

## **ОСОБЛИВОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАМЕНЕРОЗКОЛЮВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ ІЗ ЛОКАЛЬНОЮ КОНЦЕНТРАЦІЄЮ НАПРУЖЕНЬ**

*У статті аналізуються вимоги, що пред'являються до сучасних каменерозколювальних верстатів; обґрунтовується доцільність використання нового способу руйнування крихких середовищ та заснованих на ньому робочих органів із локальною концентрацією граничних напружень.*

*Ключові слова: локальна концентрація, спрямоване розколювання, магістральна тріщина, пружний інтенсифікатор напружень.*

*В статье анализируются требования, которые предъявляются к современным камне-раскольным станкам; обосновуется целесообразность использования нового способа разрушения хрупких сред и основанных на нем рабочих органов с локальной концентрацией предельных напряжений.*

*Ключевые слова: локальная концентрация, направленное раскалывание, магистральная трещина, упругий интенсификатор напряжений.*

*In article requirements which are shown to modern stone splitting machine are analyzed; the expediency of using a new way of fragile rocks's destruction and the working bodies based on it with local concentration of limiting stress is proved.*

*Key words: local concentration, directional split, main crack, elastic stress intensifier.*

**Постановка проблеми.** Каменерозколювальні верстати використовуються для отримання виробів із так званою природною поверхнею. Крім того, за допомогою таких верстатів здійснюють необхідне розділення на частини кам'яних, бетонних або інших міцних матеріалів при розробленні кар'єрів, будівництві, реконструкції та утилізації об'єктів різного призначення. Про переваги каменерозколювальної техніки можна дізнатись, наприклад, із роботи [1].

Спрощена схема типового каменерозколювального верстата наведена на рисунку 1. Основними елементами верстата є замкнена рама 1, два горизонтальних леза 2, 3 та силовий привід 4. Як правило, рама складається із станини 5, до якої закріплюються дві вертикальні стійки 6 та

7, що для додаткової жорсткості з'єднуються нагорі поперечиною 8. Леза працюють за принципом гільйотини та складаються зазвичай із системи окремих клинців 9, які за допомогою системи адаптації мають можливість пристосовуватись під нерівну поверхню матеріалу, що розколюється.

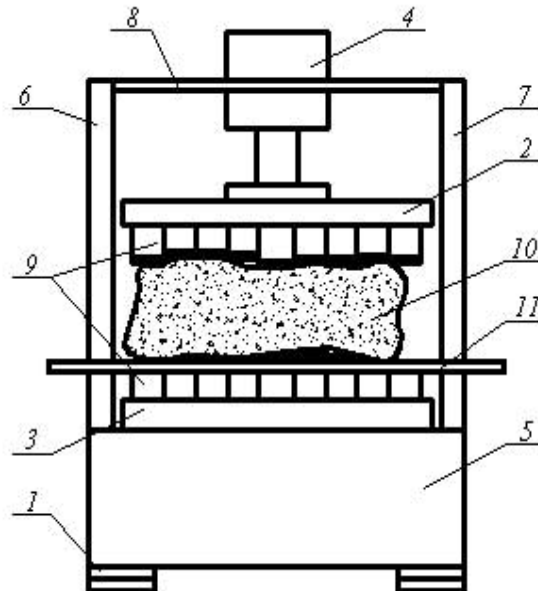


Рисунок 1 – Схема каменерозколювального верстата

Одне з лез жорстко закріплюється на рамі, інше має змогу рухатись у вертикальному напрямку. Зближення лез призводить до розколювання матеріалу 10, що знаходиться на столі 11. Привід станка як правило гідравлічний і може складатися з одного чи декількох циліндрів.

**Аналіз існуючих конструкцій каменерозколювальних верстатів.** Конструкції каменерозколювальних верстатів повинні задовольняти наступним вимогам:

- розколювання матеріалу повинно відбуватись по наперед заданій траєкторії, в іншому випадку розколотий матеріал визнається браком;
- станок повинен мати якомога більшу продуктивність, для чого час як основних, так і допоміжних операцій повинен бути зведений до мінімуму;
- робота оператора за станком повинна бути безпечною, а ризик отримати травму – малоімовірний;
- за потреби каменерозколювальний верстат повинен мати змогу легкого перебезування з об'єкту на об'єкт.

Виконання першої зазначеної вимоги є обов'язковим, бо інакше каменерозколювальний верстат не зможе виконувати свою основну функцію – розколювати матеріал на частини бажаних розмірів та форми. Саме проблемі спрямованого розколу присвячена найбільша увага спеціалістів. Камінь, бетон та подібні матеріали розколюються по заданій траєкторії лише в тому випадку, коли інструмент (леза) має контакт із

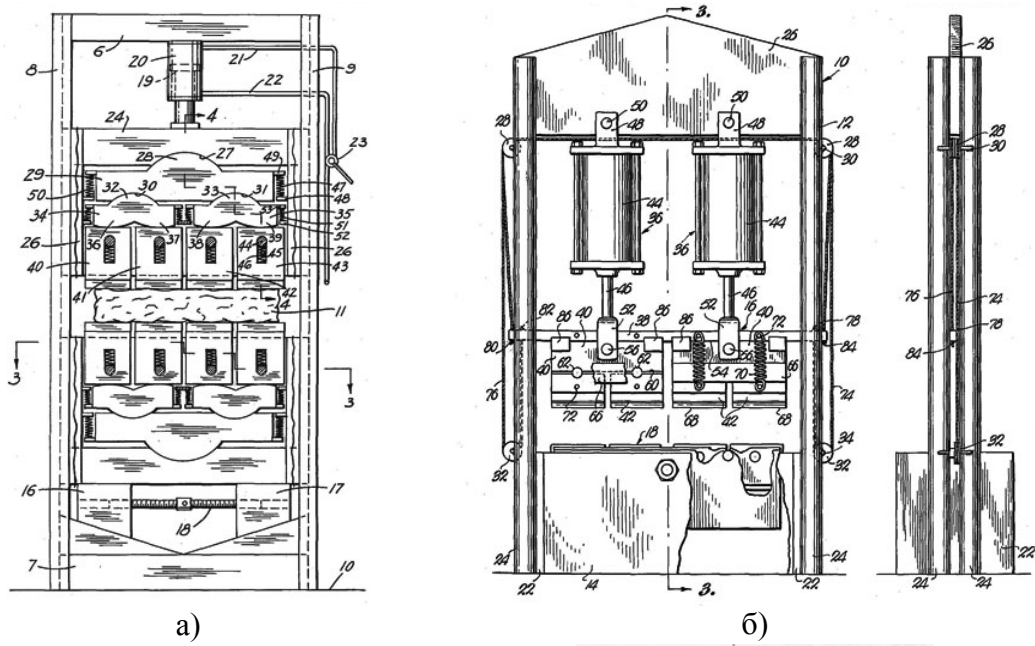
матеріалом по всій цій траєкторії. Коли заготовки мають нерівну поверхню з виступами та западинами, виникає необхідність у створенні системи адаптації клинців до такої поверхні. Системи адаптації можна поділити на дві групи: механічні та гідравлічні. Конструктивні варіанти першої групи наведено на рис. 2, а-г. Клинці можуть змінювати своє положення відносно один одного за рахунок повороту навколо своїх осей – рисунок 2, а [2], б [3], горизонтального переміщення додаткових елементів - рисунок 2, в [4] або спирання на пружний елемент – рисунок 2, г [5]. Конструктивні варіанти другої групи засновані на принципі сполучених посудин [6] або клинців з індивідуальними гідроциліндрами [7]. При цьому кращим вважається система сполучених гідроциліндрів, що дозволяє створювати однакове рівномірне навантаження на матеріал і уникати таким чином передчасного розколювання.

Друга вимога, що висувається до сучасних каменерозколювальних верстатів, задовольняється впровадженням в їх конструкцію різних пристроїв автоматизації технологічного процесу та використанням допоміжного обладнання. В конструкції каменерозколювального верстата [8] пропонується гідравлічна система для автоматичної подачі заготовок під леза. В роботах [9, 10, 11] каменерозколювальний верстат розглядається як складова одиниця доволі складної системи з обробки каменя, що додатково містить вхідні та вихідні конвеєри, маніпулятори, бункери. При розколюванні заготовок різної товщини виникає необхідність прискорити операцію зміни відстані між лезами. Це завдання може бути вирішене за допомогою комбінованого приводу.

Так, в каменерозколювальному верстаті невеликої потужності [12] пропонується зближувати леза за допомогою механічного домкрату із швидким переміщенням, а розколювання проводити гідравлічним домкратом, шток якого переміщується на малу відстань.

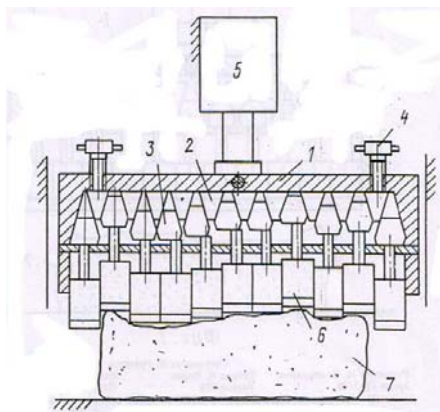
Важливою проблемою є створення безпечних умов праці для оператора каменерозколювального верстата. Процес розколювання здійснюється при великих навантаженнях (до 3200 кН), тому будь-які несправності та пошкодження елементів станка при виконанні робіт становлять серйозну загрозу для оператора. Аби уникнути травматизму, необхідно витримувати певну відстань між оператором та найбільш небезпечними елементами станка. Це завдання вирішується, наприклад, за допомогою виносного пульта керування [10, 11]. В деяких конструкціях верстатів запропоновано систему гасіння динамічних навантажень, що виникають в гідравлічній системі під час різкого зменшення опору на шток – це відповідає моменту розколювання [13]. Крім того, наявність пружних елементів у конструкції станка може призвести до ефекту «підстрибування» матеріалу та його уламків у момент розколювання. Це також становить загрозу для оператора. В роботі [6] для станка невеликої потужності з метою мінімізації ризику травмуватись уламками матеріалу

запропоновано замість пружин, що зазвичай підтримують стіл із заготовкою, використовувати гідроциліндр, що регулює положення стола.

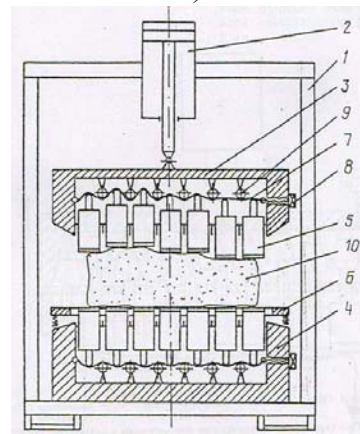


а)

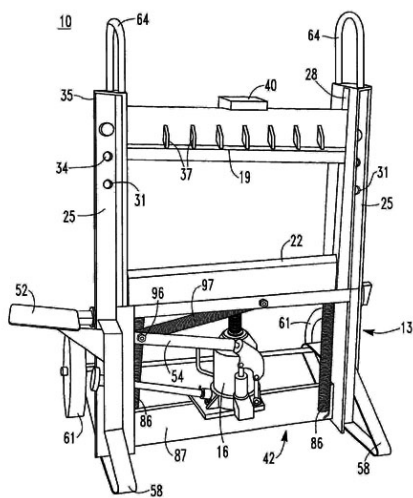
б)



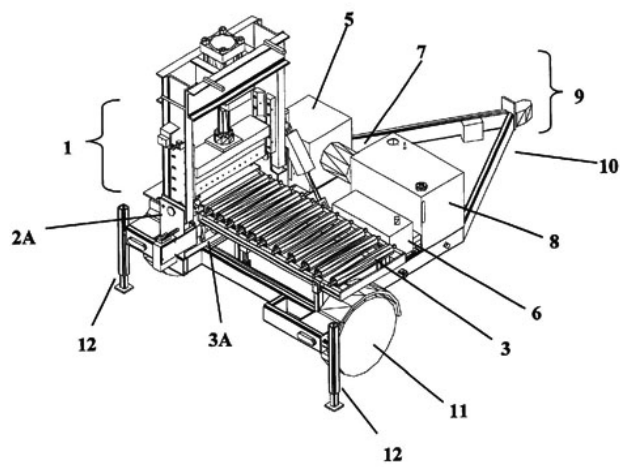
в)



г)



д)



е)

Рисунок 2 – Конструкції каменерозколювальних верстатів

Дуже часто виникає потреба у використанні каменерозколювальних верстатів на різних об'єктах. У зв'язку з цим постає завдання створення конструктивних елементів, що полегшують процес транспортування. В станках невеликої потужності такими елементами є колеса та додаткові ручки – рисунок 2, д [14, 15]. Більш масивні станки встановлюються на причепи [16]. В робочому положенні колеса піднімаються, і рама встановлюється на міцний ґрунт чи фундамент. Для підвищення безпеки при транспортуванні в роботі [17] запропоновано гідравлічну систему складання станка на причеп, тобто повороту його з вертикального у горизонтальне положення – рисунок 2, е. Це дозволяє знизити центр ваги всієї системи і ризик перекидання.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є оцінка ефективності різних конструкцій каменерозколювальних верстатів та обґрунтування доцільності використання нового способу руйнування крихких середовищ і заснованих на ньому робочих органів з локальною концентрацією граничних напружень.

**Виклад основного матеріалу.** Для досягнення вказаної мети пропонується наступний науковий підхід до створення і вдосконалення каменерозколювальних верстатів. Розглянуті конструкції верстатів дозволяють простежити основні тенденції розвитку каменерозколювальної техніки. Кожний із варіантів має свої недоліки та переваги, свою область раціонального застосування (мається на увазі, що, наприклад, стаціонарні станки зайве забезпечувати пристроями пересування, а мобільні установки невеликої потужності – допоміжними пристроями типу конвеєрів). Проте з наукової точки зору важливим є не стільки конструктивні особливості тієї чи іншої техніки (хоча, звичайно, важливість всіх конструктивних вдосконалень не слід зменшувати), скільки ефективність виконуваних нею процесів перетворення. Оцінити ефективність різних конструкцій каменерозколювальних верстатів, а також визначити подальші шляхи їх інноваційного вдосконалення можливо лише через комплексне вивчення технічної системи «станок – процес розколювання».

Теоретичні дослідження процесу спрямованого розколювання кам'яних та подібних матеріалів має фрагментарний характер. У деяких із них вивчається вплив параметрів робочого органа (жорсткості, гостроти клинців) на процес розколювання. В інших пропонуються гіпотези про залежність енергії, що йде на процес, від форми матеріалу (класичні теорії подрібнення). Низка робіт присвячена процесу руйнування крихких тіл, до яких відносяться і кам'яні матеріали (механіка тріщин, заснована на роботі Гриффітса). Комплексний аналіз наявних теоретичних досліджень дозволяє зробити наступні важливі висновки:

– кам'яні та подібні матеріали (в першу чергу, бетон) руйнуються шляхом утворення тріщин, розвиток яких призводить до розділення матеріалу на частини. Для спрямованого розколювання необхідно керувати

траєкторією розвитку основної (магістральної) тріщини. Досягається це у більшості випадків прикладенням поля напружень уздовж всієї передбачуваної лінії розколу. Саме тому в існуючих конструкціях каменерозколювальних верстатів намагаються забезпечити повний контакт лез із оброблюваною заготовкою;

– оцінка ефективності тих чи інших конструктивних рішень каменерозколювальних верстатів повинна базуватися на енергетичних критеріях. Як відзначають деякі дослідники, при спрямованому руйнуванні важливим є не стільки зусилля, при якому настає розколювання матеріалу заданої форми, скільки та енергія, що витрачається на цей процес.

Робочі органи каменерозколювальних верстатів з локальною концентрацією граничних напружень. З аналізу існуючих конструкцій каменерозколювальних верстатів витікає, що їх робочі органи спрямовані на те, аби створити однакові зусилля на матеріал уздовж всієї передбачуваної лінії розколу. Робиться це, як зазначалось раніше, для мінімізації браку. Але за такого підходу сумарне зусилля, що визначається

формулою 
$$P = \int_0^x \int_0^y \int_0^z p(x, y, z) dx dy dz$$
 ( $x, y, z$  – координати об'єму

деформованого матеріалу) та повинно бути розвинуто станком, досягає великих значень, враховуючи фізико-механічні властивості кам'яних матеріалів. Це викликає не тільки значні напруження на елементах станка, а й призводить до значних енергетичних витрат на процес розколювання. Чи можна якось зменшити сумарне зусилля та енергоємність процесу, не спричиняючи шкоди якості готового продукту? Проведені теоретичні дослідження дозволили авторам запропонувати новий енергозберігаючий спосіб розколювання кам'яних матеріалів: із локальною концентрацією граничних напружень [18]. Його сутність полягає в тому, що граничні напруження створюються не по всій довжині зразка, що розколюється, а в деякій локальній області. Саме тут зароджується магістральна тріщина, подальший спрямований розвиток якої забезпечується за допомогою поля напружень, модуль яких менше граничного. Розвиток тріщини, як відомо, потребує мінімуму енергії. Конструктивне втілення запропонованого способу можливе за рахунок пружного інтенсифікатора напружень. У роботах [19-21] надано теоретичне обґрунтування таким робочим органам каменерозколювальних верстатів. А в роботі [22] наведені результати експериментальних випробувань, які довели: використання робочих органів із локальною концентрацією граничних напружень дозволяє на 10-30 % зменшити сумарне зусилля розколювання та енергоємність процесу при збереженні основних вимог до готового продукту, тобто спрямованого розколювання по наперед заданій траєкторії. Ефективність робочих

органів із пружним інтенсифікатором проаналізовано в роботі [23], а надійність – в роботі [24].

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Виявлено, що існуючі конструкції каменерозколювальних верстатів не враховують механізму розколювання, який складається з утворення та розвитку тріщини або тріщин. Застосований науковий підхід до вдосконалення конструкцій каменерозколювальних верстатів із комплексним аналізом технічної системи «станок – процес» допоміг теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити можливість та доцільність використання клинових робочих органів із локальною концентрацією граничних напружень.

Подальші дослідження слід направити на виявлення раціональної області використання робочих органів із локальною концентрацією граничних напружень, а також на особливості розколювання такими робочими органами заготовок із значною нерівністю поверхні.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Пенчук В.А. Оборудование для получения изделий из камня с колотой фактурой / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // *Механизация строительства*, 2005. – №4. – С. 13 – 15.
2. Пат. 2,753,861 США: *STONE CUTTER* / Joseph J. Vode; заявл. 5.04.55; опубл. 10.07.1956. – 4 с.
3. Пат. 3,098,476 США: *STONE SPLITTER* / George A. Mayer; заявл. 6.01.61; опубл. 23.07.63. – 5 с.
4. А.с. 1391904 СССР, МКИ В 28D 1/26. Рабочий орган станка для раскалывания камня / О.Д. Алимов, С. Абдраимов, М.Т. Мамасаидов, А.Я. Хохлов, О.Ю. Сирмбард; заявл. 24.03.86; опубл. 30.04.88, Бюл. №16.
5. А.с. 1560434 СССР, МКИ В28D 1/26. Станок для направленного раскола камня / О.Д. Алимов, М.Т. Мамасаидов, А.Я. Хохлов, О.Ю. Сирмбард; заявл. 13.04.88; опубл. 30.04.90, Бюл. №16.
6. Пат. 4,577,613 США, МКИ В28D 1/32: *PAVEMENT AND MASONRY STONE CUTTER* / Friedhelm Porsfeld; заявл. 6.11.84, опубл. 25.03.86. – 17 с.
7. Пат. 3,809,049 США, МКИ В28D 1/32: *APPARATUS FOR CUTTING ROUGH-SURFACED STONE BODIES* / Ralph A. Fletcher, Joseph R. Oliver; заявл. 1.12.71; опубл. 7.05.74. – 14 с.
8. Пат. 2,746,447 США: *BLOCK SPLITTING MACHINE* / Charles L. Petch; заявл. 28.11.53; опубл. 22.05.56. – 8 с.
9. Пат. 4,203,414 США МКИ В28D 1/32: *STONE CUTTING APPARATUS* / Harold F. McClain; заявл. 8.01.79; опубл. 20.05.80. – 22 с.
10. Рекламний проспекти компанії «G&B IMPIANTI S.R.L.» (Італія), 1999.

11. Інтернет-сайт компанії Steinex (Італія) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.steinex.com>.
12. Пат. 2,779,324 США: MASON'S SPLITTING MACHINE / Leon H. Schlough, Wesley E. Seblough; заявл. 19.04.54; опубл. 29.01.57. – 4 с.
13. Пат. 3,727,600 США МКИ В 28D 1/32: HYDRAULIC STONE SPLITTER WITH SHOCK ABSORBER MEANS / Thomas L. Schlough; заявл. 12.10.71; опубл. 17.04.73. – 3 с.
14. Пат. 6,568,577 США МКИ В26F 3/00: APPARATUS AND METHOD FOR SPLITTING MASONRY MATERIALS / Charles Baird, Robert Baird, Theodore Beatty; заявл. 23.05.01; опубл. 27.05.03. – 13 с.
15. Інтернет-сайт «Granite City Tool» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.granitecitytool.com>.
16. Пат. 2,723,657 США: STONE CUTTING MACHINE / Ivo L. Jones; заявл. 9.02.53, опубл. 15.10.55. – 7 с.
17. Пат. 6,401,706 США МКИ В28D 1/26: FOLDABLE AND TRANSPORTABLE STONE CUTTING SYSTEM / Gerald D. Hernblom; Steven D. Innes; заявл. 25.10.99; опубл. 11.06.02. – 16 с.
18. Пат. 74930 Україна, МКИ В28D 1/00. Спосіб спрямованого розколу каменя / В.О. Пенчук, А.М. Кльон; заявл. 19.03.04; опубл. 15.02.06.
19. Пенчук В.А. Определение усилия скола при разрушении образца горной породы по традиционной схеме и по схеме с локальной концентрацией предельных напряжений / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонДАБА. – 2003. – № 5(42) – С. 38–42.
20. Пенчук В.А. Модель рабочего органа камнекольного станка с локальной концентрацией предельных напряжений / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вісник ДонНАБА. – 2006. – №6(62) – С. 124–128.
21. Клен. А.Н. Модель клинового рабочего органа с упругим интенсификатором напряжений / А.Н. Клен. // Вісник ДонНАБА. – 2008. – №3(71) – С. 145–148.
22. Пенчук В.А. Влияние неравномерности распределения напряжений на процесс разрушения каменных материалов сколом / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Сборник научных трудов ПГАСА, серия «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование». – Д., 2007. – №39. – С. 66–74.
23. Пенчук В.А. Эффективность камнекольных станков с локальной концентрацией очагов разрушения / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Материалы Международной научно-технической конференции «ИНТЕРСТРОЙМЕХ – 2007», Самара, Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. – Самара, 2007. С. 210–211.
24. Пенчук В.А. Анализ надежности камнекольных станков с локальной концентрацией очагов разрушения / В.А. Пенчук, А.Н. Клен // Вестник ХНАДУ. – 2007. – №38. – С. 74–76.