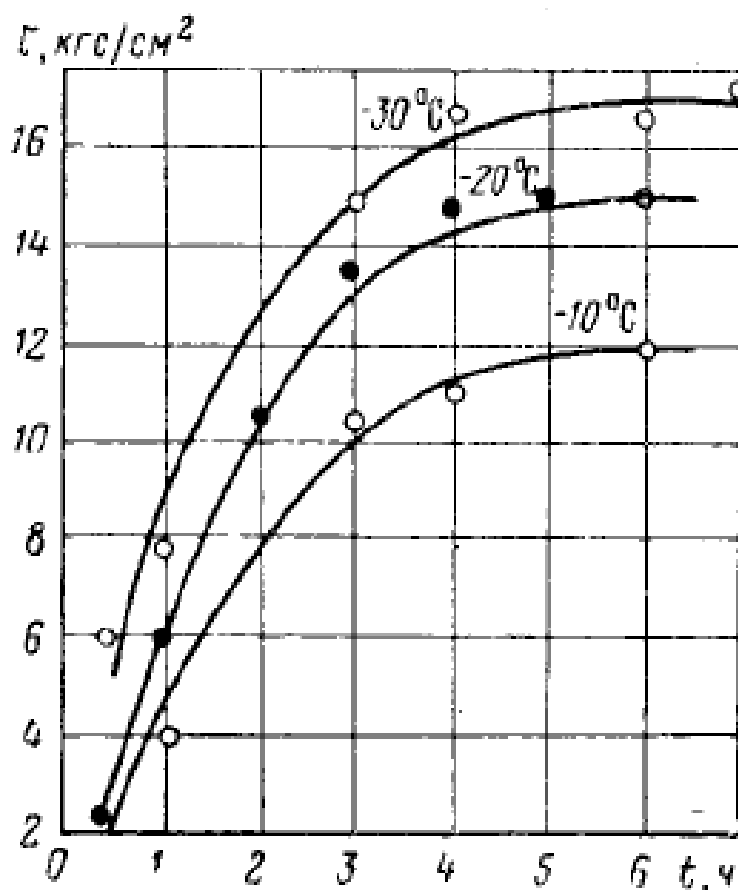


Рисунок 3.6 – Залежність міцності примерзання породи τ від часу заморожування породи t

Залежність міцності примерзання від температури заморожування T показана на рис. 3.7 [12]. Добре видно, що з пониженням температури величина міцно-

сті зростає. Ці залежності також можна описати емпіричними формулами:

- для суглинків при $\eta = 0,999$ і $\Delta = 0,5\%$:

$$\tau = 7,6 + \frac{T-5}{1,3+0,04T}; \quad (3.14)$$

- для каолінів при $\eta = 0,999$ і $\Delta = 0,8\%$:

$$\tau = 8,5 + \frac{T-5}{0,83+0,038T}. \quad (3.15)$$

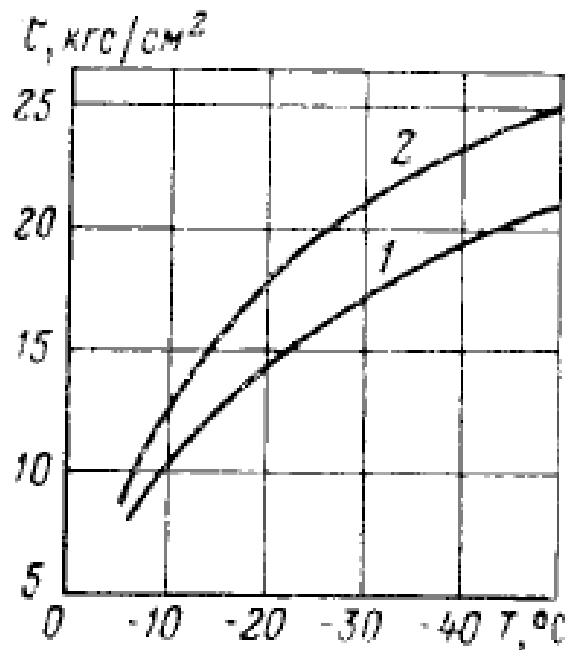


Рисунок 3.7 – Залежність міцності прилипання породи τ від температури заморожування породи T :
1 – суглинки; 2 – каоліни

Таким чином, максимум міцності прилипання і примерзання порід спостерігається при критичній вологості, характерній для кожного виду породи, при тривалості заморожування більше 4 годин, із збільшенням ущільнення породи та зниженням температури.

3.1.2 Оцінка сукупної дії розглянутих факторів

Метод однофакторного експерименту, що використовувався під час описаного вище дослідження, заснований на принципі перебору змінних і не враховує

усіє складності розглянутого процесу, що представляє собою багатокomпонентну систему. Отримати повну уяву про нього можна за допомогою ймовірно-статистичного методу оптимального планування експерименту, у рамках якого розроблені спеціальні алгоритми для математичного опису складних технологічних процесів та багатокomпонентних систем [12].

Використання даного методу для вивчення явища примерзання дає можливість отримати певну інформацію про цей складний процес при одночасній дії усіх факторів, встановити вплив кожного фактору та виявити головні з них. З існуючого числа методів оптимального планування експерименту для даного конкретного випадку був вибраний метод дробових реплік.

Під час дослідження враховувалися шість змінних факторів. Усі вони мали два рівні значень: нижній (позначений знаком «-») і верхній (знаком «+»). Вибір основного рівня та кроку його варіювання здійснювався з урахуванням реальних гірничотехнічних умов експлуатації транспортного обладнання на відкритих розробках корисних копалин. З огляду на це були вибрані наступні рівні змінення факторів:

- тип гірничої породи: нижній рівень – менш розповсюджені каоліни, верхній рівень – найбільш розповсюджені на вугільних та рудних родовищах суглинки;
- вологість гірничої породи: нижній рівень – 15%, верхній рівень – 25%;
- нормальний тиск, при якому порода ущільнюється: нижній рівень – 2 МПа, верхній рівень – 4 МПа;
- тривалість контакту породи з поверхнею (вибрана аналогічною середній тривалості рейсу транспортного засобу, до складу якого входять операції завантаження, перевезення та розвантаження матеріалу): нижній рівень – 2 години, верхній рівень – 4 години;
- чистота обробки поверхні контакту: нижній рівень – шорстка металева поверхня з круглими вм'ятинами глибиною 0,3 мм і діаметром 2 мм у кількості 70 штук на площі 50 см²; верхній рівень – полірована до восьмого класу чистоти металева поверхня;

- температура зовнішнього середовища (у зимовий період): нижній рівень – -20°C , верхній рівень – -40°C .

Схема планування експерименту представлена у табл. 3.3 [12].

В результаті моделювання отримано лінійне рівняння регресії, коефіцієнти якого характеризують ступені впливу змінних факторів на величину міцності при мерзання:

$$\tau = 10,28 + 1,03X_1 + 7,5X_2 + 0,06X_3 + 0,27X_4 - 0,072X_5 - 0,26X_6. \quad (3.16)$$

За визначеними коефіцієнтами даного рівняння отримані домінуючі фактори. Для цього була проведена перевірка значимості коефіцієнтів регресії за критерієм Ст'юдента. Для кожного коефіцієнта визначався t_j -ий критерій за формулами:

$$t_j = \frac{b_j\sqrt{N}}{S_y}; \quad f = N(\gamma - 1), \quad (3.17)$$

де S_y – похибка експерименту; f – число ступенів свободи, з яким визначалася похибка; b_j – коефіцієнт рівняння.

Якщо на вибраному рівні значимості буде $t_j \geq t_T$, де t_T – табличний критерій, то коефіцієнт b_j є значимим. Якщо ж $t_j < t_T$, то коефіцієнт b_j не є значимим і членом з цим коефіцієнтом в рівнянні регресії можна знехтувати. В нашому рівнянні регресії за формулою (3.17) при вибраному рівні значимості (20%) коефіцієнти при X_3 , X_4 , X_5 та X_6 можна вважати саме такими. З огляду на це формулу (3.17) можна записати у наступному вигляді:

$$\tau = 10,28 + 1,03X_1 + 7,5X_2 + 0,62X_1X_2. \quad (3.18)$$

З останнього рівняння випливає, що домінуючими факторами при встановлених межах варіювання є вологість породи та температура навколишнього середовища.

Таким чином, за допомогою багатофакторного експерименту з дорученням методу оптимального планування експерименту визначена значимість усіх вибраних факторів, що обумовлюють явище примерзання. В результаті виявлено, що ступінь впливу кожного фактора при їх сукупній дії на процес примерзання різна.

У вибраних інтервалах змінення основних факторів, що відповідають експлуатаційним умовам підприємств відкритої розробки корисних копалин, визначальними виявилися вологість породи та температура зовнішнього середовища.

За допомогою номограми на рис. 3.8 при заданих параметрах факторів впливу (вологості та температури) можна визначити величину міцності примерзання будь-якого виду гірничої породи до металевих поверхонь робочих органів гірничотранспортного обладнання.

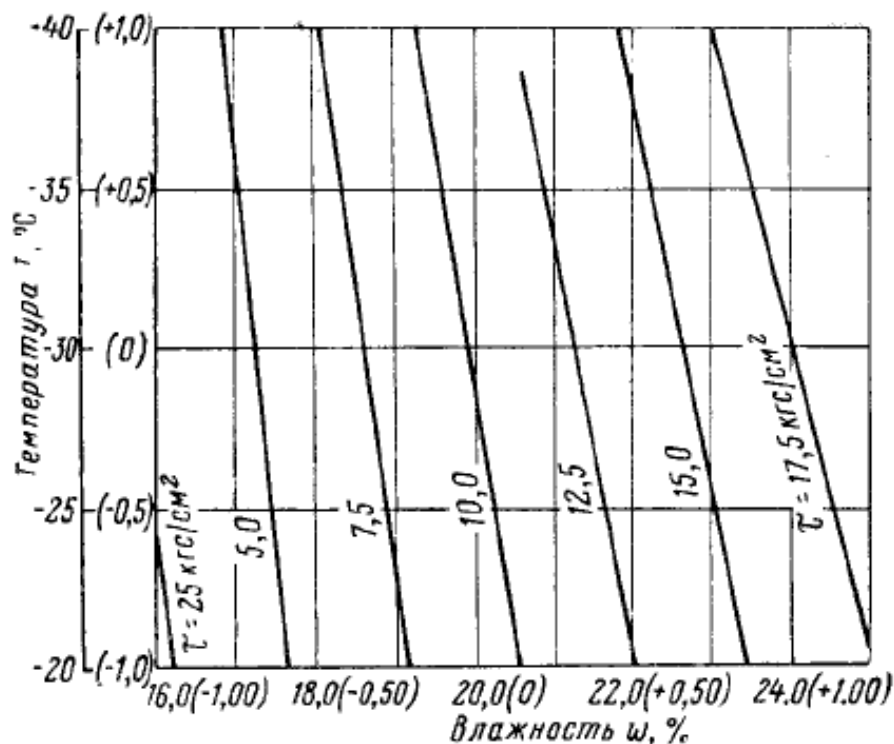


Рисунок 3.8 – Номограма для визначення міцності примерзання τ гірничої породи до металевої поверхні у залежності від температури T та вологості породи ω

3.2 Аналіз особливостей змащувальної дії профілактичних засобів боротьби з прилипанням і примерзанням гірничих порід

3.2.1 Оцінка фізико-хімічних властивостей профілактичних засобів

Як було з'ясовано вище, у п. 1.1.3, шар рідкої речовини між контактуючими поверхнями здатний у значному ступені послабити сили їх взаємного зчеплення та покращати умови ковзання однієї відносно іншої. У даному випадку шар рідкої речовини виконує роль своєрідного мастила між тертьовими поверхнями.

Для опису механізму дії мастильної речовини доцільно використовувати три режими змащення: рідинний, напіврідинний та граничний.

Перші два види змащення ще називають гідродинамічними. Шар мастила у цьому випадку настільки значний, що воно проявляє свої об'ємні властивості. При переміщенні одного тіла відносно іншого безпосередній контакт між ними відсутній, а опір відносному руху залежить виключно від в'язкості мастила. Цей параметр має забезпечувати нормальне засмоктування мастила у зазори і перешкоджати видавлюванню його під навантаженням.

В умовах високих навантажень або малих швидкостей в'язкість перестає бути фактором, що визначає ефективність мастила. Тут виникає третій режим змащення – граничний, під час якого ефективність мастила залежить від його маслянистості або змащувальної здатності. Під цією властивістю зазвичай розуміють той загальний опір, який створює мастильна плівка, що розділяє тертьові поверхні. Найбільш ефективною з цієї точки зору буде та мастильна плівка, яка зберігається під дією нормальних навантажень і створює мінімальний опір зсуву по дотичній. Тобто, чим вище стійкість граничної мастильної плівки проти дії нормальних навантажень і чим менше вона проти дії тангенціальних, тим вище змащувальна здатність мастила.

Маслянистість мастила характеризується, з одного боку, повним змочуванням, а з іншого – міцним зчепленням (адгезією) з поверхнею контакту. Хороші мастила утворюють на твердій поверхні малі кути змочування. Проте ефективність мастила може бути значно підвищена за умови вмісту в ньому поверхнево-активних молекул, здатних адсорбуватися на твердих поверхнях. Присутність таких молекул навіть у незначних кількостях, не здатних помітно змінити в'язкість мастила, може суттєво вплинути на його змащувальну спроможність. Особливу роль у цьому процесі відіграють речовини, до складу молекул яких входить активна група, споріднена з молекулами металу.

Таким чином, шар змащувальної речовини на межі контакту «метал – порода» повинен мати основні властивості, характерні для граничного мастила: повну змочуваність та міцне зчеплення (високу адгезію).

Механізм дії, а, значить, і фізико-хімічні властивості профілактичного засобу для боротьби з явищами налипання і намерзання гірничих порід у певній мірі мають бути аналогічними механізму дії та властивостям мастил. Проте, враховуючи специфіку дії сил зчеплення вологої породи з металевою поверхнею, особливо у зимових умовах, потрібно визначити низку експлуатаційних властивостей такої своєрідної змащувальної речовини. Крім того, до неї мають бути встановлені виробничо-технічні вимоги, обумовлені особливостями та значною різноманітністю гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов відкритих розробок. Лише сумісне урахування усіх перелічених факторів може забезпечити високу ефективність профілактичних засобів.

Змочування – це процес зменшення вільної енергії системи, що складається з трьох дотичних фаз. При розтіканні рідини по твердому тілу відбувається заміна поверхні з великим поверхневим натягом поверхнею з меншим поверхневим натягом. З точки зору термодинаміки, така система прагне до мінімального запасу енергії. Чим менше поверхневий натяг рідини і вільна поверхнева енергія на межі «рідина – тверде тіло», тобто, чим ближче стають рідина і тверде тіло за своєю молекулярною природою, тим менше вільної енергії і краще змочування.

Крапля рідини розтікається по твердій поверхні доти, доки не прийде у стан рівноваги, умови якої визначаються рівнянням Юнга:

$$\sigma_{2,3} = \sigma_{1,3} + \sigma_{1,2} \cos \theta, \quad (3.19)$$

або
$$\cos \theta = \frac{\sigma_{2,3} - \sigma_{1,3}}{\sigma_{1,2}}, \quad (3.20)$$

де θ – крайовий кут змочування; $\sigma_{1,2}$, $\sigma_{1,3}$, $\sigma_{2,3}$ – величини поверхневих натягів на межі відповідно «рідина – газ», «рідина – тверде тіло», «тверде тіло – газ» (див. п. 1.1.2).

Косинус кута θ служить мірою змочування даної рідини. За відсутності тертя він залежить лише від молекулярної природи межі розділу фаз і не залежить від розмірів краплі.

Іншою найважливішою властивістю профілактичного засобу є його міцне

зчеплення з поверхнею металу. Кількісною характеристикою сил зчеплення між різнорідними тілами є робота, яку потрібно витратити на їх розділення. Таку роботу називають роботою адгезії і вона по відношенню рідини до твердого тіла може бути виражена рівнянням Дюпре – Юнга:

$$A = \sigma_{1,2}(1 + \cos \theta). \quad (3.21)$$

На величину адгезії, окрім величини поверхневого натягу, значний вплив має крайовий кут змочування θ . Якщо він дорівнює нулю, рідина повністю розтікається по твердому тілу, а при $\theta = 180^\circ$ вона не змочує тверде тіло, тобто взаємне зчеплення між ними відсутнє. Проте на практиці незрівнянно частіше зустрічаються проміжні випадки, коли $0 < \theta < 180^\circ$, а $-1 < \cos \theta < +1$. Випадок, коли $0 < \cos \theta < +1$, відповідає величині крайового кута змочування від 0 до 90° ; він характерний для рідин, які добри змочують тверду поверхню. Коли ж $-1 < \cos \theta < 0$, маємо кут змочування від 90° до 180° ; це відноситься до рідин, що погано змочують тверде тіло. Таке розділення рідин дає можливість класифікувати їх за умовами змочування твердої поверхні на ліюфільні, для яких $A > \sigma_{1,2}$, та ліюфобні, для яких $A < \sigma_{1,2}$.

Специфіка роботи профілактичного засобу полягає у тім, що вона відбувається на межі розділу трьох фаз, одна з яких тверда (контактна поверхня), а дві інші – рідинні (волога порода та сам профілактичний засіб), причому останні не повинні взаємно змішуватися. Таким чином, профілактичний засіб має бути гідрофобним і ця властивість повинна зберігатися при низьких температурах.

Взагалі, змащувальна речовина має характеризуватися як хімічною, так і фізичною стабільністю. Перша полягає у стійкості до хімічного впливу довкілля (головним чином, кисню повітря), а друга – у стабільності структурно-механічних та колоїдних властивостей, у першу чергу стабільності в'язкості при різних температурах зовнішнього середовища. З огляду на це, профілактичний засіб повинен мати достатню в'язкість під час роботи у літніх умовах і бути малов'язким при низьких температурах (за даними досліджень, температура застигання мастила повин-

на бути на 10° нижче температури, при якій воно експлуатується).

Отже, основною властивістю, що визначає ефективність профілактичного засобу, слід визнати його високу змащувальну здатність, яка, з одного боку, повинна забезпечувати повне змочування поверхні, а з іншого – міцне зчеплення з нею, тобто високу адгезію. Крім того, воно має бути гідрофобним по відношенню до металів, водо- і морозостійким, укладатися на поверхню контакту суцільним рівним шаром (мати високий ступінь розтікання), мало залежним щодо в'язкості від температури, з можливо більш низькою температурою застигання, з високою стабільністю хімічного і фізичного складу та структурно-механічних властивостей у часі.

3.2.2 Виробничо-технічні вимоги до профілактичних засобів

Для успішного промислового використання профілактичного засобу його властивості повинні відповідати основним вимогам виробничо-технічного характеру, до найважливіших з яких слід віднести:

- ефективність і надійність дії у будь-яких гірничо-геологічних та кліматичних умовах відкритих розробок. На практиці це означає, що він може використовуватися як для проти прилипання, так і проти примерзання гірничих порід;
- відповідність діючим санітарно-гігієнічним нормам. Засіб не повинен бути токсичною речовиною, здатною нанести шкоду здоров'ю людей;
- недефіцитність та загальнодоступність засобу;
- низьку вартість, яка б могла забезпечити окупність профілактичних заходів у нормативні терміни;
- можливість механізації та автоматизації процесу нанесення речовини на поверхню, що потребує профілактики;
- можливість постачання профілактичного засобу у готовому для вживання вигляді;
- відповідність діючим нормам протипожежної безпеки.

3.2.3 Оцінка ефективності профілактичних засобів

В якості засобів профілактичної протидії процесам налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів гірничотранспортного обладнання розглянемо речовини КОС, РПС-67 та ніогрін, які розроблені спеціально для цього, мають відповідні фізико-хімічні властивості та забезпечують високий профілактичний ефект як при плюсових, так і при мінусових температурах навколишнього середовища. Це маслянисті рідини з питомою вагою від 0,85 до 0,93 т/м³, що не змішуються з водою і мають стійку гідрофобність та достатньо високу адгезію. Основні показники цих малотоксичних речовин, що не представляють небезпеки для осіб, працюючих з ними, і дозволені для використання у промисловості, приведені у табл. 3.4 [12].

Таблиця 3.4 – Основні показники профілактичних речовин

Показник	Значення		
	КОС	РПС-67	ніогрін
Крайовий кут змочування, град.	1,0	1,0	4,0
Коефіцієнт розтікання	0,999	0,999	0,995
Адгезія, ерг/см ²	52,8	50,0	54,7
Утримуюча здатність речовини на вертикальній поверхні:			
після 15 хвилин	незмінна	1,4	1,2
після 180 хвилин	1,4	2,2	2,0
Питомий опір зсуву породи по шару профілактичної речовини в умовах:			
прилипання, кПа	3,5	4,0	5,0
примержання, МПа	0,25	0,28	0,3

Як вже говорилося вище, інтенсивність процесів прилипання і примержання гірничої маси залежить від багатьох факторів. Для вивчення їх впливу на профілактичні властивості розглянутих засобів були проведені дослідження на декіль-

кох типах гірничих порід з різними ступенями вологості при мінусових температурах навколишнього середовища та тривалості заморожування. Результати експериментальних досліджень представлені у табл. 3.5 [12]. Вони свідчать про прибіжно однакову дію розглянутих засобів незалежно від типу порід. Величини міцності прилипання та примерзання суттєво знижувалися під час їх використання у порівнянні з роботою транспортних засобів без профілактики.

Таблиця 3.5 – Результати дії профілактичних засобів

Гірничі породи	Вологість породи, %	Питомий опір зсуву породи по металевій поверхні			
		без профілактики	КОС	РПС-67	ніогрін
Пухкі суглинки-супіски	16-17	5,55/1,41	3,62/0,2	3,52/0,3	4,41/0,35
Суглинки	21-22	8,12/1,68	3,54/0,25	3,67/0,22	5,0/0,3
Глини	23-24	7,75/1,8	3,8/0,22	3,56/0,31	5,08/0,31
Каоліни	24-25	12,6/2,27	3,56/0,19	3,63/0,29	5,51/0,2
Алевроліти	29-30	9,0/–	3,21/0,18	3,95/–	5,18/–
Буре вугілля	58-59	6,2/1,45	–/0,19	–/0,2	4,4/0,23

Примітка: у чисельнику – питомий опір прилипання, кПа;
у знаменнику – питомий опір примерзання, МПа

На нижчеприведених графіках представлені залежності міцності прилипання і примерзання гірничої маси від різних факторів в умовах застосування вказаних профілактичних засобів [12]. Зокрема, на рис. 3.9 показаний вплив ступеня ущільнення породи на міцність її прилипання, на рис. 3.10 – характер дії засобів при зимових температурах, на рис. 3.11 – вплив тривалості контакту породи з поверхнею при температурі -30°C , а на рис. 3.12 і 3.13 – дію засобів відповідно проти прилипання і примерзання при різній вологості породи. Характер впливу виражений величиною зчеплення породи τ з контактною поверхнею.

Результати досліджень показують, що величини нормального тиску на породу під час її ущільнення, зимові температури та тривалість контакту породи з

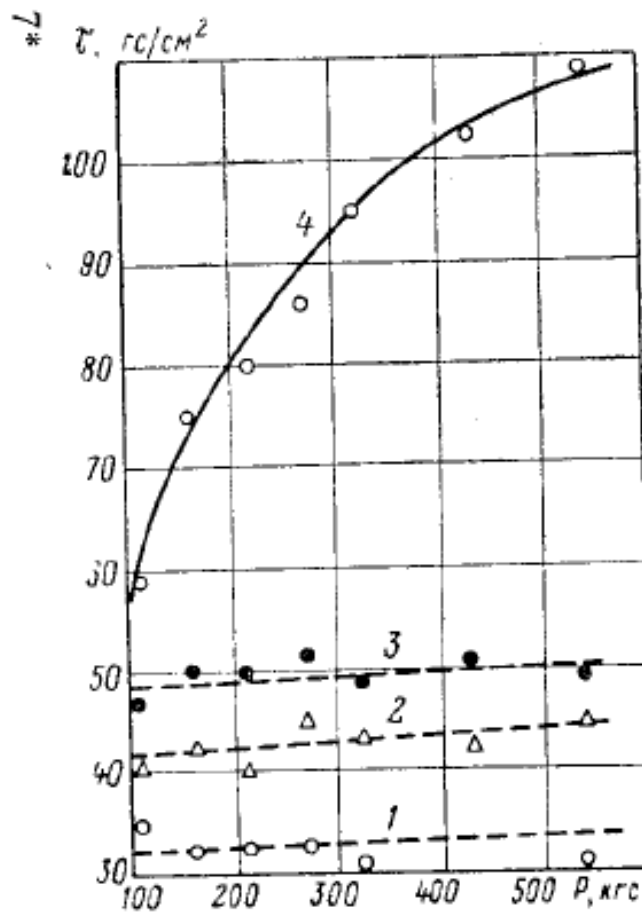


Рисунок 3.9 – Характер дії профілактичних засобів у залежності від ступеня ущільнення породи (нормального тиску P):
1 – КОС; 2 – РПС-67; 3 – ніогрін; 4 – необроблена поверхня

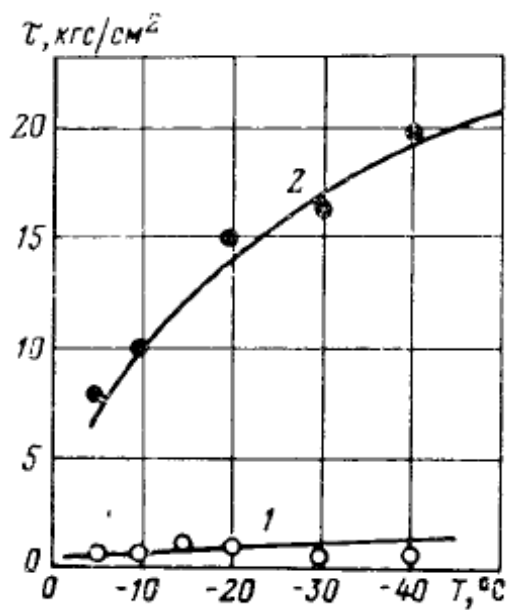


Рисунок 3.10 – Характер дії профілактичних засобів при мінусових температурах T навколишнього середовища:
1 – поверхня, оброблена профілактичними засобами; 2 – необроблена поверхня

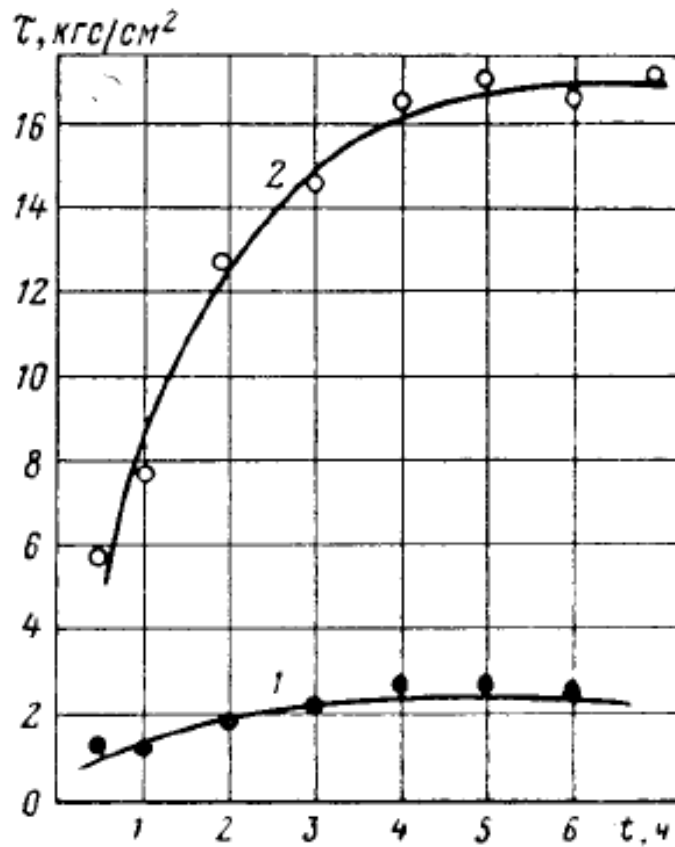


Рисунок 3.11 – Характер дії профілактичних засобів у залежності від тривалості t контакту породи з поверхнею при температурі -30°C :
1 – поверхня, оброблена профілактичними засобами; 2 – необроблена поверхня

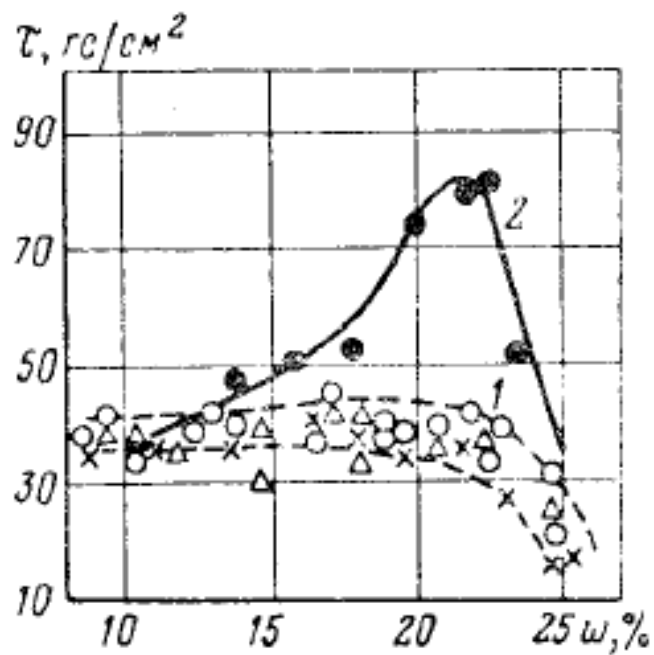


Рисунок 3.12 – Характер дії профілактичних засобів проти прилипання суглинків у залежності від вологості породи ω :
1 – поверхня, оброблена профілактичними засобами; 2 – необроблена поверхня

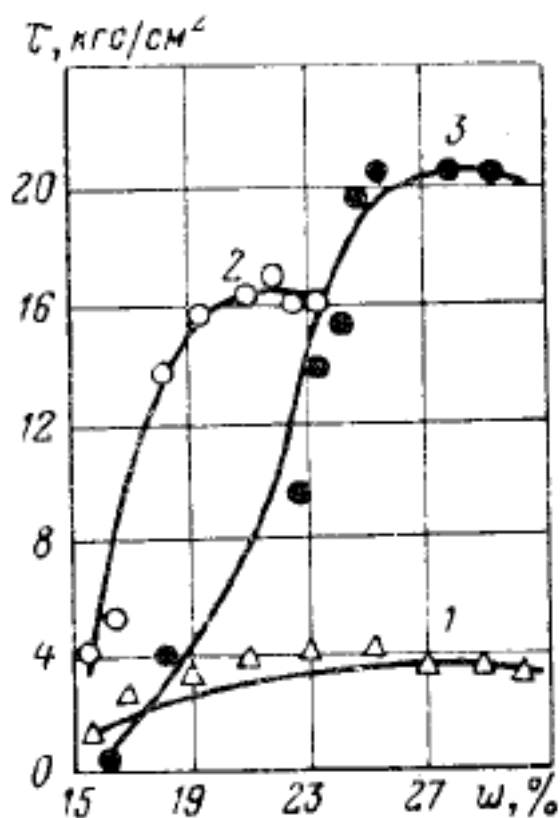


Рисунок 3.13 – Характер дії профілактичних засобів проти примерзання глинистих порід у залежності від вологості породи ω :
 1 – поверхня, оброблена профілактичними засобами;
 2 – необроблена поверхня (суглинки); 3 – те саме (каолін)

поверхнями у морозних умовах практично не впливають на профілактичні властивості розглянутих речовин. Що стосується впливу вологості породи на дію профілактичних речовин, то в умовах прилипання порід вони краще працюють за межами критичної вологості. При низьких температурах дія засобів із збільшенням вологості дещо уповільнюється, але лише до критичної вологості, а далі залишається постійним.

У цілому слід зауважити, що дія профілактичних засобів у найжорстокіших умовах низьких температур (до -50°C), тривалого контакту з породою (до 5 годин) та критичної вологості (до 40%) залишається вельми ефективною.

3.2.4 Обґрунтування оптимальної витрати профілактичних засобів

Для визначення величини оптимальної витрати профілактичних засобів проводилися експериментальні дослідження, під час яких певний об'єм речовини рів-

номірно розподілявся по пластині площею 50 см². Методикою досліду передбачалося сторазове змінення витрати речовини (від 0,01 до 1 м, що забезпечувало тов.-щину її шару на пластині від 2 до 200 мкм.

Результати досліду показали, що оптимальною товщиною шару профілактичної речовини є 40 мкм, при якій максимально знижується міцність примерзання породи. Цій товщині відповідає й оптимальна витрата речовини. Наприклад, для думпкара ВС-100 із загальною площею контакту кузова з транспортованим матеріалом у 100 м² достатньо 3-4 л речовини.

На рис. 3.14 показана можливість багаторазового застосування шару покриття профілактичною речовиною проти примерзання та прилипання породи [12].

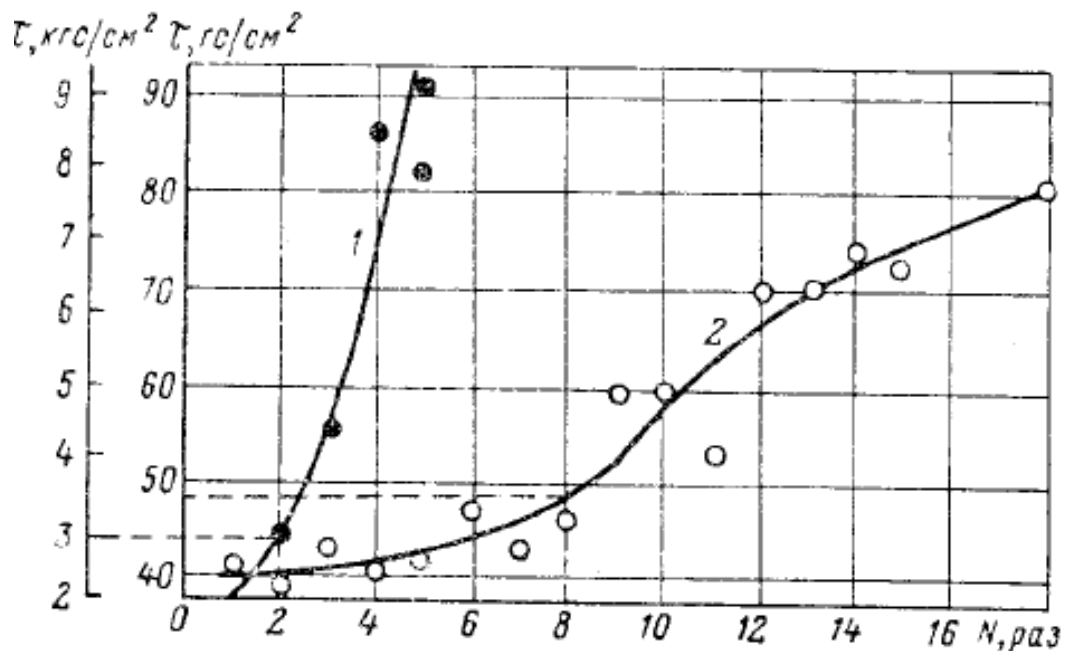


Рисунок 3.14 – Кратність ефективної дії одноразового покриття профілактичною рідиною проти примерзання (1) та прилипання (2)

3.3 Аналіз ефективності застосування вібраційних ефектів для розвантаження та чищення транспортних ємностей

Бурхливий розвиток вібраційних технологій і техніки, які базуються на принципах високочастотних періодичних рухів робочих органів, демонструє останнім часом значні переваги у порівнянні з машинами традиційних типів. Конструктив-

ні та технологічні особливості вібраційної техніки забезпечують отримання нових ефектів у найрізноманітніших галузях економіки, у тому числі в гірничій промисловості, дозволяють створювати дуже ефективні пристрої різноманітного технологічного призначення. Не є виключенням виробничі операції, які розглядаються у даній роботі.

Прискорення процесу розвантаження прилиплих, злежаних або примерзлих вантажів може бути досягнуто за рахунок використання вібророзвантажувальних та віброочисних пристроїв [13,14].

Вібраційний метод інтенсифікації розвантаження сипких матеріалів полягає у тім, що за допомогою спеціального вібробудника транспортній ємності (наприклад, вагону або кузову автосамоскиду) повідомляються вібраційні коливання певної частоти та амплітуди. Іншим шляхом може бути передача вібрації безпосередньо вантажу. Під впливом вібраційних коливань сили зчеплення між налиплим матеріалом і робочими поверхнями ємності, а також внутрішні тертя і зчеплення окремих частинок сипкого матеріалу значно слабшають. При достатньо інтенсивних коливаннях матеріал набуває підвищеної плинності і швидко розвантажується самопливним способом. Підвищенню швидкості процесу розвантаження сприяють також сили інерції, що виникають під час вібрації транспортної ємності.

В основу вібраційного методу очищення транспортних засобів від прилиплих або примерзлих матеріалів покладений різних характер сприйняття вібрацій робочими поверхнями транспортних ємностей та налиплим чи намерзлим до них матеріалом у місці їх контакту. Контактуючі середовища коливаються з різними амплітудами і в різних фазах, внаслідок чого відбувається відрив шару матеріалу від цих поверхонь.

Вібраційні розвантажувальні та очищувальні пристрої мають багато спільного з точки зору принципового устрою і виконуються у більшості випадків в одному агрегаті. Розвантаження та очищення транспортних судин від намерзлого матеріалу вимагає, як правило, більш потужного віброобладнання та більш інтенсивних коливань, ніж у випадку налипання гірничої маси. Під час використання вібророзпушників руйнування монолітного вантажу здійснюється по площинах

змерзання. Для цього більш підходять вібраційні установки ударного типу.

Використання подібного обладнання дозволяє забезпечити високий ступінь механізації процесів розвантаження та очищення гірничих транспортних судин, звільнити велику кількість робітників, зайнятих на цих важких та малопродуктивних операціях.

Висновки:

- відкритий спосіб розробки корисних копалин відрізняється значною різноманітністю кліматичних, гірничо-геологічних та виробничих умов. Наслідком цього стає велика кількість факторів, що викликають явища налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів транспортного обладнання. До головних з них відносяться тип породи, її вологість, температуру повітря та тривалість перебування породи у транспортній судині при мінусовій температурі;

- проведені дослідження показали, зокрема, що максимум міцності прилипання для кожного виду породи відповідає певному інтервалу її вологості. Природна вологість певних з них близька до критичної, внаслідок чого вони мають максимальну липкість і відносяться до порід з низькою розвантажувальною здатністю;

- явище примерзання є більш складною системою, поведінка якої обумовлюється впливом більшого числа факторів у порівнянні з прилипанням. Величина міцності примерзання залежить також від вмісту тонкодисперсних фракцій у породі, а також від температури і тривалості дії процесу заморожування породи;

- оцінка сукупної дії зазначених факторів для встановлення впливу кожного та виявлення головних з них, здійснена за допомогою методів планування експерименту. В результаті виявлено, що ступінь впливу кожного фактора при їх сукупній дії на процес примерзання різна. У вибраних інтервалах змінення основних факторів, що відповідають експлуатаційним умовам підприємств відкритої розробки корисних копалин, визначальними виявилися вологість породи та температура зовнішнього середовища;

- проведений фізико-хімічний аналіз показників профілактичних засобів по-

казав, що шар змащувальної речовини на межі контакту «метал – порода» повинен мати основні властивості, характерні для граничного мастила: повну змочуваність та міцне зчеплення (високу адгезію). Крім того, цей засіб має бути гідрофобним по відношенню до металів, водо- і морозостійким, укладатися на поверхню контакту суцільним рівним шаром (мати високий ступінь розтікання), бути мало залежним щодо в'язкості від температури, з можливо більш низькою температурою застигання, з високою стабільністю хімічного і фізичного складу та структурно-механічних властивостей у часі, а також відповідати виробничо-технічним вимогам конкретного підприємства;

- в якості засобів профілактичної протидії процесам налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів гірничотранспортного обладнання рекомендовано використання речовин КОС, РПС-67 та ніогріну, які забезпечують суттєве зниження величини міцності їх взаємного зчеплення. Оптимальною товщиною шару профілактичної речовини можна вважати величину 40 мкм, при якій максимально знижується міцність примерзання породи;

- вельми перспективними та високопродуктивними є методи і засоби вібраційного розвантаження та очищення транспортних судин від налиплих і намерзлих вантажів, що забезпечують якісне виконання цих операцій при суттєвому скороченні важкої ручної праці гірників.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як було з'ясовано вище, у п. 1.2 даної роботи, усі способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси можна розділити на два основних класи:

- профілактичні, спрямовані на недопущення умов і попередження можливості виникнення і розвитку процесів прилипання і примерзання породи до поверхонь робочих органів гірничотransпортного обладнання;

- руйнівні, метою яких є деструкція утвореного контакту прилиплого чи примерзлого матеріалу до поверхні та відновлення його сипкого стану.

Розглянемо особистості цих способів та обґрунтуємо раціональні параметри засобів для їх реалізації.

4.1 Обґрунтування способів і засобів профілактики процесів прилипання і примерзання гірничої маси

4.1.1 Використання проміжних речовин на межі породи з металевими поверхнями

Такі способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням порід отримали широке розповсюдження у світовій кар'єрній практиці. Для цього використовуються різноманітні матеріали: сипкі, рідинні та плівкоутворюючі. Усі вони призначені або для нейтралізації вологи матеріалу, яка сприяє його прилипанню чи примерзанню, або для зниження вмісту цієї вологи до безпечної кількості, або для забезпечення мінімального перепаду температури матеріалу у процесі його перевезення.

Одним з найпростіших способів такої боротьби є застосування в якості присипки металевих поверхонь різного роду сипких матеріалів типу згорілої породи, котельного шлаку, вугільного дріб'язку, деревної тирси тощо. Такі матеріали повинні бути достатньо дрібними, забезпечувати рівномірне покриття усієї го-

ризонтальної поверхні робочого органу транспортної судини (наприклад, днища вагону або кузова автосамоскиду), не здуватися повітрям під час руху транспортного засобу, бути сухими, порівняно дешевими і не змерзатися при низьких температурах. Практичний досвід покриття такими речовинами днищ думпкарів та піввагонів кар'єрів показує достатньо висок ефективність цього способу. Наприклад, для посипання вугільним дріб'язком потягу з восьми-дев'яти думпкарів ємністю 280-360 м³ кожний витрачається 3-5 хвилин, а витрати профілактичного матеріалу складають 1,26 м³. В результаті час розвантаження думпкарів вдається скоротити на 5-10 хвилин.

Але спосіб не вільний від певних недоліків: профілактичні матеріали такого роду мають високу гігроскопічність, захищаються лише днища транспортних засобів, під час їх руху і поштовхів при зупинках рівномірність посипаного шару порушується, що викликає локальні прилипання та примерзання гірничої маси.

Для підвищення ефективності роботи сипких профілактичних засобів вони можуть змішуватися з кристалічними хлористими солями, наприклад, з кам'яною сіллю у пропорції 7:3. Таким чином вдається знизити температуру змерзання профілактичної речовини, що дає можливість використовувати її у вологому вигляді. На кар'єрах Швеції і Чехії з успіхом застосовують матеріал калкосан, який на 90% складається з холостого кальцію. Він, завдяки своїм властивостям, швидко відбирає вологу у частинок вантажу, розчиняється у ній і утворює незамерзаючий при низьких температурах шар.

Таким чином, використання сипких профілактичних матеріалів дозволяє ефективно боротися з явищами прилипання і примерзання гірничої маси.

Широкого розповсюдження набули профілактичні рідини – розчини хлористих солей натрію, магнію, кальцію та їх сумішей. На відміну від сипких засобів рідини захищають не лише днища транспортних судин, а також і борти. Такі розчини замерзають при температурі нижче 0° С, отже на морозі ґрунт, що стикається з шаром розчину, підсолюється і температура замерзання його вологи знижується у залежності від кількості доданої солі.

Наприклад, витрата 5,5-1,4 кг насиченого розчину хлористого натрію (ка-

м'яної солі) на 1 м² оброблюваної поверхні суттєво покращує умови розвантаження транспортних засобів у зимовий період. Але при температурі повітря нижче мінус 20° С, вологості породи більше 15-20% та тривалості її транспортування довше 1,5-2 годин дії солі виявляється недостатньо.

Більш ефективним є використання підігрітого до температури 70-90° С насиченого розчину хлористого кальцію, точка замерзання якого суттєво нижча, ніж у хлористого натрію (-35° С проти -8° С). Але й він у морозних умовах з температурами нижче -20° С при перевезенні глинистих порід підвищеної вологості недостатньо ефективний. Крім того, хлористі розчини досить погано захищають проти прилипання порід і агресивні по відношенню до металевих поверхонь.

Досить широке застосування мають рідкі жировмісні речовини у вигляді продуктів переробки нафти (мазут, дизельне паливо, гас), а також сама нафта. Принцип їх дії полягає у гідрофобізації частинок гірничої породи за рахунок обволікання їх тонкою масляною плівкою. Обробка стінок і днищ вагонів може суттєво (до 20%) знизити потребу у локомотивних потягах за рахунок скорочення часу простоїв під час розвантаження.

Найкращими представниками класу рідинних профілактичних засобі слід вважати речовини КОС, РПС-67 та ніогрін, властивості яких описані вище, у п. 3.2.3.

Для боротьби з прилипанням і примерзанням вологих сипких порід перс пективні різного роду плівкові покриття у вигляді твердих пластмасових облицювань та покриттів з епоксидних смол, при використанні яких у декілька разів знижується міцність примерзання будь-якого вологого сипкого вантажу. У табл. 4.1 приведені деякі дані експериментальних досліджень роботи облицювань, виконаних з різних матеріалів, у тому числі полімерних, в умовах низьких температур [12].

Як видно з них, найменший ступінь примерзання вологого ґрунту спостерігається при застосуванні фторопласту та полівінілхлоридних пластмас. Суттєву роль при цьому відіграє спосіб кріплення покриття. При наклеюванні створюється потовщений шар системи «моноклей – пластмаса», який менше піддається дефор-

Таблиця 4.1 – Величини зусиль відриву твердих профілактичних покриттів

Матеріал	Зусилля відриву, кПа	
	при механічному способі кріплення	при наклеюванні
Дерево	25,0	73,0
Залізо	33,0	80,0
Алюміній	13,0	33,0
Ебоніт	3,0	19,0
Полівінілхлорид	2,0	13,0
Плексиглас	5,5	28,0
Фторопласт-4	1,5	8,8

маціям згинання і потребує у 2-6 разів більших зусиль відриву примерзлого матеріалу.

Процес прилипання гірничих ґрунтів до поверхонь робочих органів транспортного обладнання також значно уповільнюється при використанні пластмас. Результати дослідження міцності прилипання вологих порід до твердих облицювальних матеріалів показані у табл. 4.2 [12]. Вони свідчать, що найменше прилипання глинистих порід спостерігається до поліетилену низького тиску.

Таблиця 4.2 – Величини зусиль прилипання вологої породи до твердих облицювальних матеріалів

Матеріал	Зусилля зсуву (кПа) при вологості, %		
	11,7	25,0	34,0
Сталь	21,0	67,5	19,3
Полівінілхлорид	15,0	41,4	-
Епоксидний компаунд	14,8	41,0	15,0
Поліамід-68	14,1	39,0	-
Капрон	13,8	39,0	13,4
Поліетилен низького тиску	12,5	37,0	-

Якщо наростання налиплої породи на поверхнях, наприклад, вагонеток і бадей без покриття починається з першого рейсу і через 50-60 рейсів досягає 25-30% об'єму судини, то в разі наявності пластмасового покриття початок прилипання настає на 8-10 рейсів пізніше, а після 50-60 рейсів кількість налиплого матеріалу досягає лише 8-10% об'єму судини.

Хороші результати показує облицювання поверхонь епоксидними смолами. Наприклад, пластикат PVC, створений на основі епоксидної смоли ТМ-40, може закріплюватися на поверхні транспортних судин у вигляді твердих плівок або паст, що наносяться шаром товщиною 3 мм. Другий варіант обходиться значно дешевше і забезпечує при температурі до -7°C майже десятиразове зменшення кількості намерзлого вантажу.

Позитивні ефекти демонструють й інші подібні полімерні матеріали, але з економічної точки зору їх досить висока вартість стримує широке використання такого методу боротьби з намерзанням гірничих порід.

Для ефективного практичного впровадження кращих зразків профілактичних засобів (у першу чергу рідинних, як найбільш зручних для масового використання) на підприємстві має бути вирішений цілий комплекс технічних питань, пов'язаний з організацією подібного профілактичного заходу та забезпеченням безпеки праці при цьому. Для цього потрібно виконати наступні вимоги:

- рідинні профілактичні речовини призначені для покриття металевих поверхонь кузовів залізничних вагонів та автосамоскидів під час перевезення розкритих порід, вугілля рудної сировини тощо;

- період використання профілактичних засобів встановлюється для кожного підприємства окремо з огляду на його кліматичні та гірничотехнічні умови і з урахуванням фізико-механічних властивостей транспортованого матеріалу;

- залізничний та автомобільний парки мають бути ретельно підготовлені до проведення цього профілактичного заходу з точки зору очищення транспортних судин від залишків сипких вантажів та усунення механічних ушкоджень кузовів;

- профілактичні пункти для обробки транспортних ємностей рекомендується розміщати максимально близько від місць завантаження;

- профілактична обробка має забезпечувати рівномірне і повне покриття усієї оброблюваної поверхні тонкою плівкою, а витрати речовини не повинні перевищувати 0,04 кг на 1 м² поверхні;

- усі роботи повинні вестися із суворим дотриманням вимог протипожежної безпеки (ця вимога є обов'язковою, адже профілактичні рідини у своїй більшості відносяться до категорії пожежонебезпечних) та діючих санітарних норм і правил.

На рис. 4.1 показані зразкові схеми обладнання автоматизованих пунктів для обробки залізничних вагонів та автосамоскидів [12]. Перша з них (рис. 4.1а) стаціонарного типу складається з дільниці зберігання профілактичного засобу, насосної станції та оприскувального пристрою із системою форсунок на поворотній консолі. Обробка вагонів здійснюється під час руху локомотивного потягу зі швидкістю не більше 5 км/г. Друга, показана на рис. 4.1 б, виконана пересувною і може використовуватися у місцях, де є електричне джерело живлення. Установка складається з баку 1 для профілактичної рідини, насоса, оприскувального пристрою 2, закріпленого на стояку 3, системи керування та пересувної платформи. Режим роботи установки також розрахований на обробку кузовів під час руху транспортних засобів з малою швидкістю.

4.1.2 Використання теплового впливу на процес примерзання породи

Дія теплових профілактичних засобів заснована на підтримці температури днища і стінок транспортного судина не нижче +2° С, завдяки чому на поверхні контакту не утворюється льодової спайки з вологим глинистим вантажем. Для підігріву можуть використовуватися гарячі гази, пара, електричні елементи та інші джерела тепла.

Наприклад, для обігріву думпкарів існує газова установка, показана на рис. 4.2 [12]. Вона складається з печі 1 із димивсмоктувальною установкою 2 з ежектором 3 та подвійним днищем 4. Піч, що працює на вугіллі, встановлюється на торцевій стінці думпкара, а димоходом служить камера між основним і подвійним днищем. Ежекція здійснюється за рахунок дії стисненого повітря від компресора локомотива. Такий засіб забезпечує надійне розвантаження потягів за будь-яких

мінусових температур навколишнього середовища. До недоліків пристрою слід віднести достатню складність його конструкції, необхідність частої заправки паливом, потребу у додатковому обслуговуванні та значне димоутворення.

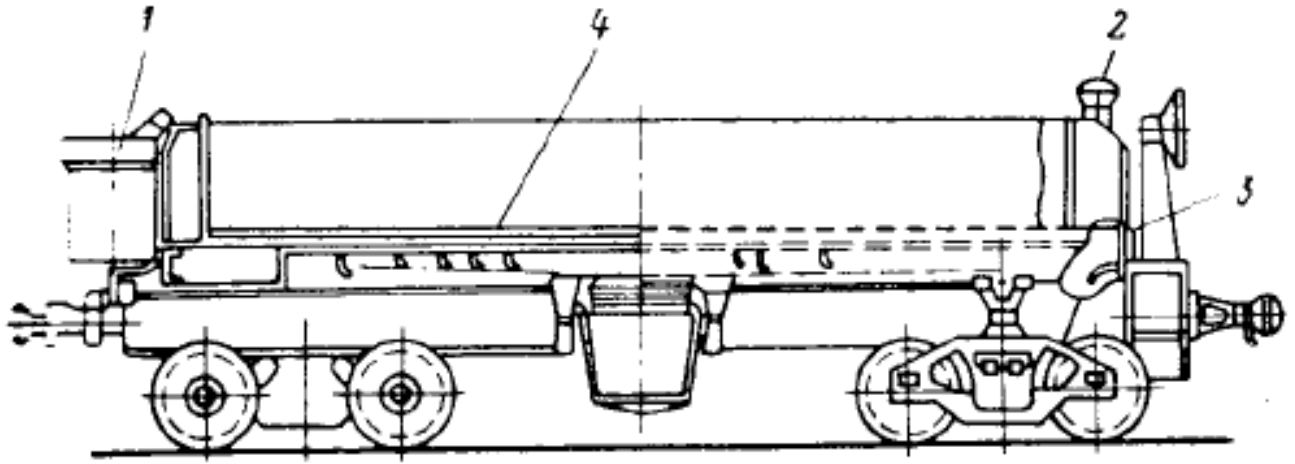


Рисунок 4.2 – Газова підігрівна установка на думпкарі:
1 – піч; 2 – димовсмоктувальна установка; 3 – ежектор; 4 – подвійне днище

Для автомобільного транспорту реалізація подібного способу боротьби з намерзанням гірничої маси полегшується можливістю використання відпрацьованих газів двигуна самого автомобіля. Незважаючи на деяке зниження потужності двигуна через підвищення опору вихлопного тракту, обігрів вихлопними газами не вимагає додаткових експлуатаційних витрат, що робить цей спосіб вельми перспективним для практичного використання на кар'єрах.

Найкращим конструктивним виконанням такого способу боротьби з намерзанням гірничої маси представляється використання в якості каналів для проходження вихлопних газів елементів кузова автосамоскиду. На рис. 4.3 показана схема його реалізації для кузова самоскиду БілАЗ [12]. Таке рішення не ускладнює його конструкцію і не потребує її переробки.

Недоліком способу є нерівномірність нагріву кузова по усій його площі. У найбільш віддалених каналах температура газів при сильних морозах може падати навіть до мінусових значень. Критерієм під час оцінки ефективності обігріву кузовів автосамоскидів відпрацьованими моторними газами може служити коефіцієнт

використання вантажопідйомності машини, що визначається відношенням усього виконаного обсягу робіт до обсягу, який може бути виконаний за умови використання повної вантажопідйомності. Якщо при перевезенні скельних і напівскельних порід, вугілля та залізної руди при чіткій організації транспортних робіт з використанням машин з обігрівом кузовів цей коефіцієнт може досягати 0,98-1,0, то у кар'єрах з пухкими розкритими породами, схильними до прилипання і примерзання він набагато нижчий і знаходиться у межах 0,74-0,88.

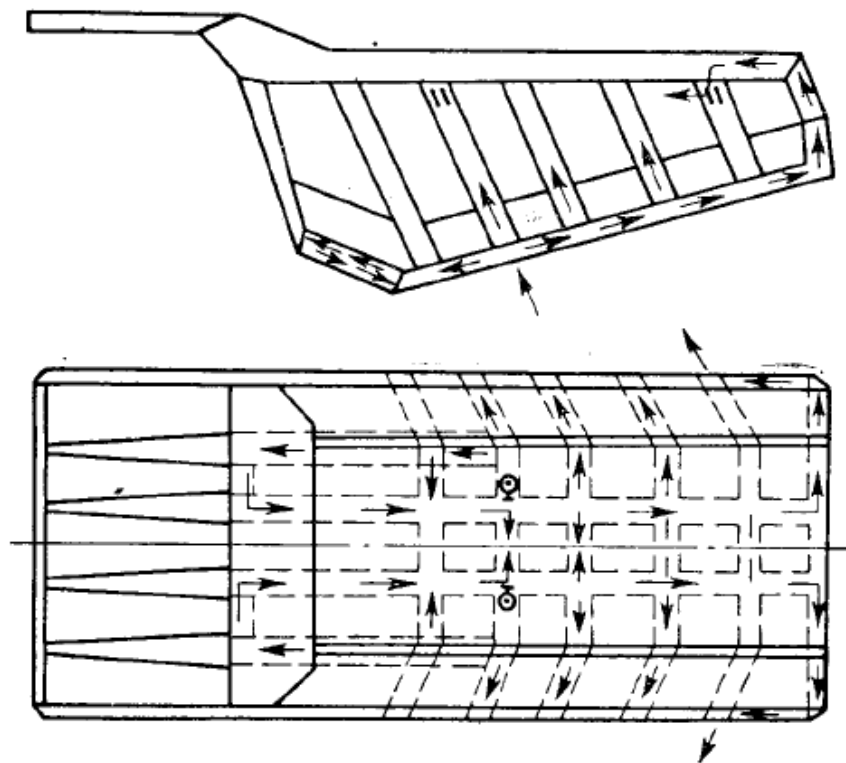


Рисунок 4.3 – Схема проходження відпрацьованих моторних газів для обігріву кузова автосамоскиду БілаЗ

4.2 Розробка способів і засобів руйнування прилиплих і примерзлих шарів гірничої маси

4.2.1 Механічні способи і засоби відновлення сипкого стану матеріалу

Відновлення сипкого стану вантажів може здійснюватися з використанням навісних пристроїв на машинах загального призначення (тракторів, бульдозерів), на ківшах екскаваторів, а також за допомогою спеціальних пристроїв.

До найпростіших з них відносяться різного роду механічні скребки для очищення думпкарів після їх розвантаження. На рис. 4.4 показаний такий пристрій, надітий на ківш екскаватора. Це жорстка зварна конструкція, що складається з консолі довжиною 3-5 м, на кінці якої закріплений ніж завширшки 2-2,5 м зі спеціальним пристосуванням для надівання на зуби ківшу. Більш зручним можна вважати скребок з поворотною головкою, показаний на рис. 4.5. Така конструкція не вимагає пересування вагону під час його очищення. Скребок може бути змонтований на тракторі чи на бульдозері (рис. 4.6) [12]. В останньому випадку потрібен спеціальний відвальний шлях для такої машини з бермою завширшки 10-15 м для маневрування. Крім того, після очищення кожного потягу потрібно прибирати матеріал і планувати саму берму, що вимагає утримання на відвалі додаткового бульдозера.

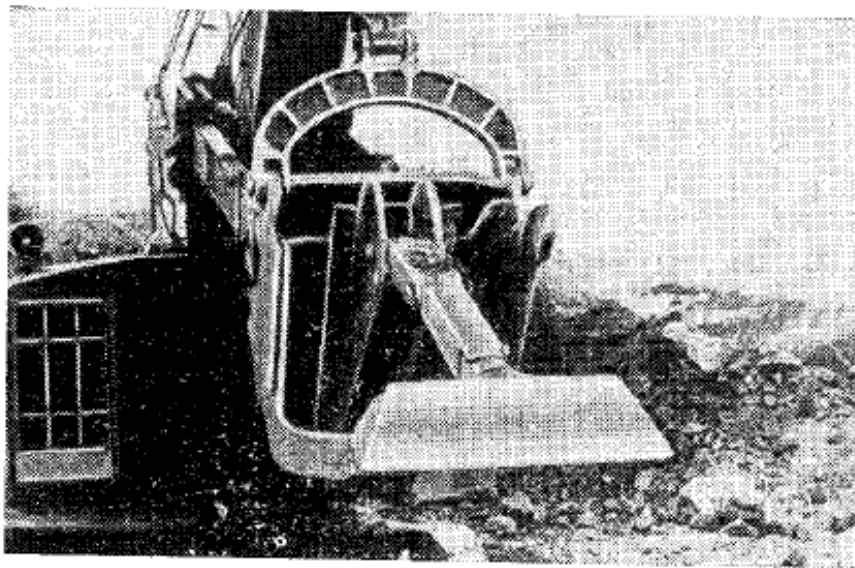


Рисунок 4.4 – Механічний скребок для очищення кузовів думпкарів, встановлений на зубах ківшу екскаватора

Загальна оцінка ефективності процесу очищення за допомогою скребків різних конструкцій зводиться до того, що, незважаючи на суттєве прискорення розвантаження залізничного транспорту (в 1,5-2 рази у порівнянні з ручним очищенням), він вимагає залучення до такої допоміжної операції відвальних екскаваторів з втратою до 25% їх робочого часу, відрізняється значними простоями локомотивних потягів (до 50% загального часу розвантаження) та не забезпечує повного

очищення вагонів (в них може залишатися порода, що займає від 3 до 12% ємності кузова). Крім того, скребки часто ушкоджують кузови, що веде до підвищення трудомісткості ремонтів думпкарів та їх вартості (на 12-15%). Внаслідок усього сказаного продуктивність роботи локомотивних потягів під час застосування механічних скребоків знижується на 10-25% [12].



Рисунок 4.5 – Скребок з поворотною головою

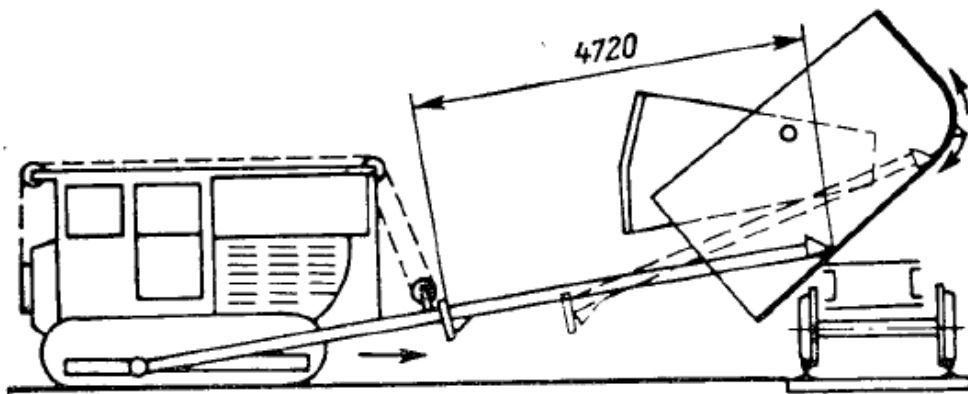


Рисунок 4.6 – Очищення думпкара скребком, змонтованим на тракторі

Засоби механічного очищення використовуються під час розвантаження залізничних вагонів на збагачувальних і брикетних фабриках. Трудомісткість ручних робіт при цьому надзвичайно висока, що обумовлює значні простої потягів під розвантаженням (табл. 4.3) [12].

Для очищення кузовів вагонів від залишків прилиплого та примерзлого вантажу можуть використовуватися такі конструкції, як самохідні щіткові пристрої або стаціонарні розвантажувальні агрегати зі спеціальним скребком у вигляді ківшу без днища. Наприклад, на рис. 4.7 показана схема установки для очищення вугільних вагонів із сидлоподібним днищем. Її телескопічні важелі зі скребками

проникають через розвантажувальний люк і знімають вугілля, що прилипло чи примерзло до сидловини вагону. Час очищення потягу з восьми вагонів вантажопідйомністю 100 т кожний складає 25-30 хвилин [12].

Таблиця 4.3 – Трудомісткість розвантаження залізничного транспорту на збагачувальних і брикетних фабриках

Умови розвантаження	Трудомісткість процесу розвантаження, чол./г		Питома вага очищення, % від загальної трудомісткості
	усього	у тому числі на очищення	
Розвантажувальні естакади висотою до 2,2 м без мостиків	1,3	0,85	65,0
Те саме з обслуговуючими стаціонарними мостиками	1,0	0,85	85,0
Прийомні пристрої зі щілинними бункерами	0,9	0,76	84,0

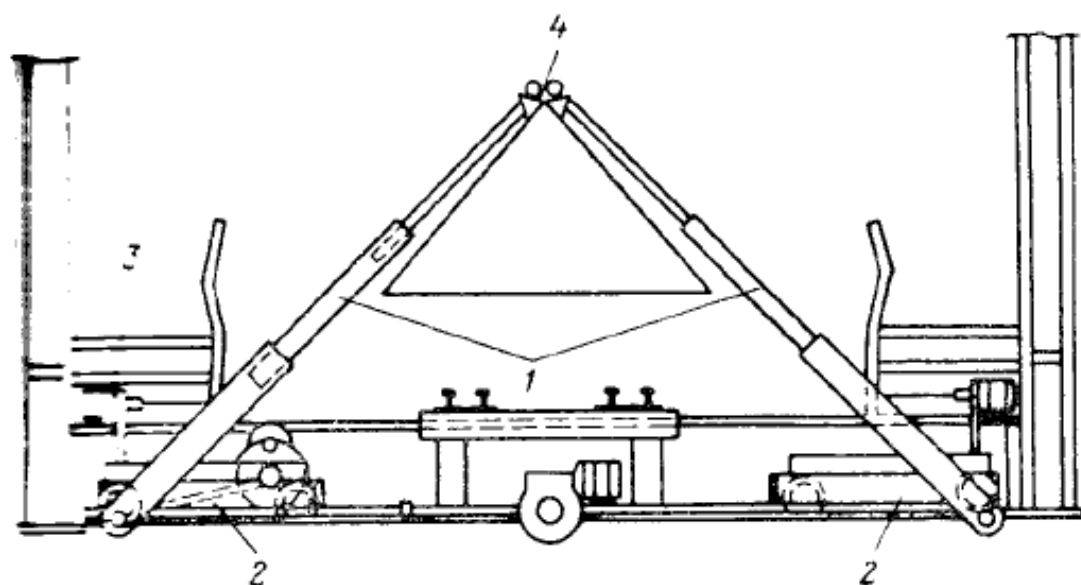


Рисунок 4.7 – Схема установки для очищення вугільних вагонів із сидлоподібним днищем:

1 – телескопічні важелі; 2 – клинопасова передача; 3 – електродвигун; 4 – скребки

Найбільш ефективним агрегатом для очищення думпкарів можна вважати багатоцільову машину фірми «Градаль». Телескопічна трикутної форми стріла машини змонтована на поворотній платформі з гусеничним ходом і може обертатися у горизонтальній площині на кут 180° , піднімаючись і опускаючись (рис. 4.8) [12].

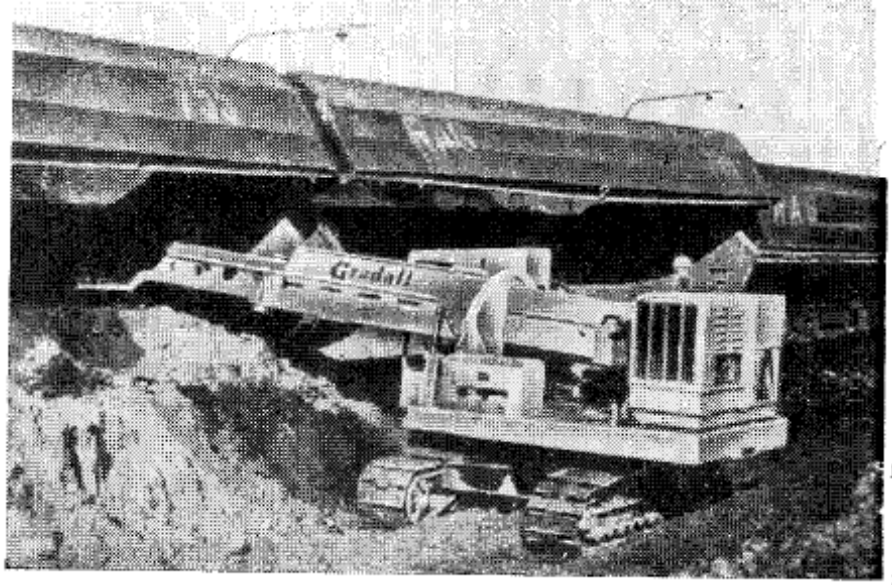


Рисунок 4.8 – Багатоцільова машина фірми «Градаль» під час очищення вагонів

Найбільш досконалими механічними засобами очищення транспортного обладнання від налиплої і намерзлої гірничої маси є вібраційні, що працюють за принципом зниження коефіцієнтів тертя між частинками вантажу та ними і поверхнями контакту транспортних судин (днищ і бортів). Гірничу породу при цьому набуває стану підвищеної плинності (так називаного «псевдозрідження»), під час якого порушуються сили зчеплення між частинками матеріалу і він за деякими параметрами стає схожим на рідину. Усе сприяє набагато кращому розвантаженню матеріалу з транспортних ємностей.

Як вже було з'ясовано вище, у п. 3.3 даної роботи, такий стан сипкого матеріалу виникає при забезпеченні відповідного режиму вібраційних коливань, який характеризується певними величинами частоти та амплітуди коливань.

Необхідний вібраційний вплив на гірничу масу у вигляді змусового зусилля чи змусового моменту створюється за допомогою вібраційних установок. Іс-

нує величезна кількість конструкцій таких пристроїв, але усі вони, як правило, мають той чи інший робочий орган із закріпленим на ньому віброприводом, опорну чи підвісну раму та пружну систему.

Робочий орган передає змушене зусилля віброприводу оброблюваному матеріалу, рама призначена для забезпечення певного положення робочого органу у просторі, а пружна система служить для спирання робочого органу на раму, за безпечує певну свободу його коливань і виконує роль віброізоляції, зменшуючи передачу вібрацій на опорні конструкції.

На рис. 4.9 для прикладу показана схема накладного вібраційного пристрою для використання в якості засобу інтенсифікації процесу розвантаження вагонів [12].

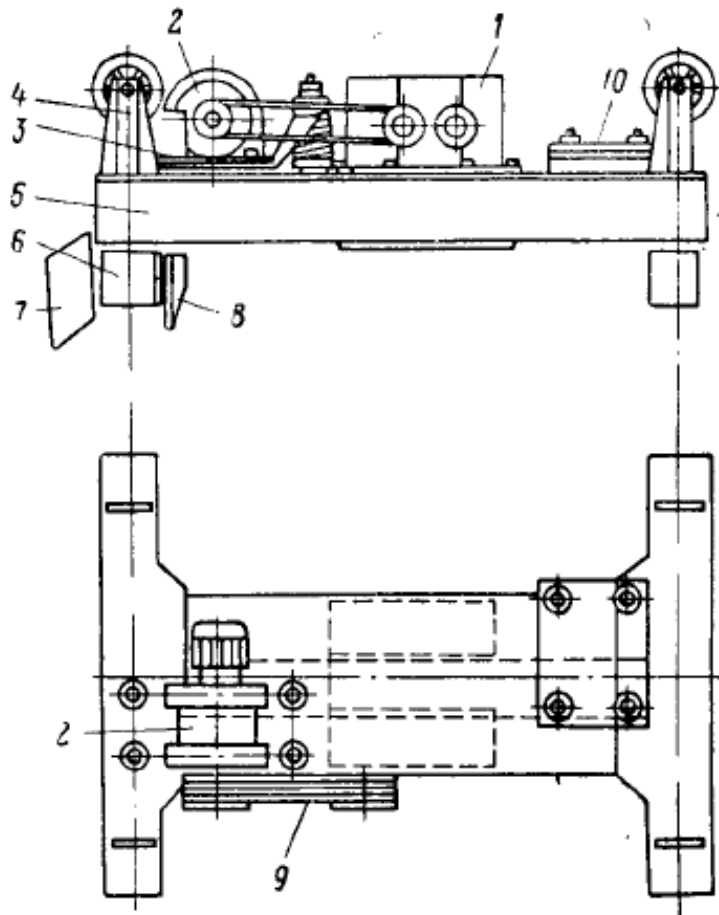


Рисунок 4.9 – Накладний вагонний вібраційний пристрій:

- 1 – двоваловий інерційний віброзбудник; 2 – приводний електродвигун;
- 3 – пружний елемент; 4 – стояки з блоками; 5 – основна несуча рама;
- 6 – опорні балки; 7, 8 – упори проти відповідно поздовжнього і поперечного зміщення; 9 – клинопасова передача; 10 – вантажний компенсатор

Пристрій встановлюється на вагон і передає коливання на його кузов. Інерційний вібробудник 1 має два паралельних вали, на яких встановлені неурівноважені маси – дебаланси, центри ваги яких не співпадають з центрами їх обертання. Такий вібропривод забезпечує прямолінійні коливання, напрямом яких перпендикулярний лінії, що сполучає центри обертання валів (на рисунку привод генерує вертикальні коливання).

Витрати часу на весь цикл розвантаження вагону разом з очищенням його від залишків транспортованого матеріалу скорочуються на 40-60%. Чистий час очищення одного вагону складає від 3 до 6 хвилин.

Спосіб установки вібраційно-розвантажувального обладнання приймається у кожному конкретному випадку у залежності від призначення машини і конструкції обладнання, що обслуговується. Вібратори можуть підвішуватися на гаки кранів, встановлюватися на бункери тимчасового зберігання гірничої маси і продуктів її переробки. Наприклад, у закритих прийомних пристроях бункерного типу вібратори можуть працювати як самостійні розвантажувальні механізми, так і у поєднанні з іншими машинами, призначеними для відновлення сипкого стану змерзлих вантажів. На рис. 4.10 показана схема стаціонарної установки накладного вібратора для роботи у стиснених умовах прийомного пристрою бункера.

Для очищення думпкарів вібрації піддаються їх днища, до яких переважно прилипають та примерзають транспортовані вантажі. На рис. 4.11 показаний варіант обладнання думпкара віброустановкою наступної конструкції [12]. По периферії днища думпкара у шаховому порядку прорізуються вісім вікон і на нього укладається мембранний лист товщиною 50-60 мм, що складається з трьох частин, зазори між якими перекриті накладками. Знизу до листа через вікна кріпляться вібратори інерційного або електромагнітного типу.

Віброустановка на рис. 4.12 має вісім вібраторів інерційного типу, рівномірно установлених на мембранному листі уздовж поздовжньої осі кузова думпкара, де зосереджується найбільша кількість нерозвантаженого матеріалу. Лист кріпиться до крайніх балок пружними скобами. Можливий варіант не защемлення мембранного листа по периметру [12].

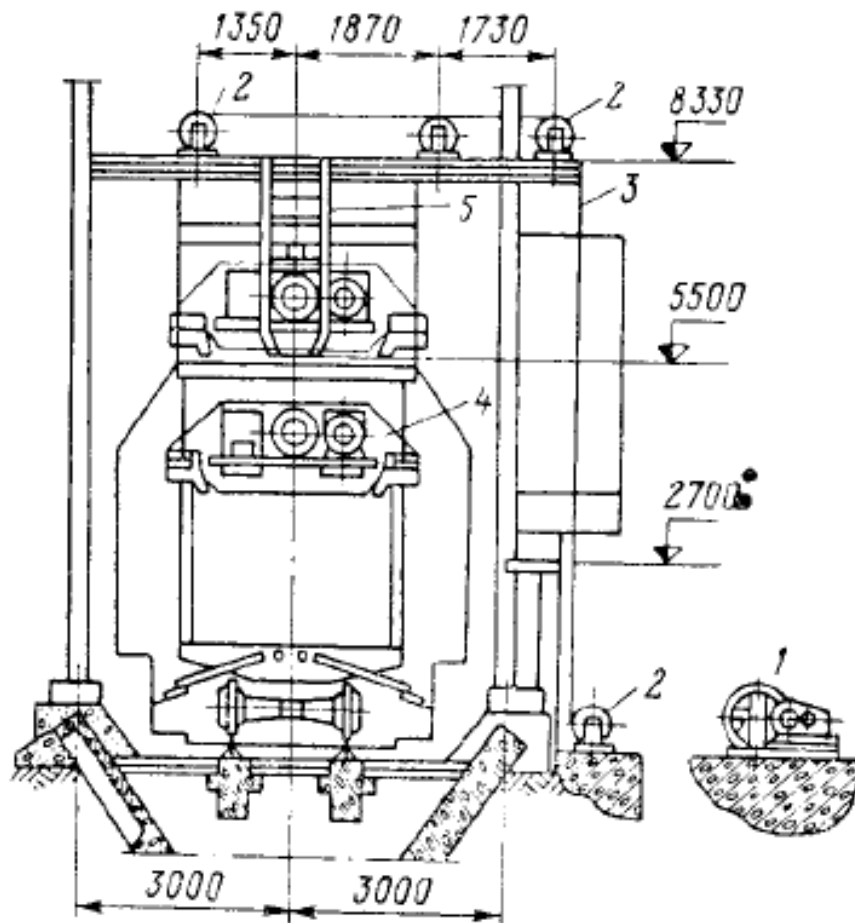


Рисунок 4.10 – Схема стаціонарної установки накладного вібратора у прийомному пристрої бункера:

1 – підйомна лебідка; 2 – обвідні блоки; 3 – канат;
4 – накладний вібратор; 5 – напрямна рама

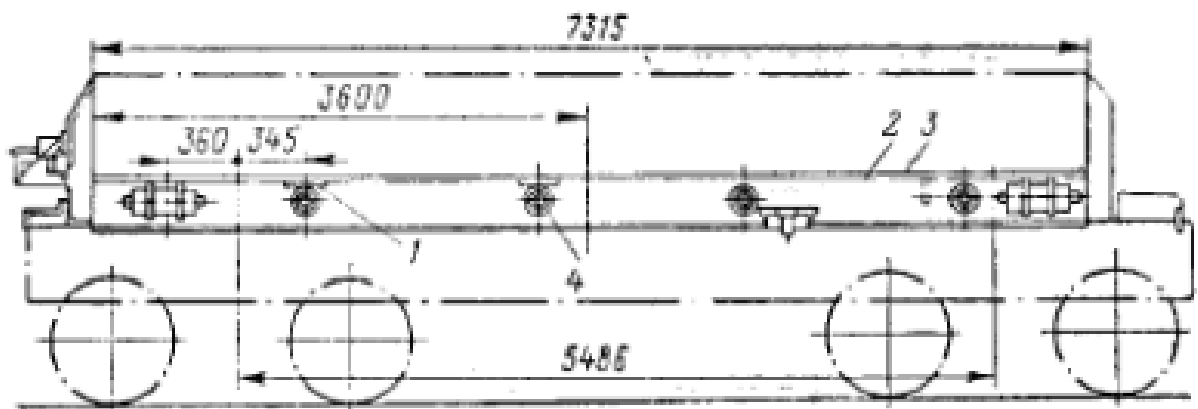


Рисунок 4.11 – Думпкар, обладнаний віброустановками:

1- вібратор; 2, 3 – мембранні листи; 4 – електродвигун

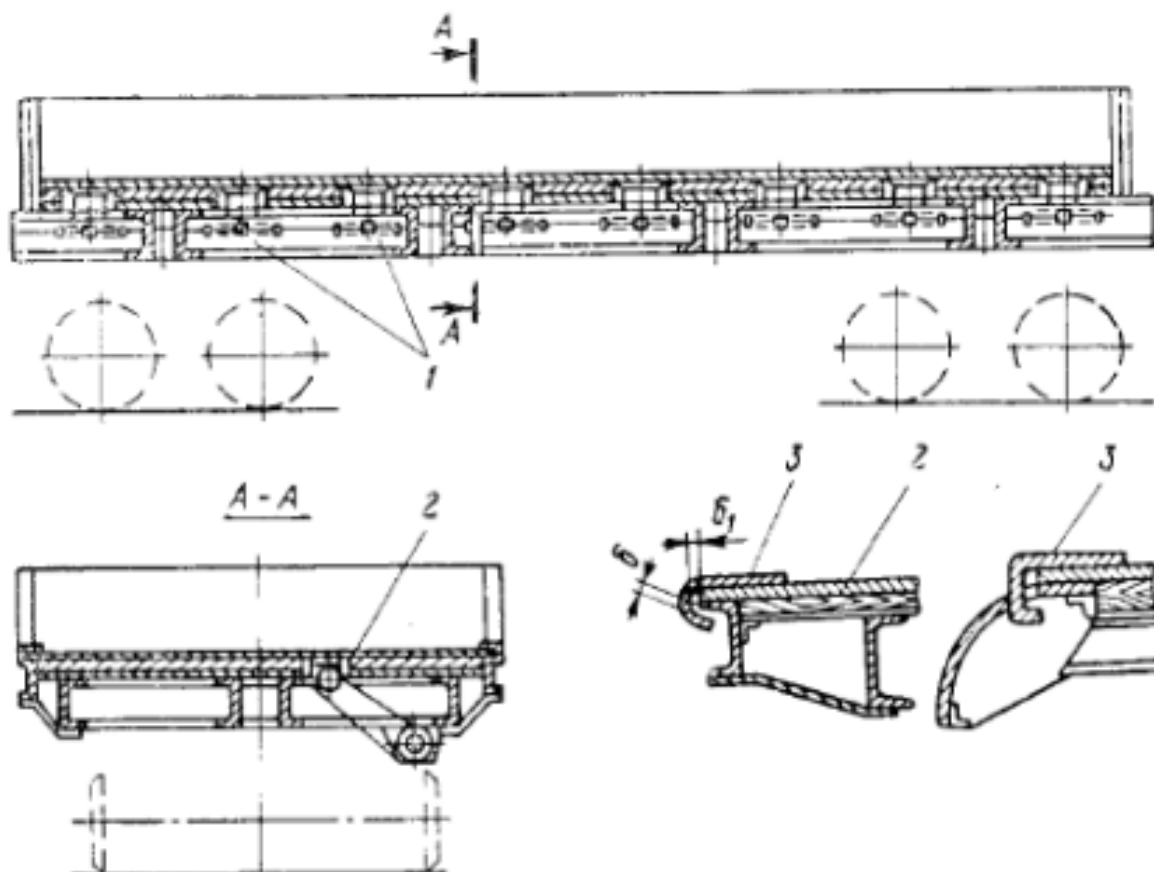


Рисунок 4.12 – Думпкар з вібраторами інерційного типу:
1 – вібратор; 2 – мембранний лист; 3 – пружні скоби

При значній кількості вантажу, що залишається у кузові вагону після його розвантаження, корисними можуть бути спеціальні установки бурофрезерного типу. На рис. 4.13 показана машина фрезерного типу для розпушування матеріалу у вагоні не лише вертикальним бурінням, але й торцевим фрезеруванням [12].

4.2.2 Пневмогідравлічне руйнування

Такі пристрої для руйнування прилиплих та примерзлих шарів породи використовують струмені повітря чи гарячих газів, які генеруються реактивними установками різних типів. Суттєвими недоліками такого способу є значне пилоутворення, важкі умови праці робітників, засмічення території, значні витрати палива.

Для очищення думпкарів можуть застосовуватися гідромонітори зі струменями води під тиском 0,4-0,5 МПа. Гідромоніторна обробка транспортних засобів забезпечує високу якість очищення їх робочих поверхонь.

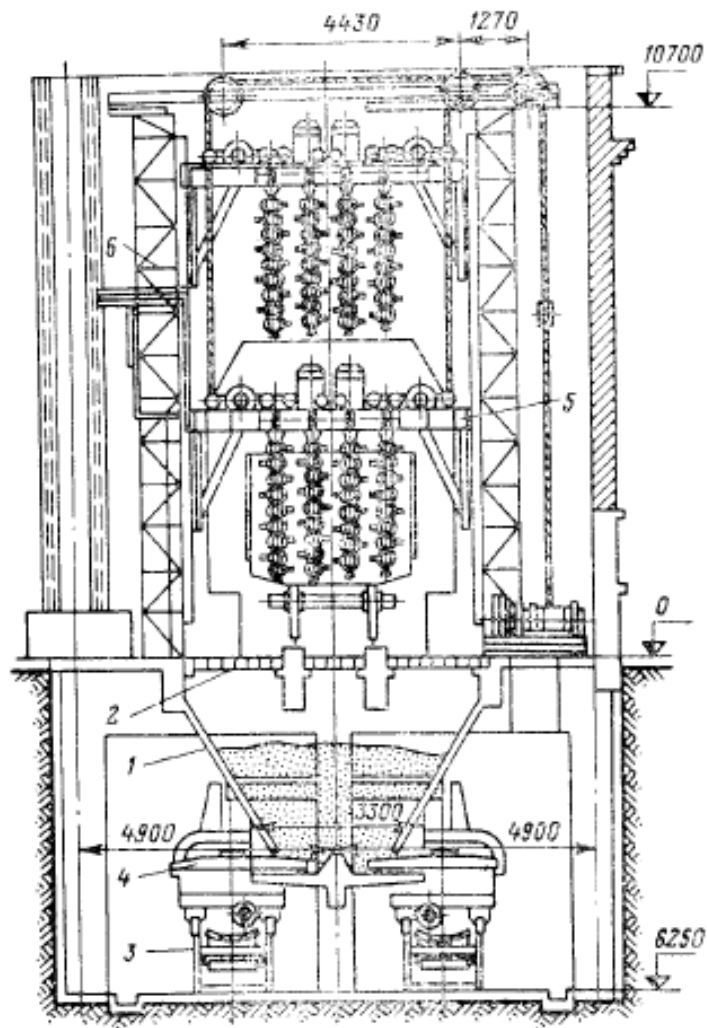


Рисунок 4.13 – Установка бурофрезерної розпушувальної машини у бункерному прийомному пристрої:

- 1 – прийомний бункер; 2 – запобіжна решітка; 3 – конвеєр для прибирання вугілля; 4 – лопатевий живильник;
- 5 – бурофрезерна розпушувальна машина; 6 – напрямні

4.2.3 Інші способи очищення поверхонь

Для руйнування примерзлих шарів породи шляхом відтавання непогані результати може дати використання інфрачервоного випромінювання. На рис. 4.14 показана схема установки для опромінювання вагонеток, яка представляє собою три фігурні каркаси, що охоплюють поперечний контур вагонетки, з 50 потужними лампами [12]. Сповзання розтопленого шару породи починається при нагріванні стінок вагонетки до 4-5° С. Повне розвантаження відбувається протягом 2,5 хвилин. Щоправда, метод відрізняється значною витратою енергії.

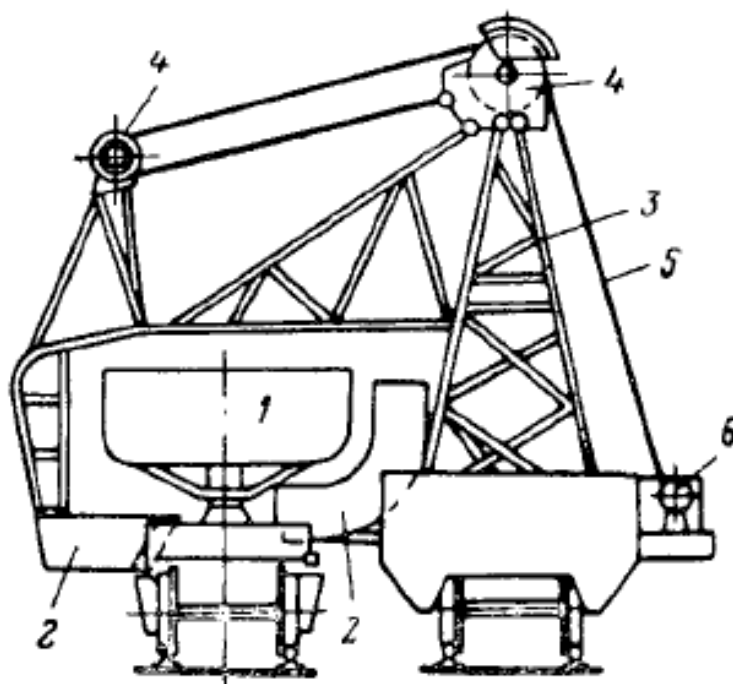


Рисунок 4.14 – Установка з інфрачервоними випромінювачами для обігріву вагонеток:

1 – кузов вагонетки; 2 – інфрачервоні випромінювачі; 3 – ферма для розміщення випромінювачів; 4 – блоки для переміщення випромінювачів; 5 – канат; 6 – електродвигун

Нарешті, заслуговує на згадку спосіб очищення за допомогою явища електроосмосу. Його принцип полягає у пропусканні постійного електричного струму через тонкопористе гідрофільне середовище, що знаходиться між двома електродами. При цьому у залежності від роду середовища відбувається переміщення води в напрямку або позитивного, або негативного електроду. У глинистих матеріалів зазвичай спостерігається другий варіант. В результаті такого процесу матеріал поблизу позитивного електроду зневоднюється і підсушується, а біля негативного – виділяє тонку плівку води, яка розклинає та відокремлює (відриває) налиплі частинки матеріалу від поверхні. Крім того, накопичений прошарок води відіграє роль природного мастила під час сковзання ґрунту відносно поверхні, що очищується.

Явище електроосмосу обумовлено наявністю на поверхні частинок матеріалу електричного подвійного шару, негативні заряди якого міцно пов'язані з поверхнею частинок матеріалу і тому нерухомі, а позитивні знаходяться у рідині і ут-

ворюють рухому дифузну частину з концентрацією зарядів (катіонів), що зменшується у зовнішній бік. Між позитивними і негативними зарядами подвійного електричного шару спостерігається повна електростатична рівновага. Внаслідок цього дисперсна система у цілому є електрично нейтральною. Утім, ця нейтральність порушується при накладанні постійного електричного поля (рис. 4.15) [12].

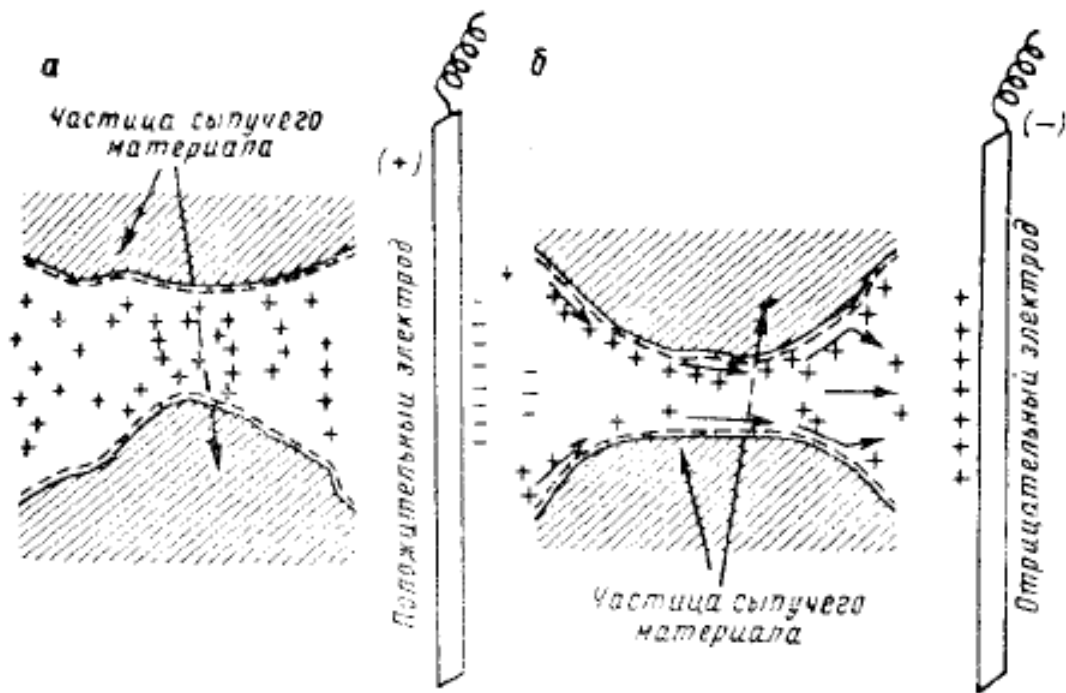


Рисунок 4.15 – Розділення зарядів у рідкій фазі ґрунту:
а – без зовнішнього електричного поля; *б* – з електричним полем

У цьому випадку позитивно заряджений рухомий шар подвійного електричного шару зміщується до негативного електроду і механічно захоплює за собою рідину, що знаходиться у порах ґрунту.

Захоплення води може викликати помітний поступальний рух усієї рідини у порах лише дрібнозернистих матеріалів. В крупнозернистих матеріалах електроосмотичний рух води не спостерігається.

Експериментальні дослідження, проведені з метою визначення раціональних параметрів електроосмотичного методу для інтенсифікації процесу розвантаження вологих глинистих порід, передбачали пошуки їх величин при безпечній для обслуговуючого персоналу напрузі, а також схем розташування електродів

всередині кузова думпкара. Крім того, встановлювалися ступінь і закономірності змінення тривалості розвантаження та витрати електроенергії (параметрів, які обумовлюють ефективність електроосмотичного процесу) від вологості породи та конструктивних параметрів електродів. Розглядалися та випробовувалися дві можливі схеми розташування електродів – просторова та площинна. Їх порівняльний аналіз, приведений у табл. 4.4, показав переваги просторової схеми [12]. Наприклад, при напрузі у 30 В вона у порівнянні з площинною забезпечує скорочення часу розвантаження та витрат електроенергії у 8-9 разів.

Утім, питання практичного використання електроосмотичного методу поки ще не вийшло зі стадії експериментальних досліджень в основному через труднощі вирішення питань розміщення електродів у транспортній ємності та необхідності мати джерело постійного струму потрібної потужності.

Таблиця 4.4 – Порівняльний аналіз площинної та просторової схем розташування електродів всередині кузова думпкара

Напруга, В	Площинна схема		Просторова схема	
	Тривалість розвантаження, с	Витрата електроенергії, кВт·г/м ²	Тривалість розвантаження, с	Витрата електроенергії, кВт·г/м ²
20	135	0,053	23	0,005
30	130	0,093	17	0,008
40	97	0,13	15	0,010
50	65	0,13	10	0,011
60	45	0,14	9	0,017

Висновки:

- проведені дослідження дозволили обґрунтувати раціональні способи і засоби профілактики процесів прилипання і примерзання гірничої маси за рахунок використання проміжних речовин на межі породи з металевими поверхнями та

теплого впливу на процес примерзання породи, а також запропонувати механічні (у тому числі дуже перспективні вібраційні), пневмогідравлічні та інші способи і засоби руйнування прилиплих і примерзлих шарів гірничої маси;

- отримані результати дають можливість суттєво знизити час розвантаження транспортних засобів підприємств відкритої розробки корисних копалин (у першу чергу, залізничного та автомобільного транспорту) і на 10-20% підвищити його продуктивність.

ВИСНОВКИ

Проведені під час виконання магістерської роботи дослідження дозволили зробити наступні висновки та запропонувати можливі шляхи вирішення поставлених задач:

- труднощі процесу розвантаження вологих тонкодисперсних гірничих порід з ємностей гірничотранспортного обладнання пов'язані з перевищенням сил зчеплення породи з поверхнею контакту над силами ковзання. Сили зчеплення вологої породи з поверхнею контакту значно зростають при морозній температурі навколишнього середовища внаслідок фазового перетворення вологи, що міститься у породі;

- зниження сил прилипання порід і зростання сил ковзання по поверхням контакту можна досягти за рахунок гідрофобізації поверхонь робочих органів транспортного обладнання та використання спеціальних гідрофобних поверхнево-активних речовин як на поверхнях мінеральних частинок породи, так і поверхні контакту. Це забезпечить найкращі умови ковзання сипкого матеріалу по поверхні контакту за рахунок створення на межі контакту ізоляційного шару хімічної речовини, яка значно послаблює сили зчеплення сипкого матеріалу з поверхнею;

- існуючі способи і засоби боротьби з налипанням і намерзанням гірничої маси можуть бути розділені на дві основні групи: профілактичні (ті, що попереджають або зменшують можливість і ступінь дії цих негативних явищ) та руйнівні (такі, що за рахунок тих чи інших впливів на прилиплий або примерзлий матеріал забезпечують відновлення його сипких властивостей та полегшення процесу повного розвантаження транспортної судини);

- відкритий спосіб розробки корисних копалин відрізняється значною різноманітністю кліматичних, гірничо-геологічних та виробничих умов. Наслідком цього стає велика кількість факторів, що викликають явища налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів транспортного обладнання. До головних з них відносяться тип породи, її вологість, температуру повітря та тривалість перебування породи у транспортній судині при мінусовій температурі;

- проведені дослідження показали, зокрема, що максимум міцності прилипання для кожного виду породи відповідає певному інтервалу її вологості. Природна вологість певних з них близька до критичної, внаслідок чого вони мають максимальну липкість і відносяться до порід з низькою розвантажувальною здатністю;

- явище примерзання є більш складною системою, поведінка якої обумовлюється впливом більшого числа факторів у порівнянні з прилипанням. Величина міцності примерзання залежить також від вмісту тонкодисперсних фракцій у породі, а також від температури і тривалості дії процесу заморожування породи;

- оцінка сукупної дії зазначених факторів для встановлення впливу кожного та виявлення головних з них, здійснена за допомогою методів планування експерименту. В результаті виявлено, що ступінь впливу кожного фактора при їх сукупній дії на процес примерзання різна. У вибраних інтервалах змінення основних факторів, що відповідають експлуатаційним умовам підприємств відкритої розробки корисних копалин, визначальними виявилися вологість породи та температура зовнішнього середовища;

- проведений фізико-хімічний аналіз показників профілактичних засобів показав, що шар змашувальної речовини на межі контакту «метал – порода» повинен мати основні властивості, характерні для граничного мастила: повну змочуваність та міцне зчеплення (високу адгезію). Крім того, цей засіб має бути гідрофобним по відношенню до металів, водо- і морозостійким, укладатися на поверхню контакту суцільним рівним шаром (мати високий ступінь розтікання), бути мало залежним щодо в'язкості від температури, з можливо більш низькою температурою застигання, з високою стабільністю хімічного і фізичного складу та структурно-механічних властивостей у часі, а також відповідати виробничо-технічним вимогам конкретного підприємства;

- в якості засобів профілактичної протидії процесам налипання і намерзання гірничої маси на поверхні робочих органів гірничотранспортного обладнання рекомендовано використання речовин КОС, РПС-67 та ніогріну, які забезпечують суттєве зниження величини міцності їх взаємного зчеплення. Оптимальною тов-

щиною шару профілактичної речовини можна вважати величину 40 мкм, при якій максимально знижується міцність примерзання породи;

- вельми перспективними та високопродуктивними є методи і засоби вібраційного розвантаження та очищення транспортних судин від налиплих і намерзлих вантажів, що забезпечують якісне виконання цих операцій при суттєвому скороченні важкої ручної праці гірників.

- проведені дослідження дозволили обґрунтувати раціональні способи і засоби профілактики процесів прилипання і примерзання гірничої маси за рахунок використання проміжних речовин на межі породи з металевими поверхнями та теплового впливу на процес примерзання породи, а також запропонувати механічні (у тому числі дуже перспективні вібраційні), пневмогідролічні та інші способи і засоби руйнування прилиплих і примерзлих шарів гірничої маси;

- отримані результати дають можливість суттєво знизити час розвантаження транспортних засобів підприємств відкритої розробки корисних копалин (у першу чергу, залізничного та автомобільного транспорту) і на 10-20% підвищити його продуктивність.

Таблиця 3.2 – Порівняння критичної та природної вологості досліджуваних порід

Тип породи	Міцність прилипання τ , кПа	Вологість ω , %		Залежність міцності прилипання τ від вологості породи ω , кПа
		природна	критична	
Суглинки різних родовищ	7,2	19-21	20-21	$\tau = \frac{1}{10(0,078 - 0,017\omega + 0,0004\omega^2)}$
	7,5	18-22	17-20	$\tau = \frac{1}{10(0,103 - 0,01\omega + 0,0003\omega^2)}$
	7,7	9-15	15-17	$\tau = \frac{1}{10(0,078 - 0,008\omega + 0,0002\omega^2)}$
Пухкі суглинки-супіски	5,5	19-20	15-17	$\tau = \frac{1}{10(0,155 - 0,019\omega + 0,0006\omega^2)}$
Глини	5,4	21-30	24-26	$\tau = \frac{1}{10(0,371 - 0,029\omega + 0,0006\omega^2)}$
Алевроліти	6,8	-	29-31	$\tau = \frac{1}{10(0,196 - 0,014\omega + 0,0003\omega^2)}$
Сірі каоліни	12,7	10,8-85	24-26	$\tau = \frac{1}{10(0,94 - 0,07\omega + 0,0002\omega^2)}$
Строкатокольорові каоліни	12,8	30	21-24	$\tau = \frac{1}{10(0,224 - 0,019\omega + 0,0004\omega^2)}$

Таблиця 3.3 – Схема планування експерименту

Умови проведення дослідів	Фактор						Питомий опір зсуву при примерзанні породи, МПа
	Температура зовнішнього середовища X_1	Вологість породи X_2	Час X_3	Тиск ущільнення породи X_4	Чистота обробки поверхні X_5	Тип породи X_6	
Основний рівень (0)	0/30	0/20	0/3	0/300	0/	0/	-
Крок варіювання	10	5	1	100			
Нижній рівень (- 1)	-/20	-/15	-/2	-/200	-/Шерох. II	-/Каолін IV	-
Верхній рівень (+ 1)	+/40	+/25	+/4	+/400	+/Полір. I	+/Суглинок III	-
Номер дослідів							
1	-/20	-/15	-/2	-/200	+/I	+/III	0,081
2	+/40	-/15	-/2	+/400	-/II	-/IV	0,435
3	-/20	+/25	-/2	+/400	-/II	+/III	1,796
4	+/40	+/25	-/2	-/200	+/I	-/IV	1,998
5	-/20	-/15	+/4	+/400	+/I	-/IV	0,221
6	+/40	-/15	+/4	-/200	-/II	+/III	0,411
7	-/20	+/25	+/4	-/200	-/II	-/IV	1,714
8	+/40	+/25	+/4	+/400	+/I	+/III	1,972
9	+/40	+/25	+/4	+/400	-/II	-/IV	1,847
10	-/20	+/25	+/4	-/200	+/I	+/III	1,486
11	+/40	-/15	+/4	-/200	+/I	-/IV	0,220
12	-/20	-/15	+/4	+/400	-/II	+/III	0,396
13	+/40	+/25	-/2	-/200	-/II	+/III	1,914
14	-/20	+/25	-/2	+/400	+/I	-/IV	1,524
15	+/40	-/15	-/2	+/400	+/I	+/III	0,245
16	-/20	-/15	-/2	-/200	-/II	-/IV	0,182

Примітка: у чисельнику – код величини, у знаменнику – її фізичні значення

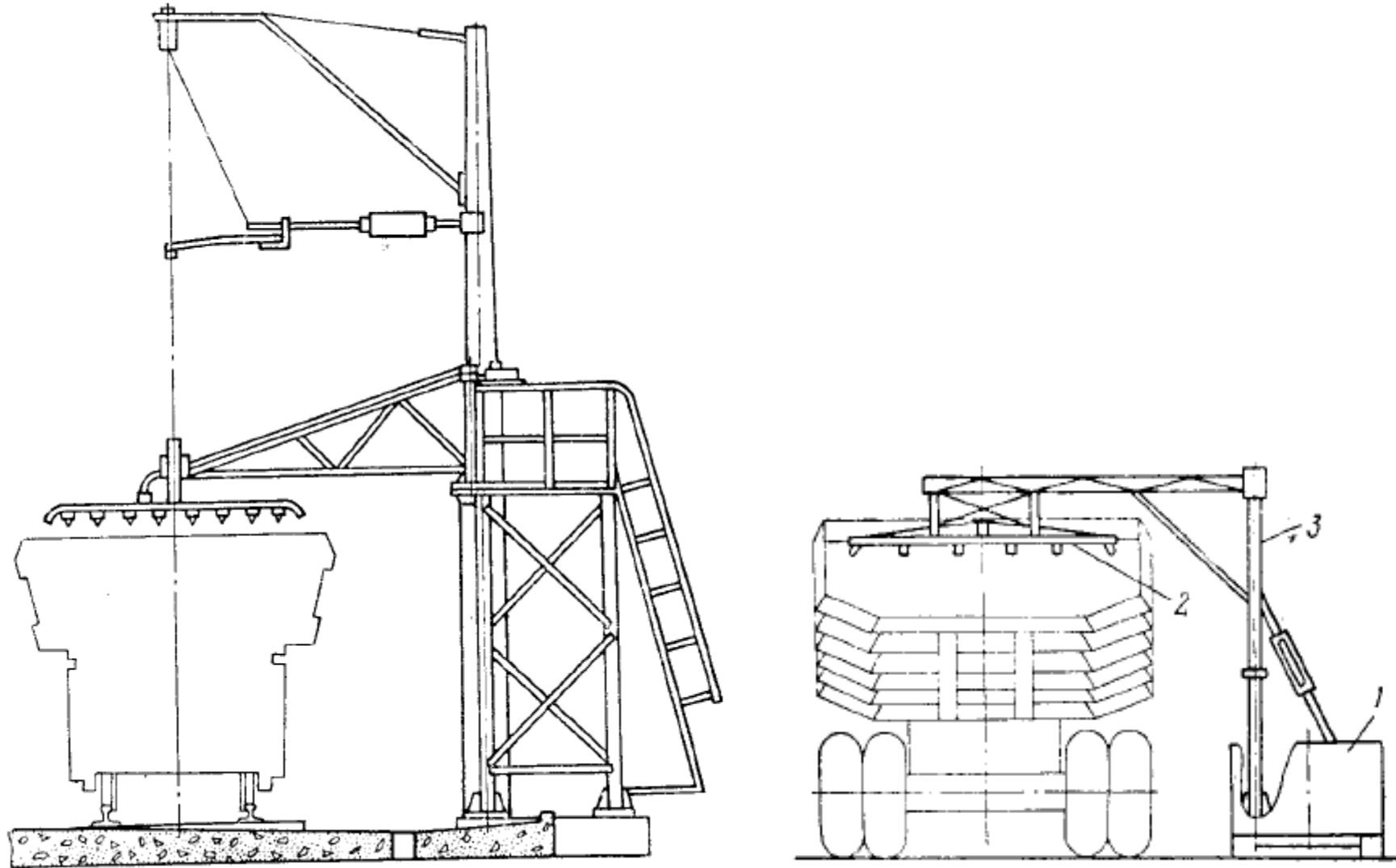


Рисунок 4.1 – Схеми обладнання автоматизованих пунктів для обробки транспортних судин профілактичними засобами:
a – стаціонарна для залізничних вагонів; *б* – пересувна для автосамоскидів (1 – бак для профілактичної рідини;
 2 – пристрій для оприскування; 3 – стояк)